

DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMAQUÃ: COMPARAÇÃO DE MÉTODOS AUTOMATIZADOS

DELIMITATION OF CAMAQUÃ'S HYDROGRAPHIC RIVER BASIN: EVALUATION OF AUTOMATED METHODS

Henrique Noguez da Cunha¹

Rute Daniela Chaves²

Patrícia Iribarrem de Castro²

Adalberto Koiti Miura³

José Maria Filippini Alba³

Dejanira Luderitz Saldanha¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
henriquencunha@gmail.com; dejanira.saldanha@ufrgs.br

²Universidade Federal de Pelotas
Tecnologia em Geoprocessamento; Departamento de Geografia
[rutedanielachaves; patriciairibarrem]@gmail.com

³Embrapa Clima Temperado
Planejamento Ambiental
[adalberto.miura; jose.filippini]@embrapa.br

RESUMO

A bacia hidrográfica é consolidada como o recorte ideal para estudos que englobam o meio físico, como a Geomorfologia, porque identificam-na como unidade fundamental de processos de escoamentos hídricos e sedimentares. O presente estudo avaliou dois métodos de extração de drenagem para o delineamento espacial da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, RS. Foram utilizados os dados altimétricos TOPODATA, derivados do SRTM, e os ambientes SIG *ArcGIS* 9.3, com a extensão *Spatial Analyst*, e *TerraView* 4.2.2, com o plugin *TerraHidro* que utiliza-se do modelo *HAND* (Distância Vertical à Drenagem Mais Próxima). Em ambiente SIG *ArcGIS* 9.3 procedeu-se a elaboração dos planos de informações de direção de fluxo, fluxo acumulado, rede de drenagem e delimitação do limite topográfico da bacia hidrográfica. Paralelamente foi realizada a extração das mesmas variáveis pelo descritor de terreno *HAND* no ambiente *TerraView*. No software *ArcGIS* 9.3 obteve-se a área da bacia hidrográfica com 15353 km², enquanto pelo modelo *HAND* no *TerraView* delineou-se uma área de drenagem com 17115 km². Os dois métodos de delimitação de bacias, quando aplicados da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, tiveram concordâncias em praticamente toda a extensão da bacia, porém a definição da porção próxima ao exutório, área com relevo mais plano, apresentou diferença entre os delineamentos. Para avaliar a proximidade do resultado com a realidade de campo, ambas extrações da rede de drenagem e limites de bacias foram comparadas ao plano de informações de hidrografias em linhas extraído das Cartas Topográficas do Exército, na escala 1:50.000. A rede de drenagem e a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã gerada por meio do modelo *HAND*, no *TerraView*, foram consideradas mais adequadas do que aquelas resultantes do processamento ambiente SIG *ArcGIS* 9.3 pois concordam em maior percentual com o plano de informações de hidrografia, inclusive nas áreas próximas ao exutório do canal principal da bacia hidrográfica.

Palavras-chaves: Modelo *HAND*, Extração da Rede de Drenagem, Delimitação de Bacias, SIG, Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã.

ABSTRACT

A river basin is consolidated as ideal system for studies that encompass the physical environment, due to the unified process of water flows and movement of sediments. This study evaluated two methods of modeling the drainage network of the Camaquã river basin: (1) Altimetric data (TOPODATA/SRTM) were processed in GIS environment with the *HAND* model (vertical distance to the closer drainage, *TerraView*); (2) Information layers of flux direction, accumulated flux, drainage network and delimitation of river basin were extracted through the terrain descriptor *HAND* (*TerraView*). The river basin area was 15353 square km for method (1) and 17115 square km for method (2). The physical space delimited in both cases was similar, with the exception of the plain area (common outlet). A comparison with the topographic sheets in 1:50.000 scale was used as validation form, when the model (2) shown as more adequate.

Keywords: *HAND* Model, Drainage Network Extraction, River Basin Delineation, GIS, Camaquã River Basin.

1. INTRODUÇÃO

Os processos naturais relacionados ao meio físico não reconhecem fronteiras territoriais político-administrativas, sejam elas municipais, estaduais ou nacionais, nem espaços públicos ou privados, nem mesmo a diferença no contexto rural e urbano. Contudo, podem ser delimitados por domínios de paisagem relativamente homogêneos conhecidas como bacias, sub-bacias e microbacias hidrográficas (LIMA e ZAKIA, 1996). Trata-se de área de captação natural das águas fluviais e pluviais que são drenadas superficialmente e subsuperficialmente para o curso de água principal e seus afluentes até a foz, ponto de encontro dos diversos fluxos, denominado exutório. Esta compartimentação geográfica é imposta pelo relevo, isto é, pelas formas das estruturas da superfície terrestre, sendo evidenciada pelos divisores de água (TUCCI, 2002).

A delimitação de um bacia pode ser realizada manualmente a partir de informações presentes em cartas topográficas, conectando os topos de morro nas isolinhas de altimetria tendo como apoio planos de informações como a hidrografia, ou pode ser realizada por meio de métodos automáticos, a partir de imagens orbitais com informações do relevo. O processo manual é caracterizado pela subjetividade de interpretação, requer uma maior disposição de tempo além de experiência e habilidade, porém costuma ser preciso e condizente com a realidade (LIMA, 2012).

Os avanços tecnológicos têm contribuído para estudos relacionados com o meio físico, em métodos automáticos a delimitação de bacias hidrográficas revela-se mais rápida e simples, o que torna possível trabalhar com áreas de grande abrangência territorial devido também ao acesso concomitante de um grande número de informações. Entretanto, o nível de precisão do resultado depende do grau de detalhamento e/ou resolução do plano de informações de entrada (VALERIANO, 2008a; FLORENZANO, 2008).

Dentre os avanços há uma maior disponibilidade de opções para delimitação e extração de drenagem automática de bacias hidrográficas, dentre elas, o módulo *SpatialAnalyst* da solução comercial *ArcGIS* 9.3 (ESRI, 2008) e o descritor de terreno *HAND*, incluso no Plugin *Terrahidro* do software livre *Terraview* (ROSIM ET AL, 2013). Além de softwares, também há variedade de dados orbitais altimétricos para entrada no processo automático, como as imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) originais, com resolução espacial de 90 metros (SRTM, 2008), as imagens ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com resolução espacial de 30 metros (ASTER, 2014), além das imagens SRTM interpoladas para resolução espacial de 30 metros, provenientes do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008b).

Considerando essas gama de possibilidades, este trabalho teve como principal objetivo avaliar a eficácia e as diferenças entre as delimitações da BH do Rio Camaquã elaboradas nos softwares *TerraHidro* (ROSIM et al, 2013) e *ArcGIS* 9.3 (ESRI, 2008) utilizando como dado de entrada o plano de informação altimétrico contido no repositório do TOPODATA (VALERIANO, 2008b).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica (BH) do Rio Camaquã situa-se na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Abrange as províncias geomorfológicas Escudo Sul-riograndense e Planície Costeira. Os principais corpos de água são o rio Camaquã e os Arroios Sutil, da Sapata, Evaristo, dos Ladrões, Maria Santa, do Abrânio, Pantanoso, Boici e Torrinhas. O rio Camaquã tem suas nascentes principais à oeste da bacia, no município de Bagé, com foz a Leste na Lagoa dos Patos. Os principais usos da água na bacia se destinam à irrigação e ao abastecimento público. Nas proximidades de seu exutório o Rio Camaquã possui canais artificiais de captação de água para o Perímetro de Irrigação do Arroio Duro (AUD, 1986), o qual possui extrema importância para a irrigação da rizicultura local.

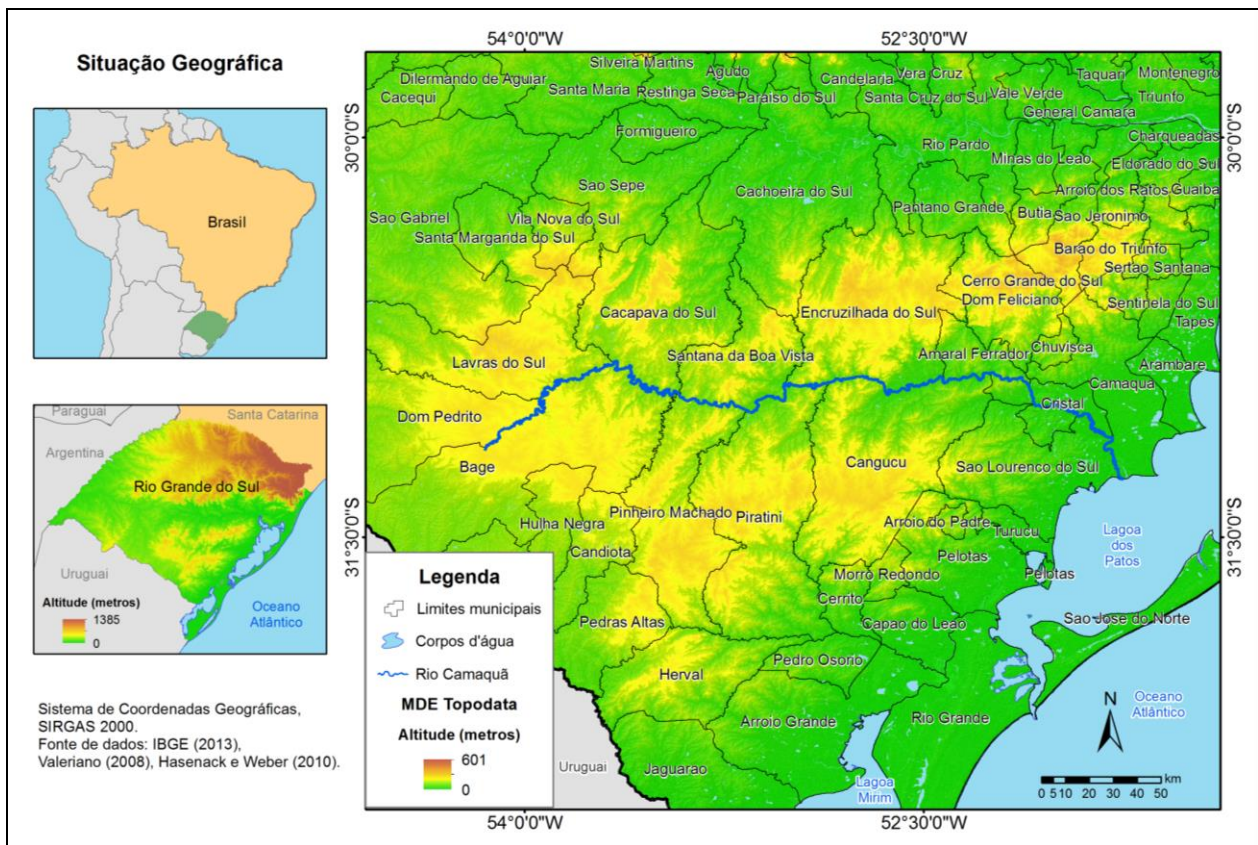


Fig. 1 – Localização geográfica do Rio Camaquã, rio principal da BH.

Para o presente estudo foram utilizados os planos de informações (PIs) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do banco de dados TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (VALERIANO, 2008b) (VALERIANO e ROSSETTI, 2011), assim como os PIs vetoriais hidrografia linhas disponíveis em versão digital em Hasenack e Weber (2010) baseados nas cartas topográficas do exército com escala de 1:50.000. Os softwares utilizados foram ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008) e TerraView 4.2.2 (ROSIM et al, 2013). Foram utilizados dois métodos distintos para delimitação da área de BH do Rio Camaquã.

Inicialmente foram realizados os processos de delimitação da bacia hidrográfica em ambiente SIG ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008) (Figura 2).

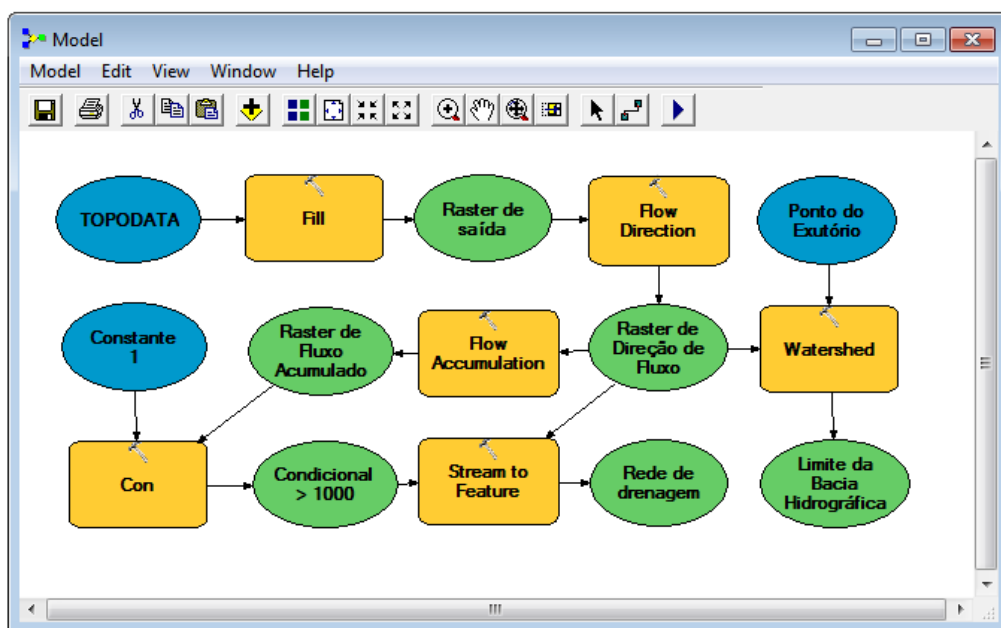


Fig. 2 – Model Builder com metodologia para delimitação da BH em ambiente SIG ArcGIS 9.3 (2008).

Por meio da ferramenta *Fill* da extensão *Spatial Analyst* foram eliminados os possíveis *sinks* dos dados altimétricos TOPODATA, que consiste no preenchimento de pequenas depressões que possam ser originadas, indevidamente, no processo de montagem do MDE. Em seguida, em *Flow Direction*, foram definidas as direções de fluxo de água, revelando a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus oito pixels limítrofes. Nesse processo, o escoamento da água é representado em cada pixel fluindo ao pixel vizinho de menor valor altimétrico (MENDES e CIRILO, 2001). Após, procedeu-se com o mapeamento dos fluxos acumulados na função *Flow Accumulation*, o qual obtém a rede de drenagem contendo os valores de acúmulo em cada pixel. Esse processo é obtido através da soma de ocorrências de escoamentos direcionados para cada pixel. Com o PI de fluxo acumulado, na opção *Con* foi realizada a extração da rede de drenagem com limiar 1000, condicionando o resultado para revelar os maiores valores de acumulações de fluxos (Figura 3).

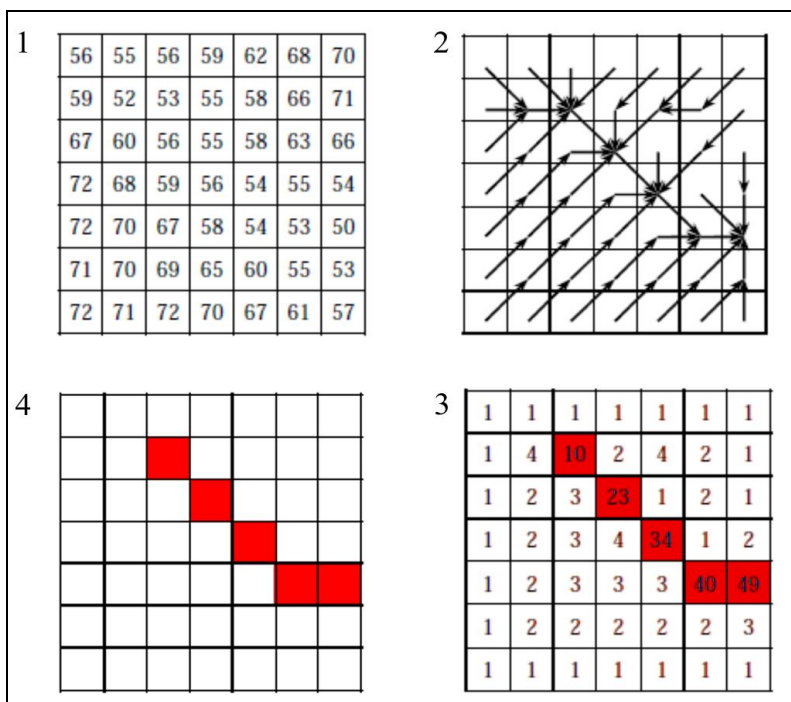


Fig. 3 – 1. Grade matricial MDE; 2. Direção de fluxo; 3. Fluxo acumulado; 4. Drenagem. Adaptado de Rennó et al (2008).

A rede de drenagem matricial (raster) foi convertida em arquivo vetorial pela ferramenta *Stream to Feature*, sobre o qual foi gerado um ponto geográfico no exutório revelado. A partir dos dados obtidos, foi utilizada a ferramenta de delimitação de bacias hidrográficas *Watershed* para o delineamento dos limites topográficos da BH do Rio Camaquã.

Tendo como caráter avaliativo e comparativo foi utilizado o descritor *HAND* (RENNÓ et al, 2008) como método de delimitação automática da BH do Rio Camaquã. Este procedeu-se em ambiente *TerraView 4.2.2* utilizando a ferramenta *Hydrological Tools* da extensão *TerraHidro* (ROSIM et al, 2013) (Figura 4) e os mesmos arquivos de entrada TOPODATA (Valeriano, 2008b) da aplicação anterior.

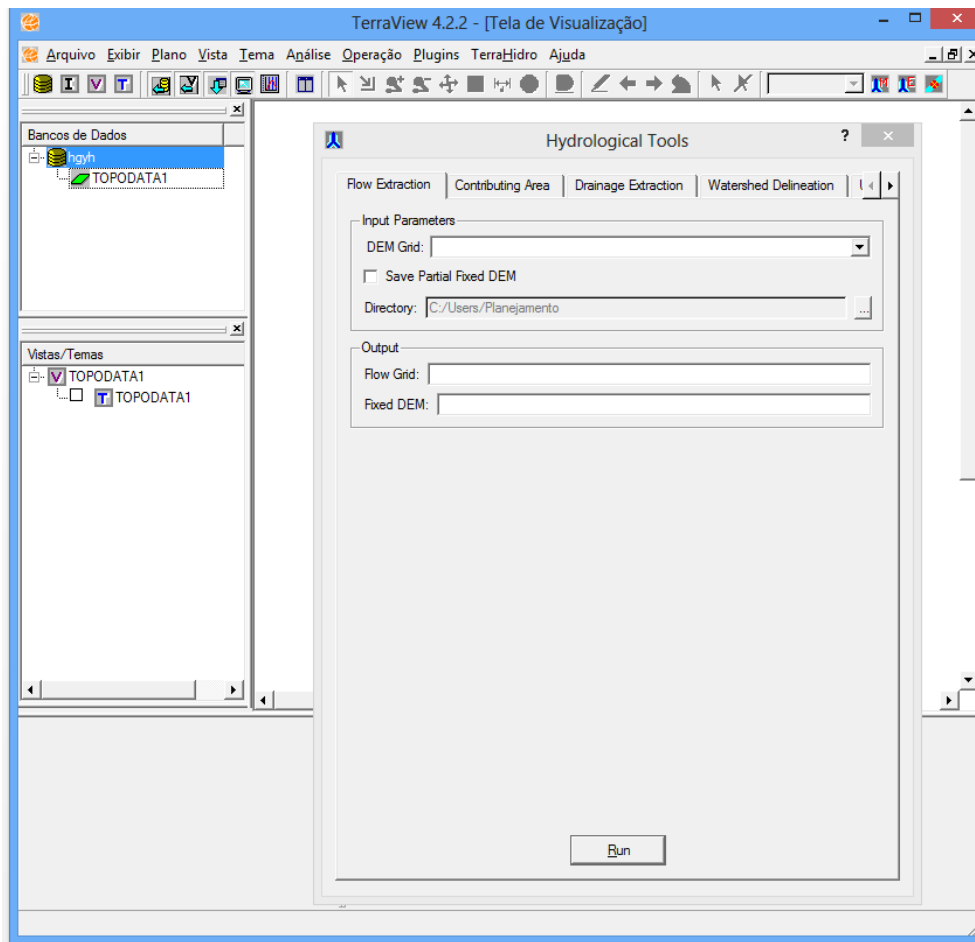


Fig. 4 – Ferramenta *Hydrological Tools* da extensão *TerraHidro* (ROSIM et al, 2013).

O processo de identificação dos limites topográficos da BH foi semelhante ao método em ambiente SIG *ArcGIS* 9.3 (ESRI, 2008), com os mesmos procedimentos: *Flow Extraction* (direção de fluxo), *Contributing Area* (fluxo acumulado), *Drainage Extraction* (extração da rede de drenagem) e *Watershed Delineation* (delimitação da BH). Porém o modelo *HAND*, elaborado por Rennó et al. (2008), indica a altura de uma determinada localização geográfica, não em relação ao nível do mar, mas em relação ao ponto da rede de drenagem mais próximo. Os corpos d'água que compõem a rede de drenagem possuem, assim, altura zero, facilitando sua identificação.

Para comparação entre os dois métodos foram avaliados o tempo de processamento dos dados e a relação do delineamento da BH tendo como apoio os PIs vetoriais de hidrografia linhas digitalizadas das Cartas Topográficas do Exército na escala 1:50.000 por Hasenack e Weber (2010) e a base de dados da Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA (2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 5 está representada a delimitação da BH realizada por meio do ambiente SIG *ArcGIS* 9.3 (ESRI, 2008), quantificada em 15353 km², contendo em seu território integralmente os municípios de Amaral Ferrador e Cristal e parcialmente Lavras do Sul, Bagé, Santana da Boa Vista, Caçapava do Sul, Dom Pedrito, Hulha Negra, Pinheiro Machado, Piratini, Canguçu, São Lourenço do Sul, Encruzilhada do Sul, Dom Feliciano, São Jerônimo, Barão do Triunfo, Chuvisca, Camaquã e Cachoeira do Sul. Além de atuar como fronteira municipal nos municípios de São Gabriel, Candiota, Santa Margarida do Sul, Vila Nova do Sul e São Sepé. Totalizando 23 municípios.

No ambiente *TerraView* (ROSIM et al, 2013) a área territorial determinada da BH do Rio Camaquã foi de 17115 km², representada na Figura 5. Foram relatados a presença dos mesmos municípios abrangidos no resultado anterior.

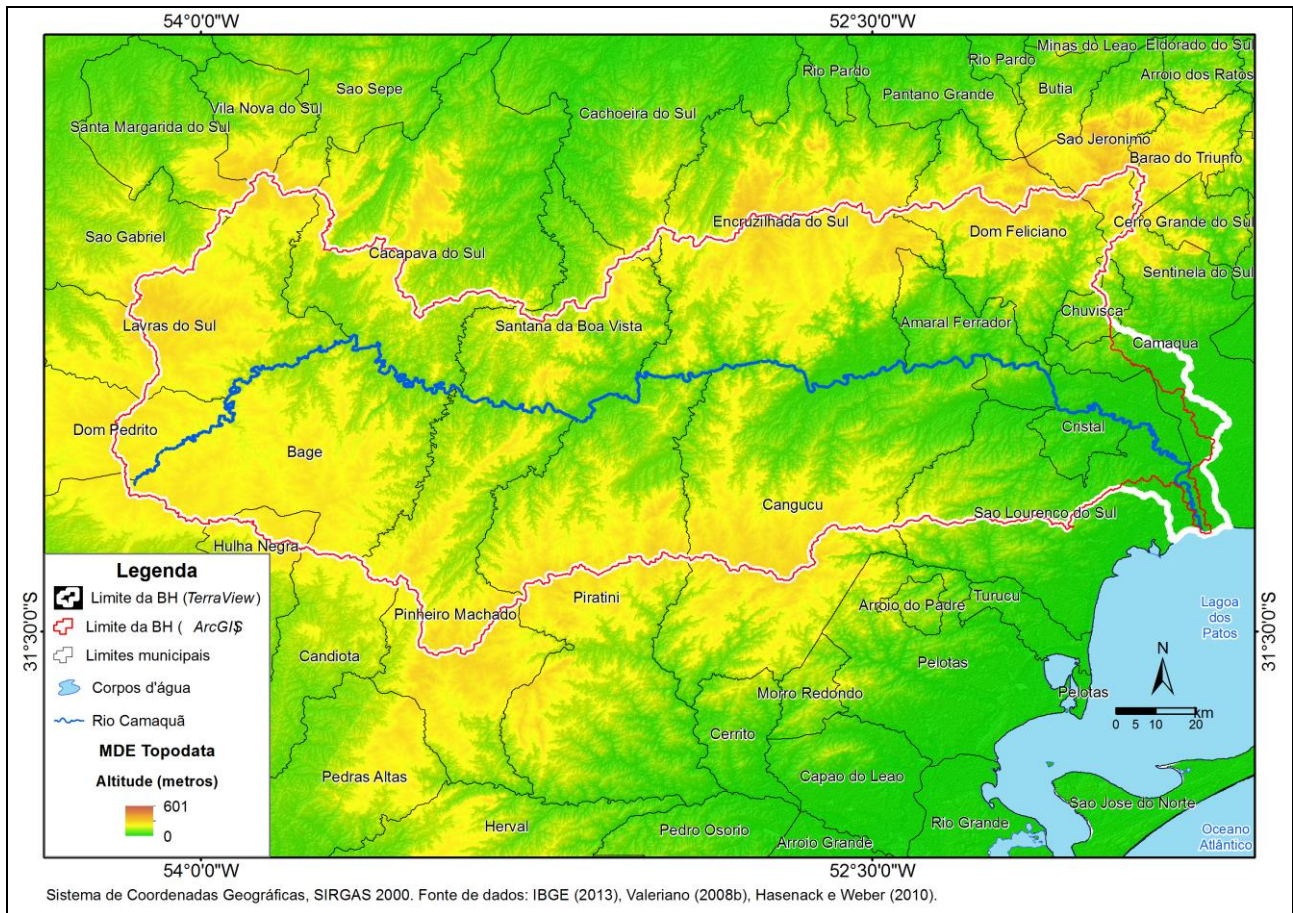


Fig. 5 – Limites da BH obtidos por meio dos ambientes SIG *TerraView* 4.2.2 (ROSIM ET AL, 2013) e *ArcGIS* 9.3 (ESRI, 2008).

Os dois delineamentos obtidos mostraram-se com 98 % de concordância, havendo diferença apenas na área localizada mais à jusante, em ambiente de planície costeira, onde o relevo é predominantemente plano com baixa declividade (Figura 6). Essa discordância é resultante da distinção dos métodos utilizados, descrito em ambiente *TerraView* por meio da distância vertical em relação ao fluxo mais próximo e no *ArcGIS* pela altitude em relação ao todo.

De uma forma geral, os dois resultados adquiridos na delimitação da BH do Rio Camaquã foram satisfatórios e concordantes, considerando principalmente locais em que o relevo é mais acidentado, apresentando, porém, divergências relacionadas com a delimitação de áreas costeiras e identificação de variações do relevo em áreas pouco onduladas. Observando a Figura 7, verifica-se que a diferença dos limites obtidos para a BH, nos dois métodos, na área de planície é grande, representada por 363 km².

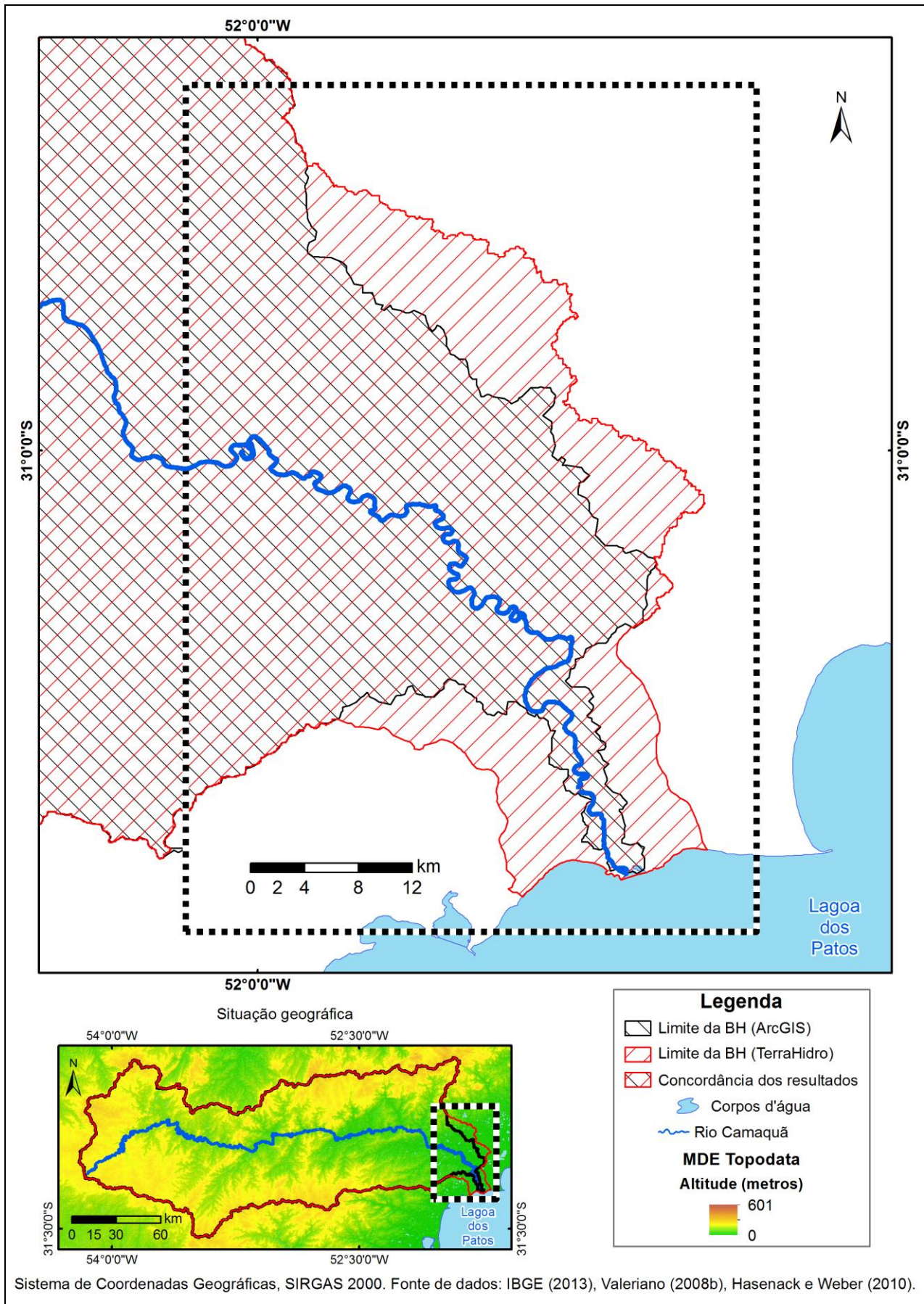
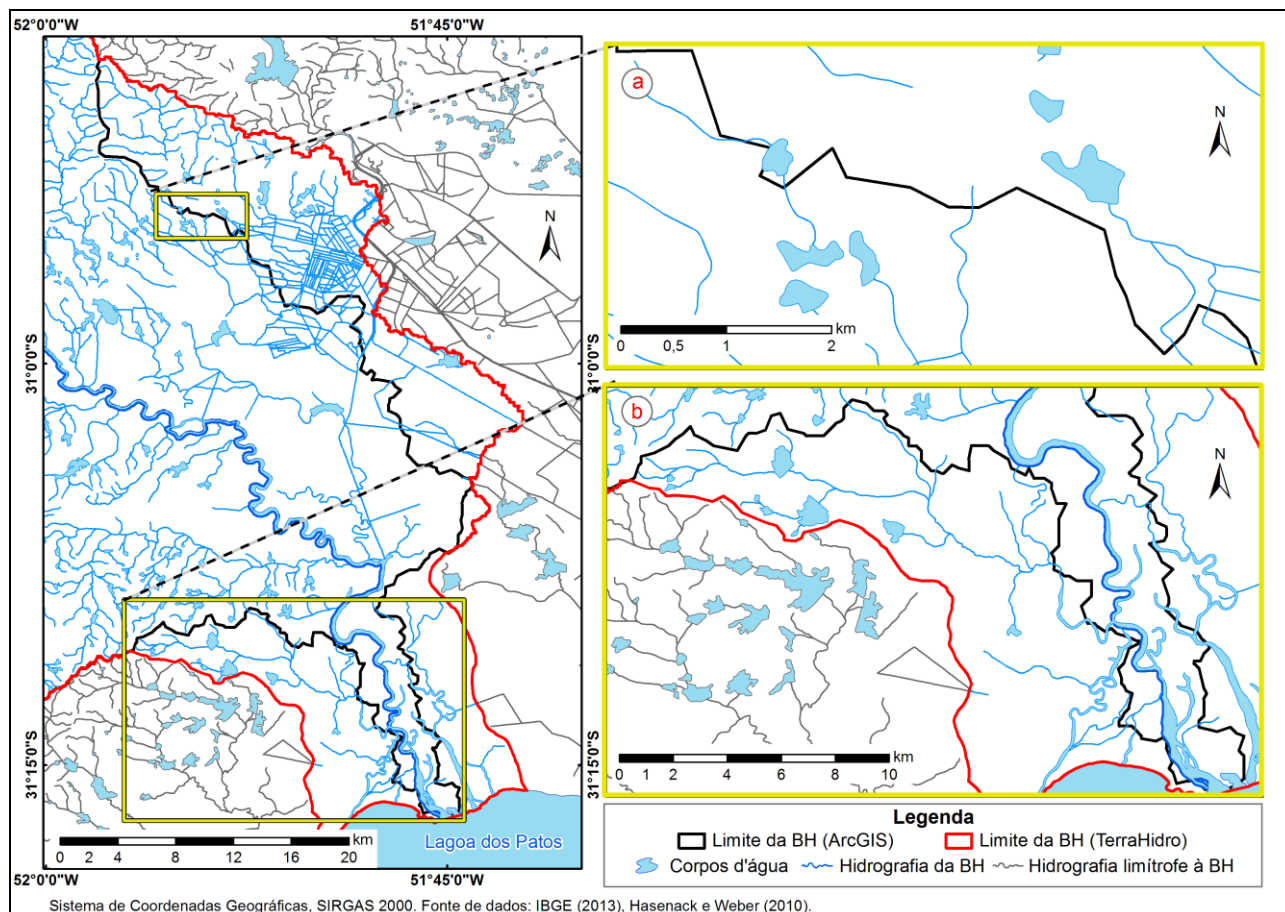


Fig. 6 – Limites da BH resultantes dos dois métodos utilizados, com destaque na área de discordância.

Na relação dos resultados obtidos com o PIs vetoriais de hidrografia linhas, digitalizadas das Cartas Topográficas do Exército na escala 1:50.000 por Hasenack e Weber (2010), o método executado no *TerraView* 4.2.2 (ROSIM et al, 2013) não intersectou a rede de drenagem natural (Figura 7b) e sim apenas canais artificiais contribuintes ao perímetro de irrigação do Arroio Duro (AUD, 1986), área externa aos divisores de águas, mostrando-se, assim, mais adequado do que o método aplicado no software *ArcGIS* 9.3 (ESRI, 2008), que destacou como linhas de cumeadas algumas áreas transversais ao PI de hidrografia (Figura 7a), como pode ser visualizado na Figura 7.



O resultado não pode ser comparado aos dados de área disponibilizados na Secretaria Estadual do Meio Ambiente para a BH do Rio Camaquã, pois esta comporta bacias hidrográficas menores de aglomerados limítrofes a fim de administração devido à proximidade de relevo, uso e cobertura da terra, além de áreas drenadas artificialmente como o caso da unidade de irrigação do Arroio Duro (AUD, 1986).

Essa adoção de área da BH do Rio Camaquã representada pela SEMA é adequada à Lei 10.350/94 (RIO GRANDE DO SUL, 1994), que determina que micro-bacias não podem ter seu próprio comitê devido sua dimensão geográfica e socioeconômica, cujo planejamento a médio e longo prazo deve ser feito em unidades espaciais maiores, envolvendo problemas e recursos mais amplos, Acrescentando, assim, ao comitê da BH do Rio Camaquã os municípios de Pelotas, Arroio do Padre, Turuçu, Cerro Grande do Sul, Arambaré, Tapes, Sentinela do Sul e Barra do Ribeiro, totalizando 2581 km² maior do que a BH com divisores topográficos delimitada no *TerraHidro* (Figura 8).

Ao ser comparado o tempo de execução para geração da direção de fluxo e do fluxo acumulado o software *ArcGIS* mostrou-se mais ágil com 2h de execução, enquanto o *TerraHidro* levou 48h para o processamento do mesmo conjunto de dados.

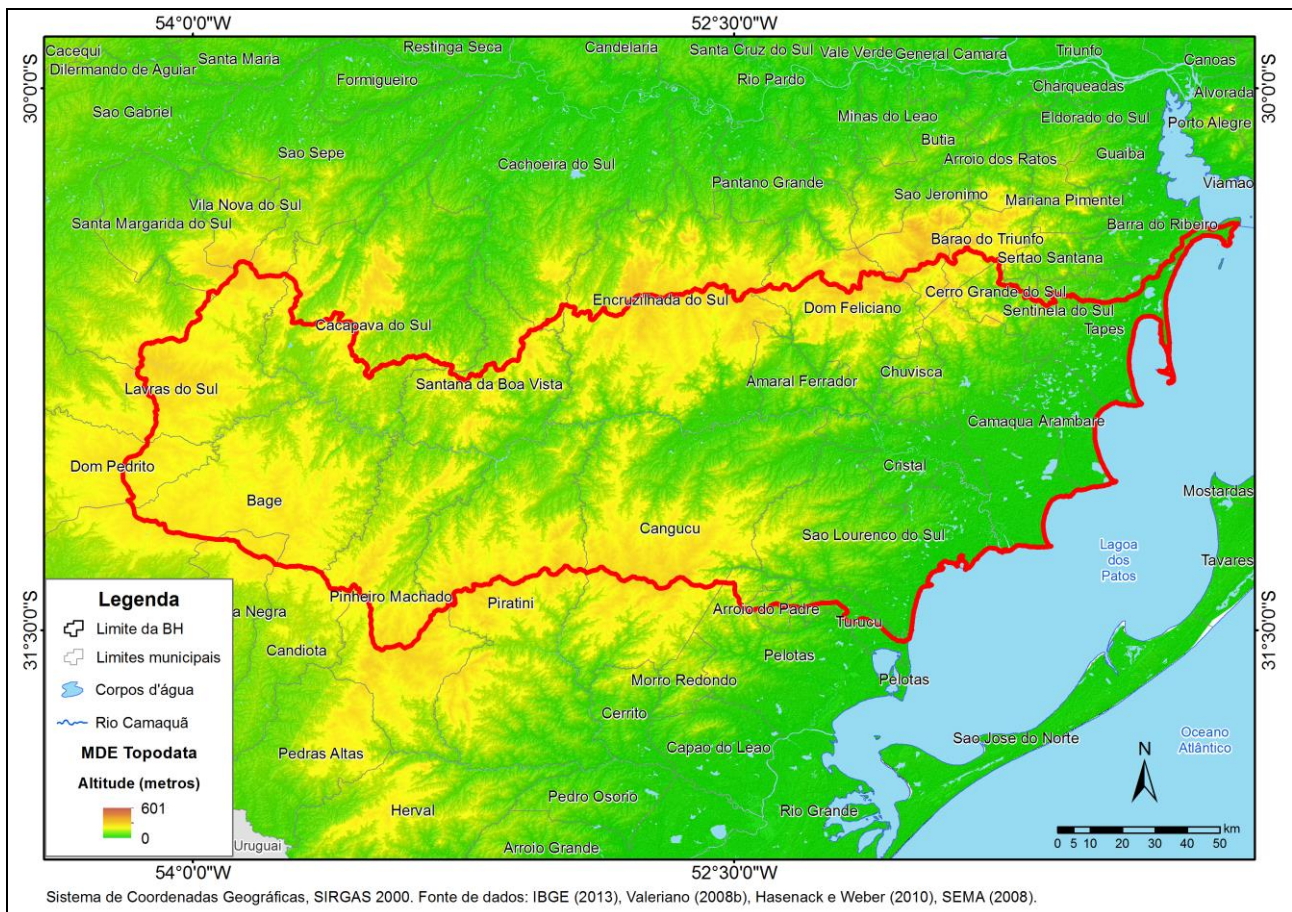


Fig. 8 – Limite da BH administrativo, adaptado de SEMA (2008).

4. CONCLUSÃO

Ambas metodologias utilizadas resultaram em uma delimitação da BH do Rio Camaquã. Contudo, neste trabalho o método em ambiente *TerraView* (ROSIM et al, 2013) revelou-se mais adequado do que no SIG *ArcGIS* (ESRI, 2008), pois na área de planície, onde os dados não contém grande amplitude altimétrica, houve maior concordância das fronteiras da BH com o PI de hidrografia linhas de Hasenack e Weber (2010) em escala 1:50.000. Cabe ressaltar que o software *ArcGIS* 9.3 (ESRI, 2008) obteve maior eficácia quanto ao tempo para processamento, sendo indicado para estudos em áreas com maiores diferenças de altitude, ou que necessitem ser executados com maior rapidez.

Por fim a delimitação utilizando o SIG *TerraHidro* (Rosim et al., 2013) mostrou-se com melhor detalhamento, na área de planície. Além da redução de gastos por se tratar de um programa gratuito.

A potencialidade de aplicação de cada um dos métodos deste estudo esteve relacionada com a escala e área pretendida, pois revelaram vantagens e limitações conforme o objetivo proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER. (ASTER). Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>. Acesso em: maio/2014.

ASSOCIAÇÃO DOS USUÁRIOS DO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DO ARROIO DURO (AUD). **Perímetro de Irrigação do Arroio Duro (1986)**. Disponível em: < http://www.aud.org.br/o_perimetro.htm>. Acesso em: maio/2014.

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS Desktop 9.3** Redlands (CA), 2008.1 CD-ROM.

FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. **Oficina de Textos**, 2008.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia. 2010.1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

LIMA, F. A. ; ALMEIDA, L. S. ; BRAGA, F. L. ; NERY, C. V. M. Utilização do Sistema de Informações Geográficas *TerraView* para delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros – Mg. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 6, Aracaju/SE, 26-30 de Nov. 2012. **Anais...** Aracaju: UFS, 2012.

LIMA,W.P.; ZAKIA, M.J.B. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas. **Série Técnica IPEF**, v.10, n.29, p.11-21, 1996.

MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A. Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. Porto Alegre: **ABRH**. cap. 2. p. 57-111, 2001.

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 Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p. 3469-3481, 2008

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição Estadual do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial (do Estado do Rio Grande do Sul)**, Porto Alegre, 31 dez, 1994.

ROSIM, S. ; FREITAS OLIVEIRA, J. R. ; COPERTINO JARDIM, A. ; NAMIKAWA, L. M. ; RENNO, C. D. *TerraHidro*: A Distributed Hydrology Modelling System With High Quality Drainage Extraction. In: **GEOProcessing 2013, The Fifth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services**. p. 161-167, 2013.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMA). **Bacias Hidrográficas do RS**: Porto alegre: SEMA; DRH, 2008. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/upload/Mapa_RS_Hidro_RH_BLitoraneas.jpg. Acesso em: abril/2014.

SRTM - **Shuttle Radar Topography Mission. 2008**. Disponível em: <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>). Acesso em: maio/2014.

TUCCI, C.E.M. (Org.) (2002) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS: ABRH, 2002. 942 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).

VALERIANO, M. de M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008a.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA - banco de dados geomorfométricos locais do Brasil**. 2008b. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>. Acesso em: maio/2014.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)**, v. 32, p. 300-309, 2011.