

IMPACTOS DE RELAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS NAS ESCALAS LOCAL, REGIONAL E NACIONAL NA MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA

Maria Eduarda Pereira Alves¹; Fernando Mainardi Fan²

ABSTRACT – Widths and depths are essential hydraulic parameters to calculate flow and improve the representation of river dynamics in hydrological and hydrodynamic simulation models. In this sense, tools such as geomorphic relationships and application of remote sensing images have been used in the characterization of these parameters, presenting an alternative for application at large scales. However, studies that validate and test the use of these data in hydrological models and that verify the influence of the application scale are rarely found in the literature, especially for regions in Brazil. Therefore, this work sought to analyze whether the adoption of geomorphic relationships with different degrees of detail generates results from flooded areas and significantly different depths. For this, eight scenarios were defined, which covers local, regional, and national scales and uses data from fluvimetric stations of the *Agência Nacional de Águas* (ANA) and satellite images from Landsat 8. Observing the simulations, it was found that local and regional geomorphic relationships do not produce great differences in the flood maps and average and maximum depths obtained. However, at national scale, great differences were found in the test case, representing expressly different results when compared to the more detailed scales. Thus, it is conclusive that the use of geomorphic relationships for different spatial scales interferes with the results obtained from hydrological and hydrodynamic models. Regarding the use of average or median data, there were no major differences in results. It was also observed that remote sensing products represent a promising tool as a methodology for obtaining parameters such as river width. However, more studies regarding of depth parameter extraction are needed.

Palavras-Chave – Relações geomorfológicas, sensoriamento remoto, modelos hidrológicos hidrodinâmicos.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), duda.epa@gmail.com, 3308-7511.

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), fernando.fan@ufrgs.br, 3308-7511.

1 - INTRODUÇÃO

Atributos geomorfológicos como a largura e profundidade do fluxo desempenham um papel importante nos processos hidrológicos, biogeoquímicos e ecológicos dos rios. São parâmetros essenciais para calcular a vazão, avaliar a capacidade de transporte e aprimorar a representação da dinâmica fluvial em modelos de simulação hidrológica e hidrodinâmica. Nesse sentido, avanços tecnológicos aumentaram nossa capacidade de avaliar as características geomorfológicas dos rios para aplicações em grandes escalas, permitindo o uso de abordagens para obter geometria de canal, tais como relações de geometria hidráulica (LEOPOLD, L.B., AND T. MADDOCK, 1953) e utilização de imagens de sensoriamento remoto (PAVELSKY AND SMITH, 2008; JIAWEI HOU, 2019; XIAO YANG, 2019), facilitando a aplicação de modelos.

Nesse contexto, diversos estudos foram desenvolvidos para obtenção de variáveis geomorfológicas, como largura e profundidade, a partir de ferramentas computacionais. Pavelsky e Smith (2008) desenvolveram uma ferramenta de software, RivWidth, para extrair a largura do rio ao longo de um curso fluvial, a partir de imagens de satélite. Isikdogan et al. (2017) desenvolveram um mecanismo automatizado de análise e mapeamento, o RivMap, que é capaz de delinear rios e estimar a largura do rio. Allen e Pavelsky (2018) desenvolveram um banco de dados de larguras globais a partir de imagens Landsat - Global River Widths from Landsat (GRWL), para caracterizar a cobertura global de rios e córregos. Recentemente, Xiao Yang et al. (2019) apresentaram o RivWidthCloud, um software para obtenção da largura do rio desenvolvido na plataforma de computação em nuvem do Google Earth Engine (GORELICK, et al., 2017).

Alternativamente pode-se estimar as larguras e profundidades do rio por relações com a área de drenagem, vazão, entre outras variáveis (COE et al., 2008; PAIVA et al., 2013). Estas são chamadas de relações geomorfológicas. Diversos estudos vêm utilizando estas relações para representação da geometria da rede de drenagem e calibração de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos, tais como os desenvolvidos por Andreadis et al. (2013), Fan et al. (2014), Pontes et al. (2015), Alves, Fan & Fleischmann (2019), entre outros. Nessa linha, o presente trabalho buscou avaliar o grau de expressividade, em termos de áreas alagadas e profundidades simuladas, que a adoção de relações geomorfológicas com diferentes graus de detalhamento na sua obtenção pode gerar em resultados de modelagem hidrológica e hidrodinâmica.

2 - METODOLOGIA

Para aplicação deste trabalho, foram selecionadas três regiões como área de estudo, representando escalas espaciais distintas (local, regional e nacional). Assim, representando a escala local, foram delimitadas por proximidade onze sub-bacias dentre as bacias hidrográficas que estão

localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Como escala regional foi trabalhado o estado do Rio Grande do Sul Hidrológico (RSH), que abrange todas as bacias hidrográficas localizadas no RS. Já como escala nacional foi considerado o território brasileiro. A Figura 1 apresenta as três escalas espaciais adotadas no estudo.

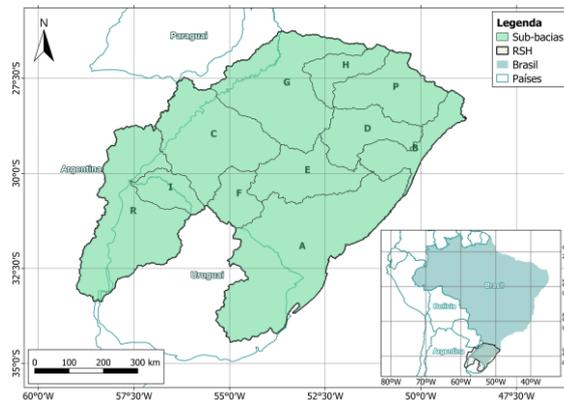


Figura 1. Áreas de abrangência do estudo: sub-bacias, RSH e Brasil.

Para cada área de estudo (sub-bacias, RS e Brasil), foram obtidas relações geomorfológicas entre a profundidade e a largura (representadas estatisticamente com a média e a mediana), associadas com a área de drenagem. Para isso, foram utilizados dados de resumos de descarga das estações fluviométricas, disponíveis no Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>).

Foram selecionadas estações fluviométricas que apresentassem pelo menos 5 anos de dados monitorados, entre os anos 2000 e 2010. Totalizando 248 estações utilizadas na caracterização das sub-bacias e do RS. Para representação do Brasil foram consideradas 2971 estações fluviométricas de onde foram obtidos os dados de profundidade, largura e área de drenagem.

Além de relações obtidas a partir de estações fluviométricas da ANA, foram desenvolvidas relações de largura com área de drenagem a partir de imagens de satélite de duas maneiras: utilizando o *The Global River Widths from Landsat (GRWL)*, banco de dados de larguras elaborados por Allen e Pavelsky (2018); e a partir da ferramenta RivWidthCloud desenvolvida por Xiao Yang et al. (2019).

As relações geomorfológicas obtidas a partir destes oito conjuntos de dados foram aplicadas no Modelo de Grandes Bacias (MGB), o qual é um modelo hidrológico hidrodinâmico para aplicações em grandes bacias, cuja versão mais recente é descrita por Pontes et al. (2017).

No caso do presente estudo não foi utilizada uma verdade de campo para comparação dos resultados. Foram escolhidos os resultados de profundidade e mancha de inundação gerados a partir da relação geomorfológica mais detalhada como sendo o “melhor resultado” e os outros métodos foram comparados a este. Assim, foi definido que a relação de referência seria a relação

das sub-bacias média. Isto por ser uma relação mais local, que considera características de áreas próximas na sua classificação, sendo uma representação mais detalhada do local.

Entretanto, futuramente objetiva-se a definição da melhor relação geomorfológica a partir da comparação entre as manchas de inundação resultantes com imagens de satélites. As áreas alagadas também foram avaliadas de acordo com o Fit metric F (Bates e De Roo, 2000), representado pela Equação (1), onde valores próximos a 1 representam uma boa correlação entre as manchas simuladas e a de referência.

$$F = 100\% \frac{(A \cap B)}{A \cup B} \quad (1)$$

3 - RESULTADOS

3.1 - Relações geomorfológicas

Foram obtidas relações entre profundidades e larguras médias e medianas com área de drenagem para diferentes fontes de dados, representando escalas local, regional e nacional. A Tabela 1 apresenta as relações geomorfológicas obtidas, representadas por equações potenciais.

Tabela 1. Relações geomorfológicas desenvolvidas no estudo.

Área	Largura média (m)	Largura mediana (m)	Profundidade média (m)	Profundidade mediana (m)
Sub-bacia A	$y = 1.3635x^{0.4769}$ $R^2 = 0.7516$	$y = 0.8466x^{0.5286}$ $R^2 = 0.7558$	$y = 0.0897x^{0.3244}$ $R^2 = 0.617$	$y = 0.1185x^{0.2885}$ $R^2 = 0.4176$
Sub-bacia B	$y = 1.4406x^{0.4841}$ $R^2 = 0.6693$	$y = 1.4523x^{0.483}$ $R^2 = 0.6624$	$y = 0.0318x^{0.5444}$ $R^2 = 0.6744$	$y = 0.0552x^{0.4422}$ $R^2 = 0.4595$
Sub-bacia C	$y = 0.8982x^{0.5382}$ $R^2 = 0.9483$	$y = 0.9037x^{0.5347}$ $R^2 = 0.9271$	$y = 0.0701x^{0.4137}$ $R^2 = 0.7865$	$y = 0.0486x^{0.4349}$ $R^2 = 0.7266$
Sub-bacia D	$y = 2.1252x^{0.44}$ $R^2 = 0.8395$	$y = 1.8149x^{0.4585}$ $R^2 = 0.8372$	$y = 0.1101x^{0.3744}$ $R^2 = 0.7999$	$y = 0.0558x^{0.4393}$ $R^2 = 0.7809$
Sub-bacia E	$y = 0.6679x^{0.5768}$ $R^2 = 0.8908$	$y = 0.6219x^{0.5831}$ $R^2 = 0.8732$	$y = 0.0795x^{0.3878}$ $R^2 = 0.8302$	$y = 0.0883x^{0.3606}$ $R^2 = 0.7343$
Sub-bacia F/I	$y = 3.977x^{0.3635}$ $R^2 = 0.5361$	$y = 2.4728x^{0.4104}$ $R^2 = 0.7455$	$y = 0.3594x^{0.1627}$ $R^2 = 0.2141$	$y = 0.3725x^{0.1299}$ $R^2 = 0.1191$
Sub-bacia G	$y = 0.9099x^{0.5501}$ $R^2 = 0.8979$	$y = 0.9282x^{0.5488}$ $R^2 = 0.8919$	$y = 0.0662x^{0.4296}$ $R^2 = 0.8117$	$y = 0.061x^{0.428}$ $R^2 = 0.7227$
Sub-bacia H	$y = 1.8235x^{0.4606}$ $R^2 = 0.9273$	$y = 1.7881x^{0.4645}$ $R^2 = 0.9224$	$y = 0.1301x^{0.363}$ $R^2 = 0.8045$	$y = 0.1275x^{0.3616}$ $R^2 = 0.7569$
Sub-bacia P	$y = 1.3542x^{0.4864}$ $R^2 = 0.8648$	$y = 1.3678x^{0.4846}$ $R^2 = 0.8529$	$y = 0.1217x^{0.371}$ $R^2 = 0.713$	$y = 0.1093x^{0.3728}$ $R^2 = 0.6351$
Sub-bacia R	$y = 1.1089x^{0.5184}$ $R^2 = 0.8616$	$y = 1.0194x^{0.527}$ $R^2 = 0.8523$	$y = 0.0811x^{0.3952}$ $R^2 = 0.7094$	$y = 0.0803x^{0.3826}$ $R^2 = 0.6211$
RS	$y = 1.1089x^{0.5184}$ $R^2 = 0.8616$	$y = 1.0194x^{0.527}$ $R^2 = 0.8523$	$y = 0.0811x^{0.3952}$ $R^2 = 0.7094$	$y = 0.0803x^{0.3826}$ $R^2 = 0.6211$
Brasil	$y = 0.8706x^{0.4911}$ $R^2 = 0.8081$	$y = 0.8539x^{0.4889}$ $R^2 = 0.7815$	$y = 0.1163x^{0.3169}$ $R^2 = 0.603$	$y = 0.1052x^{0.3117}$ $R^2 = 0.5406$
GRWL	$y = 1.4633x^{0.4949}$ $R^2 = 0.6308$	-	$y = 0.0993x^{0.3595}$	-
RivWidthCloud	$y = 1.4545x^{0.4961}$ $R^2 = 0.6333$	-	$y = 0.1163x^{0.3169}$ $R^2 = 0.603$	-

Após a aplicação das áreas de drenagem das minibacias geradas pelo Modelo de Grandes Bacias (MGB) nas equações acima, foi possível representar as relações por uma curva potencial, sendo apresentadas na Figura 2. É importante ressaltar que as profundidades adotadas nas simulações para a simulação do RivWidthCloud foram as mesmas do Brasil média.

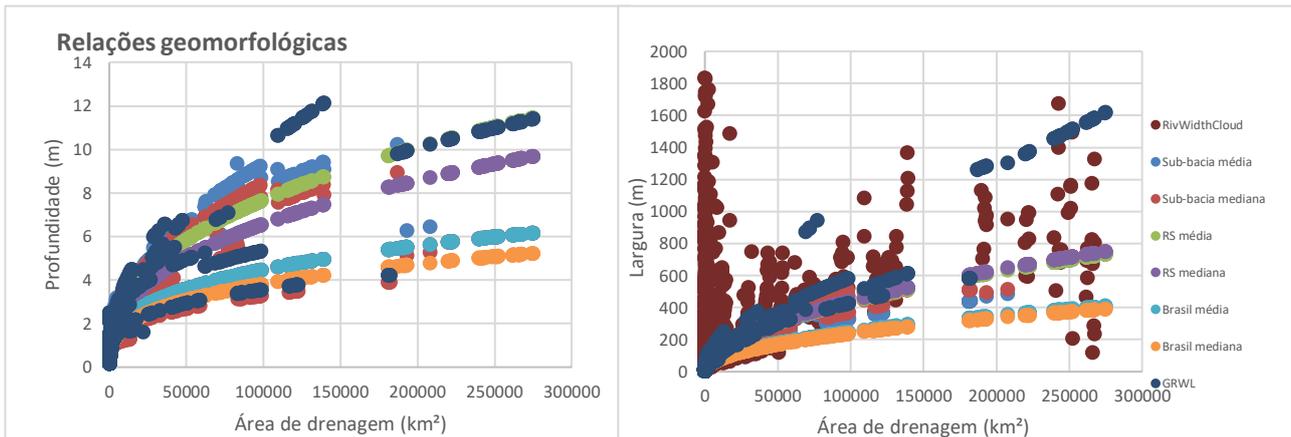


Figura 2. Curvas das relações geomorfológicas de profundidade obtidas no estudo.

É possível observar que as relações nacionais resultam em profundidades e larguras menores quando comparadas com as de sub-bacias e da região do RSH. Em relação as larguras, é possível observar a dispersão dos dados obtidos a partir de imagens de satélite com a ferramenta RivWidthCloud, isso pode ser resultante de um ponto de largura extraído do rio a partir das imagens do Landsat não estar localizado exatamente na drenagem representada pelo modelo utilizado nas simulações, variando a área de drenagem.

No caso das relações entre a média e a mediana não se verifica grandes diferenças na representação das larguras, apresentando valores bem próximos. Já nas profundidades, essa diferença apresenta-se superior, com valores de profundidades mais distintos entre si.

3.2 - Manchas de inundação

Para cada relação geomorfológica foram geradas manchas de inundação, a partir do modelo MGB, e foram analisadas as áreas inundadas e comparadas entre si.

Em relação as diferentes escalas aplicadas foram observadas diferenças nas áreas inundadas resultantes, sendo apresentada na Figura 3 a diferença das manchas de inundação no rio Uruguai, próximo ao município de Uruguaiana (RS). Sendo a mancha denominada Pavelsky a resultante da utilização dos dados de larguras do GRWL. Quando comparadas as manchas geradas com a média ou com a mediana dos valores, os resultados foram muito similares, portanto, não serão mostrados.

É possível observar que a mancha de inundação gerada para a relação geomorfológica nacional apresenta maior diferença em relação as demais. Entretanto, quando se aproxima para um detalhamento regional, essa diferença não é tão significativa, como pode-se observar na diferença entre a relação do RS e a das sub-bacias.

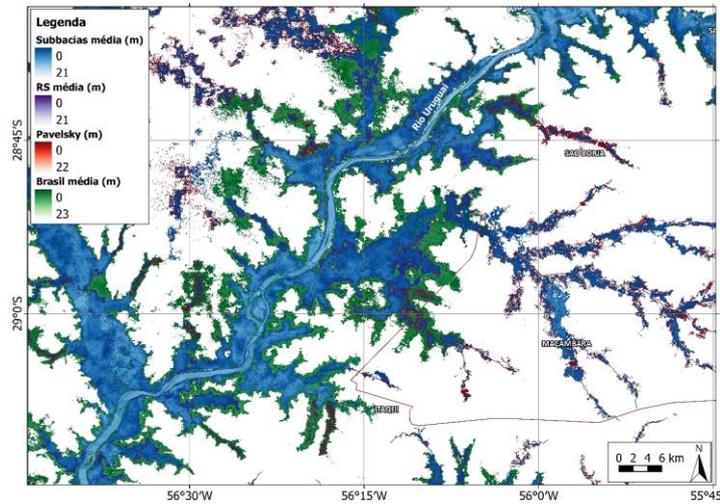


Figura 3. Manchas máximas de inundações geradas no rio Uruguai.

Também se observa a diferença nas regiões do rio Uruguai, perto de Uruguaiana, onde as profundidades sofrem uma redução em relação a área de drenagem devido a presença de grandes planícies de inundações. Verifica-se a diferença na área inundada entre as distintas simulações e que a relação nacional não consegue representar essa diferença, enquanto as relações do RS e principalmente das sub-bacias conseguem, por serem representações mais detalhadas daquela região. Já na comparação das relações local e regional não são apresentadas grandes diferenças nas manchas de inundações obtidas.

Em relação aos métodos de obtenção de larguras a partir de imagens de satélite, foram comparadas as manchas de inundações resultantes do banco de dados de GRWL e dos dados de largura obtidos a partir da ferramenta RivWidthCloud. A Figura 4 apresenta esta comparação, sendo a denominada Pavelsky a resultante dos dados do GRWL e GEE a dos dados do RivWidthCloud.

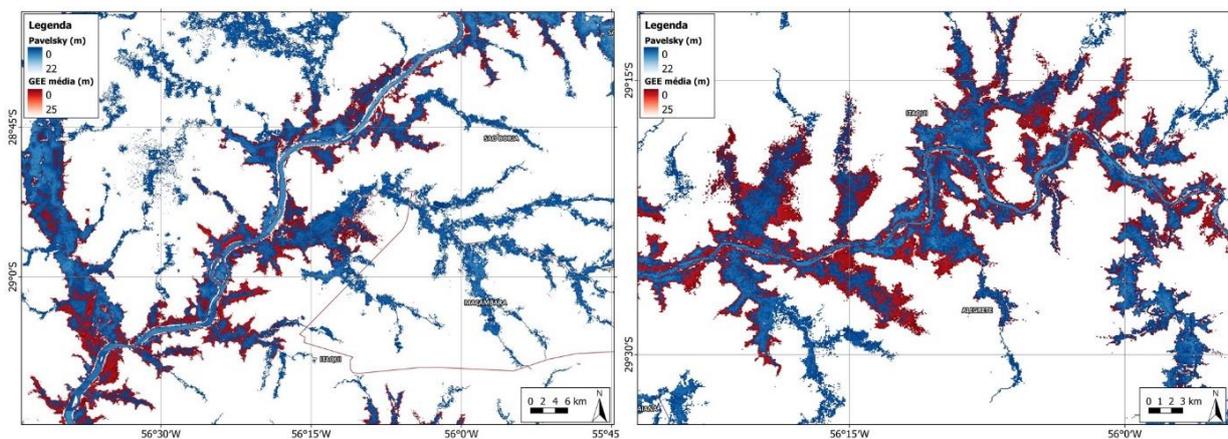


Figura 4. Manchas de inundações resultantes do GRWL e RivWidthCloud.

Observa-se grandes diferenças nas manchas de inundações atingidas para as duas bases de dados. Isto pode ser resultante da utilização de métodos diferentes para a obtenção das larguras nas duas metodologias. Também, devido as larguras do GRWL serem obtidas para vazões constantes

e a do RivWidthCloud extraídas de imagens de satélites de datas distintas, que podem estar representando eventos de secas ou cheias nos rios.

Considerando a mancha de inundação gerada para a relação média das sub-bacias como referência (“melhor resultado”), embora não seja necessariamente a verdade de campo, foram calculados as diferenças médias absolutas e o coeficiente F-metric entre esta referência e as demais simulações. A Tabela 2 apresenta estas métricas calculadas.

Tabela 2. Métricas de desempenho calculadas para as distintas simulações em relação a área alagada.

Mancha	Área inundada (km ²)	Profundidade máxima (m)	Profundidade média (m)	Fit metric F	Diferença área inundada (%)
Sub-bacia média	62001.24	21.0	4.67	-	-
Sub-bacia mediana	63612.01	21.0	4.63	0.97	2.6
RS mediana	57685.50	21.0	3.66	0.93	6.9
RS média	57672.87	21.0	3.68	0.93	6.9
Brasil mediana	76468.59	24.0	5.95	0.81	23.3
Brasil média	73639.17	23.0	5.61	0.84	18.8
GRWL	59914.71	22.0	4.11	0.97	3.4
RivWidthCloud	65577.69	25.0	4.95-	0.95	5.8

A partir das métricas, observa-se que as relações que mais se aproximam da relação de referência (sub-bacias média) são as relações de sub-bacias a partir de dados medianos; relação obtidas dos dados do GRWL com dados das estações da ANA; e relações regionais do estado do RS. Observa-se que as relações mais distantes da referência são as relações nacionais, como foi visualizado nos resultados anteriores.

4 - CONCLUSÃO

Com o objetivo de verificar a influência que o detalhamento das relações geomorfológicas causa na resposta da modelagem hidrológica-hidrodinâmica, comparou-se metodologias para a obtenção dessas relações. A partir dos resultados, verificou-se que não há uma grande diferença entre as simulações realizadas utilizando abordagens de escala regional ou local, considerando adequados os resultados de mancha de inundação gerados. Enquanto uma abordagem em escala nacional apresenta resultados pouco satisfatórios em relação as manchas de inundação e as profundidades atingidas. Produtos de sensoriamento remoto baseados no GEE se demonstraram uma ferramenta promissora para tal objetivo, apresentando relações geomorfológicas coerentes, mesmo que apresente ainda algumas lacunas como não estimar a profundidade do canal e não permitir a estimativa para rios menores.

Trabalhos futuros visarão comparar estes mesmos resultados obtidos com verdades de campo, que seriam manchas de inundação observadas por imagens de satélite ou outra forma de mapeamento.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, G. H., & PAVELSKY, T. M. (2018). Global extent of rivers and streams. *Science* – v. 361, 585-588.
- ALVES, M. E., FAN, F. M., & FLEISCHMANN, A. S. (2019). Simulação de rompimento de barragens em cascata com o modelo MGB. XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - ABRH.
- ANDREADIS, K. M., SCHUMANN, G. J. P., AND PAVELSKY, T. (2013). A simple global river bankfull width and depth database. *Water Resource Research.*, 7164–7168.
- BATES, P. D. AND DE ROO, A. P. J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. Fonte: *J. Hydrol.*, 236, 54–77: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X).
- COE, M. T., COSTA, M. H., AND HOWARD, E. A. (2008). Simulating the surface waters of the Amazon River basin: impacts of new river geomorphic and flow parameterizations. Fonte: *Hydrol. Process.*, 22, 2542–2553: <https://doi.org/10.1002/hyp.6850>.
- FAN, F. M., PONTES, P. R., PAIVA, R. C., & COLLISCHONN, W. (2014). Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.19, p. 137-147.
- GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., & MOORE, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 18-27. Fonte: Earth Engine: <https://earthengine.google.com/>
- ISIKDOGAN, F., BOVIK, A., AND PASSALACQUA, P.: RIVAMAP. (2017). An automated river analysis and mapping engine. Fonte: *Remote Sens. Environ.*, 202, 88–97: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.044>.
- JIAWEI HOU, A. I. (2019). Hydromorphological attributes for all Australian river reaches derived from Landsat dynamic inundation remote sensing. *Earth Science Data*, 1003-1015.
- LEOPOLD, L.B., AND T. MADDOCK. (1953). *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications* (No. 252). US Government Printing Office.
- PAIVA, R. C., BUARQUE, D., COLLISCHONN, W., BONNET, M.-P., FRAPPART, F., CALMANT, S., & MENDES, C. A. (2013). Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resource Research*, 1226-1243.
- PAVELSKY, T.M., AND L.C. SMITH. (2008). RivWidth: A Software Tool for the Calculation of River Widths from Remotely Sensed Imagery. Fonte: *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, p. 70–73.: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2007.908305>.
- PONTES, P. R., COLLISCHONN, W., FAN, F. M., PAIVA, R. C., & BUARQUE, D. C. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 888 - 904.
- PONTES, P. R., FAN, F. M., FLEISCHMANN, A. S., PAIVA, R. C., BUARQUE, D. C., SIQUEIRA, V. A., & COLLISCHONN, W. (2017). MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. *Environmental Modelling & Software*. v. 94, 1-20.
- XIAO YANG, T. M. (2019). RivWidthCloud: An Automated Google Earth Engine Algorithm for River Width Extraction From Remotely Sensed Imagery. *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*.