

## Proposta de ferramenta para cálculo automático de larguras de rios com base em imagens matriciais.

Pedro Frediani Jardim<sup>1</sup>  
Fernando Mainardi Fan<sup>1</sup>  
Walter Collischonn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS/IPH  
Caixa Postal 91501-970, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, Brasil  
pedro.fjar@gmail.com, fernando.fan@ufrgs.br, waltercollischonn@gmail.com

**Abstract.** Hydrological modeling and remote sensing are very important tools in predicting extreme scenarios and events related to the hydrological cycle. Prior knowledge of the occurrence of floods and droughts, and its spatial extension, gives the decision makers the opportunity to avoid and prevent possible economic, human or environmental damages and losses. To obtain accurate and reliable results coming from modeling and spatialization of floods extensions is necessary the best information regarding hydraulic parameters of the geometry of streams such as width and depth. Traditionally this information for large basins modeling comes from approximations based from drainage area or discharge. Besides the application in modeling, the knowledge of rivers width have direct applications in ecology, construction and navigation for example. This paper proposes an automatic calculation methodology of river widths along the entire representable length of rivers in raster images derived from remote sensing. To validate the method, images from the LANDSAT 8 satellite were used to create a water mask and perform the algorithm. The results were compared to manual measurements of width and also to a drainage area relationship. The results showed that the width calculated by the proposed methodology were significantly close to the real width and much better than the use of a drainage area relationship. It is expected that these results reported with the use of the river width calculation tool to be the base of various applications where the width is a key parameter.

**Palavras-chave:** *Hydraulic Geometry, Automatic Measurement, Width., Geometria Hidráulica; Medição Automática; Largura.*

### 1. Introdução

Em um cenário de eventos extremos no ciclo hidrológico a modelagem hidrológica surge como uma importante ferramenta de prevenção e apoio aos tomadores de decisão ao permitir previsões destes acontecimentos. Ao mesmo tempo avanços tecnológicos das últimas décadas possibilitam hoje o conhecimento de uma série de dados a respeito das bacias hidrográficas advindas, por exemplo, de imagens de satélite (PAIVA, 2009) que servem de base na modelagem e para a interpretação de resultados de modelagem, como a extensão de manchas de inundação.

Os modelos hidrológicos são basicamente representações matemáticas do comportamento dos sistemas hídricos. Dentre eles destacam-se os modelos distribuídos de transformação chuva-vazão que buscam indicar o quanto da precipitação se converterá em vazão superficial bem como sua distribuição dentro de uma bacia hidrográfica (FAN & COLLISCHONN, 2014).

Um exemplo deste tipo de modelo é o MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001) que inicialmente adotava apenas o método Muskingum-Cunge (descrito em Tucci, 2005) para a propagação da vazão. A grande vantagem deste modelo está na obtenção de seus resultados a partir de poucas informações físicas da bacia (PAIVA, 2009) algumas das quais são inferidas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) como, por exemplo, a largura do trecho de rio simulado. Hoje este parâmetro é obtido via relações geomorfológicas não apenas para este modelo como para outros (YAMAZAKI et al., 2014) que relacionam de forma empírica a área de drenagem à largura.

Além da aplicação na modelagem, processos físicos tais como erosão, transporte de sedimentos e inundações, ecológicos e ações antrópicas, como na seleção de locais para a

construção de pontes ou barragens, tem na largura dos rios um grande fator de influência (PAVELSKY & SMITH, 2008). Desta forma alguns métodos de cálculo automático deste parâmetro e produtos de escala global ou continental vêm sendo elaborados de forma a tentar suprir a demanda de informações a seu respeito (e.g. PAVELSKY & SMITH, 2008, YAMAZAKI et al., 2014, ALLEN E PAVELSKY, 2015).

O presente trabalho busca propor uma metodologia alternativa e de simples aplicação para o cálculo automático da largura de rios a partir de sensoriamento remoto, e mostrar resultados da aplicação desta técnica. A única informação de entrada no método apresentado é um arquivo matricial (*raster*) no qual as células que representam água possuem um valor diferente dos demais que pode ser gerado a partir dos diferentes produtos do sensoriamento remoto existentes hoje como imagens do LANDSAT 8 e Sentinel 2, por exemplo.

## 2. Metodologia de programação e cálculo

Partindo do princípio segundo Xiang & Stratton 1996 e Xiang 1996 apud Onga et al. 2010 uma forma de trabalhar o cálculo da largura de rios é através da identificação das células de borda a partir de imagens matriciais. Assim o modelo aqui proposto busca para cada célula identificada como água no arquivo de entrada todas as células não água a sua volta, calculando as distâncias até estas e assim definindo a largura em cada pixel analisado.

A programação da ferramenta apresentada foi feita em linguagem VB.NET através do *software* Visual Basic 2010 da Microsoft. Esta escolha teve por base a facilidade em se gerar interfaces gráficas a partir dela e pelo suporte por parte do programa MapWindow GIS® (AMES et al, 2008) de aceitar a incorporação de ferramentas nesta linguagem na forma de um *plugin*. A seguir são apresentadas as principais etapas de cálculo do programa.

### 2.1 Leitura do arquivo de entrada

O único arquivo de entrada para aplicação da metodologia proposta é um arquivo raster no formato ASCII Grid (*American Standard Code for Information Interchange*) do tipo ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). Neste as células correspondentes à rede de drenagem apresentem um valor único em relação a todas as demais células não-água de forma a compor uma máscara de água.

A partir deste o programa armazena as informações quanto ao tamanho de cada pixel e do valor *NoData*, que representa as células sem uma representação física do terreno. É necessária ainda a informação por parte do usuário do valor das células que representam a água e do tipo de projeção (UTM ou LatLong) no qual o raster se encontra.

### 2.2 Cálculo da largura

Uma vez que o programa identifica que a célula lida possui o valor indicado pelo usuário como de água ele passa a buscar todas as células no seu entorno que possuem valor diferente daquele a partir do centro da célula. O intervalo do ângulo da direção de busca pode ser informado pelo usuário (e.g. de um em um grau) e, caso este queira acelerar o tempo de processamento, pode aumentá-lo mesmo que perca em qualidade no resultado final.

É feito então o cálculo da distância para as células localizadas no primeiro e segundo quadrante em relação à célula analisada, ou seja, aquelas acima desta com base em uma relação de senos e cossenos conforme mostram as Equações 1 e 2.

$$X1 = Xc + \Delta \cdot \cos(a / (180 / \pi)) \quad (1)$$

$$Y1 = Yc + \Delta \cdot \sin(a / (180 / \pi)) \quad (2)$$

Onde: X1 = Coordenadas X da célula encontrada a partir do centro da célula de água (graus ou metros); Y1 = Coordenadas Y da célula encontrada a partir do centro da célula de

água (graus ou metros);  $a$  = Ângulo que varia de 0 até 179°;  $\Delta$  = Valor do passo de busca por uma célula diferente de água (graus ou metros).

A distância é calculada baseada na soma de incrementos no raio de busca que compõe  $\Delta$  até que se encontre a célula não-água na posição  $X1$  e  $Y1$ . Este incremento por sua vez é baseado em uma razão em relação ao tamanho das células que compõe o raster de entrada e também pode ter seu valor alterado conforme a opção do usuário. Assim, valores menores fornecerão medidas mais corretas da distância mas, por outro lado, aumentaram substancialmente o tempo de processamento. A Figura 1 ilustra o que é feito até aqui.

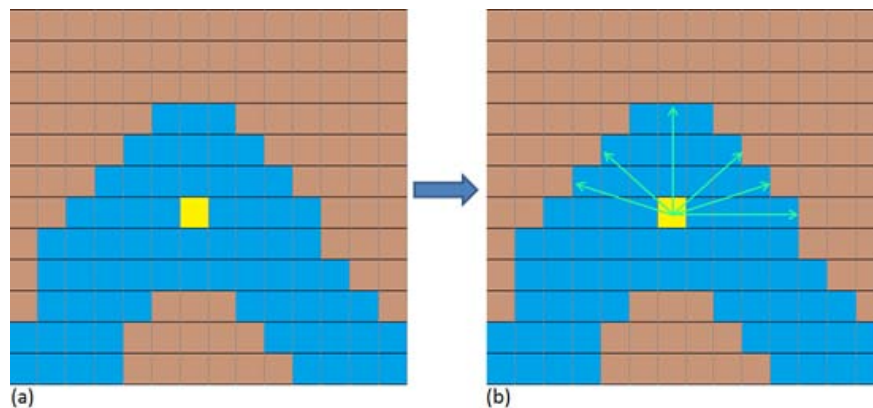


Figura 1. (a) Máscara de água de entrada na forma de uma matriz com uma célula analisa em destaque; (b) Busca da distância a até a margem em relação ao centro da célula de origem.

Para o caso em que o arquivo de entrada encontre-se em projeção UTM o valor da distância calculada fica sendo apenas a soma da quantidade de incrementos necessários até chegar à célula não-água uma vez que o tamanho da célula é dado em metros. Por outro lado quando o raster está em sistema geográfico o tamanho da célula é informado em graus sendo necessário o cálculo da distância baseado nas posições do centro da célula analisada e do ponto encontrado como não-água.

Assim foi utilizada a fórmula de Haversine (SMITH et al., 2007) para cálculo da distância. Esta utiliza o raio terrestre que aqui foi adotado como 6.378.137 metros e tem sua formulação adaptada para o problema em questão mostrada na Equação 3.

$$d_a = 2 * R * \sin^{-1} \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{Y_c - Y_1}{2} \right) + \cos(Y_c) * \cos(Y_2) * \left( \sin^2 \left( \frac{X_c - X_1}{2} \right) \right)} \right) \quad (3)$$

Onde:  $d_a$  = distância entre o par de coordenadas de origem e destino na busca de 0 até 179° (m);  $X1$  = Coordenadas X da célula encontrada a partir do centro da célula de água (graus);  $Y1$  = Coordenadas Y da célula encontrada a partir do centro da célula de água (graus);  $Xc$  = Coordenada X do centro da célula analisada (graus) e;  $Yc$  = Coordenada Y do centro da célula analisada (graus).

Ao final desta operação teremos para uma mesma célula 180 valores de distância  $d_a$  calculados, ou seja, um valor para cada direção se o intervalo entre os ângulos de busca for mantido em 1 grau. Estes valores são armazenados em um vetor de mesmo tamanho.

Uma vez calculadas todas as distâncias até margens para os quadrantes superiores de uma célula de água, procede-se então o cálculo exatamente da mesma maneira para os quadrantes inferiores variando portanto de 180 até 359°. Também temos agora uma segunda distância calculada até as células de destino ao qual denominaremos  $d_b$  e que também serão salvas em um vetor de tamanho igual a 180. A Figura 2 ilustra o resultado até este ponto.

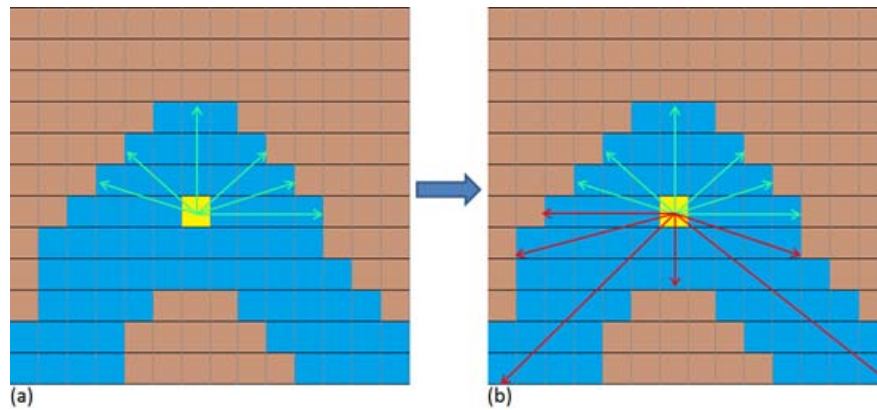


Figura 2. (a) Distâncias ( $d_a$ ) até as margens nos quadrantes superiores em verde; (b) Distâncias( $d_b$ ) até as margens nos quadrantes inferiores em vermelho.

Por fim é feita a soma das distâncias encontradas para direções opostas na mesma célula  $d_a$  e  $d_b$ . A menor destas distâncias é então considerada a largura do rio naquele ponto observado e tem seu valor armazenado na célula analisada. Isto será feito para todas as células do raster conforme ilustra a Figura 3. A todas as demais células que não apresentavam o valor correspondente à água é atribuído o valor de *NoData* do raster de entrada. A Figura 4 mostra o resultado da aplicação do método para uma máscara de água de um rio hipotético.

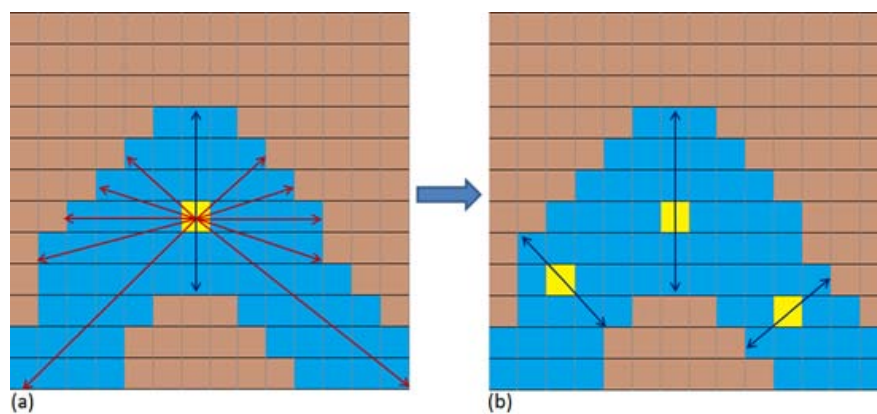


Figura 3. (a) Soma das distâncias opostas com a menor delas representada em azul; (b) Menores distâncias encontradas para algumas das células da matriz.

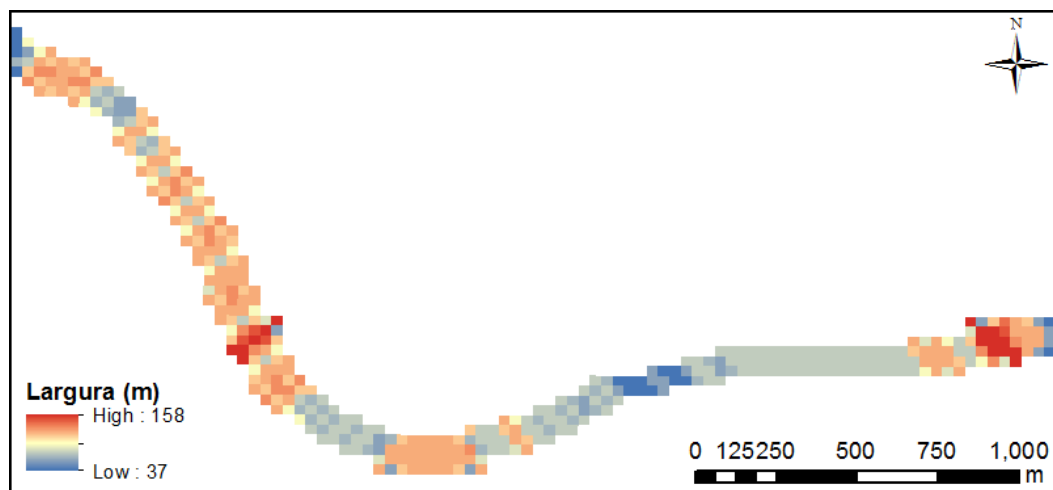


Figura 4. Aplicação da ferramenta para um trecho de rio hipotético.



### 3. Metodologia de avaliação dos resultados

A fim de avaliar os resultados da aplicação do método, foi desenvolvida uma máscara de água para a bacia do Rio Taquari-Antas (RS) e os valores calculados comparados à medições manuais de larguras feitas com uso do programa Google Earth. Também foram estas medições manuais comparadas às larguras obtidas através da relação geomorfológica desenvolvida por Collischonn (2001), que é o método tradicionalmente usado em modelos hidrológicos de grande escala como o MGB-IPH. A bacia do Taquari-Antas encontra-se na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, localizada na Figura 5, e possui uma área de aproximadamente 26.490 km<sup>2</sup>. A formulação desenvolvida por Collischonn (2001) é mostrada na Equação 4 onde B é a largura em metros e A<sub>d</sub> é a área de drenagem em metros quadrados.

$$B = 3.2466 * A_d^{0.4106} \quad (4)$$

#### 3.1 Composição da máscara de água

Para compor a máscara de água foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8 disponíveis de forma gratuita na plataforma *EarthExplorer* do USGS (*United States Geological Survey*) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Foram feitos testes para a composição da máscara através da combinação de diversas bandas envolvendo as regiões do infravermelho próximo e médio. Isto se deu já que, nestas faixas, corpos hídricos são demonstrados em tons de cinza extremamente escuros pois a água tende a absorver quase toda a incidência da radiação nestas faixas (JENSEN, 2007). A melhor composição mostrou-se a entre as bandas 4, 5 e 6, ou seja, vermelho, infravermelho próximo e médio. Esta teve os pixels relativos à água obtidos através do método de classificação de imagens não-supervisionado *Iso Cluster*, presente no software ArcGIS<sup>®</sup>.

Para eliminar eventuais ruídos na máscara em regiões fora da rede de drenagem ou mesmo lagos e outros pequenos corpos hídricos fora da região de interesse foi gerada uma rede de drenagem vetorial a partir do modelo digital de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 90 metros, e com uso do pacote de ferramentas IPH-Hydro Tools (SIQUEIRA et al., 2016). Com esta drenagem foi feito um *buffer* de 750 metros em torno da rede e assim foi possível extrair as células de água que estivessem apenas dentro ou próximas aos rios.

#### 3.2 Obtenção das larguras

De posse da máscara, com 6585 linhas por 9187 colunas, utilizou-se o método apresentado em um desktop com 16 GB de memória RAM, processador Intel Core i7-2600K de 3.4 GHz em uma máquina com sistema operacional de 64 Bits. Foram necessárias 4 horas para concluir o processamento.

A seguir selecionaram-se de forma aleatória 63 pontos de amostragem sobre o Taquari-Antas, 14 pontos sobre o Rio Turvo, 13 sobre o Rio Carreiro, 12 para o Rio Guaporé e 14 para o Rio Forqueta seguindo pelo Rio Fão conforme ilustra a Figura 5. Para estes pontos foi medida largura de forma manual através do Google Earth e calculadas as áreas de drenagem para os mesmos com uso do pacote de ferramentas IPH-Hydro Tools (SIQUEIRA et al., 2016). Com isto foi possível estimar a largura através da relação geomorfológica apresentada por Collischonn (2001).

Sobre estes pontos também foi buscado o valor da largura calculado com o programa apresentado. Neste caso os pixels utilizados foram os mais próximos ao centro da rede de drenagem já que estes são os que apresentam os valores mais corretos. Isto se deve pois em curvas do rio a menor distância encontrada para direções opostas não é necessariamente a ortogonal do rio e sim uma transversal que pega dois pontos da mesma margem.

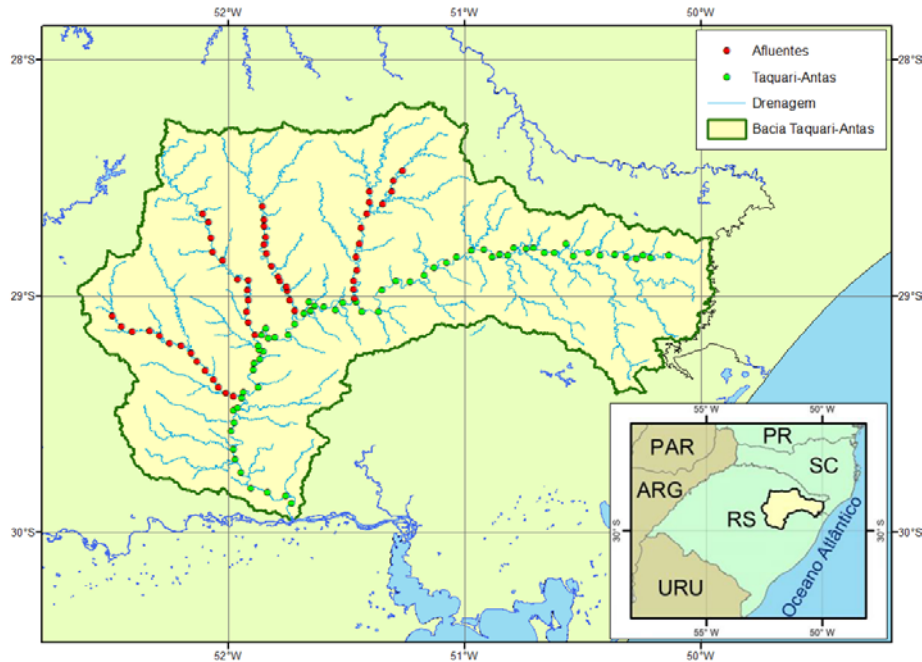


Figura 5. Localização da bacia do Rio Taquari-Antas e pontos de medição de largura.

#### 4. Resultados e Discussão

Para análise dos resultados foram plotadas as larguras medidas manualmente versus as obtidas pela relação geomorfológica. Neste caso, quanto mais próximos os valores entre si, mais os dados plotados devem se aproximar de uma reta com inclinação de 45 graus. A Figura 6 mostra o resultado desta plotagem para o Rio Taquari-Antas (a e b) e seus principais afluentes (c e d). Foram adicionadas retas de inclinação 45 graus para comparação com o que se esperaria no caso ideal. Também foram calculados os índices de correlação entre larguras medidas manualmente e as estimadas conforme mostrado na Tabela 1. Quanto mais próximo da unidade o valor da correlação, mais fiel é a representação das larguras através dos métodos.

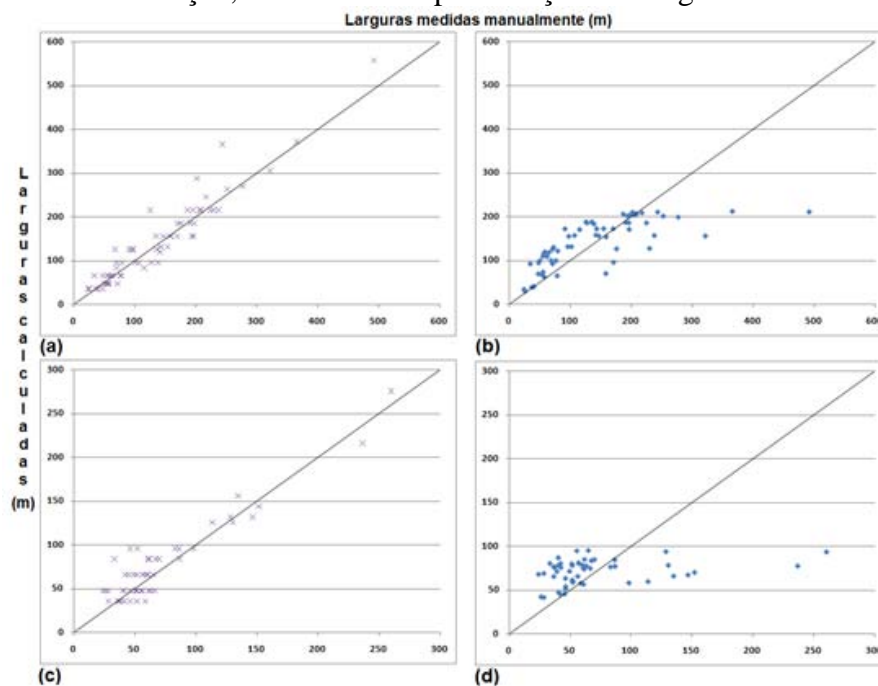


Figura 6. Rio Taquari-Antas: larguras medidas manualmente versus estimadas pelo método (a) e relação geomorfológica (b). Afluentes: larguras medidas manualmente versus estimadas pelo método (c) e relação geomorfológica (d).

Tabela 1. Índices de correlação entre as larguras.

Método	Método Proposto	Relação Geomorfológica
Taquari-Antas	0.9531	0.7251
Afluentes	0.9387	0.2997

Os resultados obtidos mostram como as estimativas de largura realizadas com a metodologia proposta ficaram muito mais próximos das medições reais do que aquelas calculadas com uso da relação geomorfológica. Isto ficou ainda mais evidente para os afluentes do rio principal pois geralmente a formulação da relação geomorfológica considera apenas o rio principal. Existem ainda os casos de barramentos antrópicos onde há um aumento abrupto da largura do rio devido ao reservatório para em seguida voltar ao normal, algo impossível de representar através de relações geomorfológicas.

#### 4. Conclusões

A metodologia e ferramenta propostas neste trabalho mostraram-se como uma alternativa viável para a aquisição de larguras de rios de forma contínua ao longo de suas extensões. Seus resultados de maneira geral foram melhores ou muito melhores que aqueles obtidos através do uso de relações geomorfológicas, mas com a ressalva de que, enquanto as larguras obtidas pelo método ficam limitadas pela capacidade de representação da máscara de água de entrada, as relações geomorfológicas são capazes de estimar as larguras para qualquer local em uma bacia hidrográfica.

Ficou evidente, portanto, a dependência de um raster de boa qualidade para utilização da ferramenta, tanto em termos da capacidade de representação quanto da resolução espacial do mesmo. A evolução nos meios de obtenção de dados espaciais e a maior facilidade e disponibilidade de dados advindos do sensoriamento remoto permitem a obtenção de máscaras de água com cada vez mais detalhes. Assim esta mesma ferramenta poderia continuar a ser utilizada no futuro com resultados melhores devido ao aprimoramento dos dados de entrada.

Algumas limitações da ferramenta ainda devem ser trabalhadas como nos casos da presença de ilhas e nas células junto às margens nas quais a largura em curvas pode apresentar erros. Ainda assim espera-se que os resultados obtidos possam ser utilizados na modelagem hidrológica e em diversos outros estudos como na área da ecologia ou mesmo navegação, por exemplo.

#### 5. Referências

Allen, G. H.; Pavelsky T. M. Patterns of river width and surface area revealed by the satellite-derived North American River Width data set, **Geophys. Res. Lett.**, 42, p. 395–402, 2015.

Ames, D. P.; C. Michaelis, A. Anselmo; L. Chen; H. Dunsford. MapWindow GIS. **Encyclopedia of GIS**. New York, Sashi Shekhar and Hui Xiong (eds). Springer, p. 633-634, 2008.

Collischonn, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese de Doutorado. IPH/UFRGS. Porto Alegre, 2001.

Fan, F. M.; Collischonn, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 243-254, 2014.

Jensen, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ. 2<sup>nd</sup> ed, 2007.

Onga, N. ; Souto, R. N. V. ; Leite, T. O. ; Zeilhofer, P. ; Schwenk, L. Modelo Numérico de Terreno/SRTM na Análise para estimar a Largura de Rede Hidrográfica. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 2010.

Paiva, R. C. D. **Modelagem hidrológica e 88 hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia 89 do rio Solimões**. Dissertação de mestrado. IPH-UFRGS, 2009.

Pavelsky, T. M.; Smith, L. C. RivWidth: A Software Tool for the Calculation of River Widths from Remotely Sensed Imagery. In.: **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 1, p. 70-73, 2008.

Pontes, P. R. M. ; Collischonn, W. ; Fan, F. M. ; Paiva, R. C. D. ; Buarque, D. C. Modelagem Hidrológica e Hidráulica de Grande Escala com Propagação Inercial de Vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 888-904, 2015.

Siqueira, V. A.; Fleischmann, A. S.; Jardim, P. F.; FAN, F. M.; Collischonn, W. IPH-Hydro Tools: uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, trabalho aceito para publicação, 2016.

Smith, M. J. D.; Goodchild, M. F.; Longley, P. **Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools**. Matador, 2007.

Tucci, E. M. T. **Modelos Hidrológicos**. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. 2ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2005.

Xiang, W. N.; Stratton, W. L. The b-function and variable stream buffer mapping: a note on 'A GIS method for riparian water quality buffer generation'. In.: **International Journal of Geographic Information Systems**, v. 10, n. 4, p. 499 – 510, 1996.

Yamazaki, D.; F. O'Loughlin; Trigg, M. A.; Miller, Z. F.; Pavelsky, T. M.; Bates, P. D. Development of the global width database for large rivers, **Water Resour. Res.**, 50, 3467–3480, 2014.