

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

USO DE DADOS SRTM E PLATAFORMA SIG NA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS SUB-BACIAS DO ALTO E BAIXO JAPARATUBA

Dayane Oliveira Santos Melo¹; Leandro de Santana Santos² & Ludmilson Abritta Mendes³

RESUMO – A delimitação e caracterização morfológica de uma bacia hidrográfica é fundamental para estudos hidrológicos e ambientais. O uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem sido cada vez mais utilizado para produção de Modelos Digital de Elevação (MDE) a partir de dados SRTM. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi obter as características morfológicas das sub-bacias Alto Japaratuba e Baixo Japaratuba, em Sergipe, através do GrassGIS 7.4.1, alguns dos quais ainda ausentes na literatura, e comparar os valores obtidos com fornecidos pelo Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe. Os valores de área, perímetro e índice de compactação foram satisfatórios, ao contrário do comprimento do rio principal, que levou a discrepâncias no índice de forma e no tempo de concentração em ambas as sub-bacias.

ABSTRACT – Morphometric characterization of a river basin is relevant for hydrological and environmental studies. The use of Geographic Information Systems (GIS) has been increasingly used for the production of Digital Elevation Models (MDE) from SRTM data. Therefore, the objective of this paper was to obtain the morphometric characteristics of the sub-basins Alto Japaratuba and Baixo Japaratuba, in Sergipe, through GrassGIS 7.4.1, some of which are still absent in the literature, and to compare results with the values provided by the Digital Atlas of Water Resources of Sergipe. Area, perimeter and compaction index results were satisfactory, unlike the length of the main river, which led to discrepancies in the form index and concentration time in both sub-basins.

Palavras-Chave – SIG. Morfometria. QGIS

1) Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil (LAMEC), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon s/n, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão-SE. E-mail: dayaneosmelo@gmail.com

2) Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil (LAMEC), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon s/n, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão-SE. E-mail: leandrosantana14@gmail.com

3) Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil (LAMEC), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon s/n, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão-SE. E-mail: ludmilsonmendes@yahoo.com.br

1 - INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área delimitada topograficamente, em que faz convergir o escoamento da água da precipitação, por um curso d'água, para uma única saída (TUCCI, 2007). As características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica são fatores que influenciam o regime hidrológico da região (COLLISHONN; DORNELLES, 2015).

A análise das características morfométricas de uma bacia hidrográfica, tais como área, perímetro, comprimento do canal principal, densidade de drenagem, amplitude altimétrica, declividade, ordem dos rios e índices de forma e de compacidade, é fundamental para o desenvolvimento de estudos hidrológicos e ambientais em regiões em que esses dados são escassos.

O uso de informações de relevo em mapas e cartas para a delimitação de bacias hidrográficas tem sido substituído cada vez mais pelo uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Segundo Leite (2013), os SIGs são um conjunto de *hardwares* e *softwares* para compor informações de diversas fontes georreferenciadas, o qual fornece formas digitais consistentes de representação do relevo, como os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para estudos e análises.

Os MDEs gerados a partir de informações do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) têm ganhado relevância em diversas pesquisas por apresentarem modelos altamente precisos com cobertura global (JARVIS *et al.*, 2004). Assim, é possível analisar, comparar e atualizar informações de porções da superfície terrestre por meio de dados SRTM.

Outros trabalhos foram desenvolvidos com o uso desses dados, como o de Oliveira *et al.*, (2010), cuja delimitação de bacia realizada em ambiente SIG mostrou-se compatível com a delimitação manual, que faz uso de cartas topográficas, apresentando apenas pequenas variações nas características da bacia. Ishizawa *et al.*, (2018), em seu levantamento da bacia do Siriri (SE), obtiveram valores de área e perímetro com diferença de 0,32% e 11,57% respectivamente dos valores adotados no plano de recursos hídricos da bacia, mostrando assim que a delimitação automatizada em plataforma SIG obtém valores aproximados dos métodos tradicionais.

O uso dos dados SRTM em ambiente SIG para caracterização morfométrica de bacias demonstra-se viável, pois minimiza custos e tempo na execução de trabalhos, contribuindo na gestão e gerenciamento dos recursos hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi obter os dados morfométricos das sub-bacias do rio Japaratuba, Alto Japaratuba e Baixo Japaratuba, através do pacote de programas da plataforma QGIS e compará-los com os dados fornecidos pelo Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe (SERGIPE, 2016).

2 - METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido nas sub-bacias do Alto Japarutuba e Baixo Japarutuba, localizadas na bacia hidrográfica do rio Japarutuba em Sergipe. A bacia possui cerca de 1.700 km², representando aproximadamente 7,8% da área do Estado, constituindo na menor bacia principal em extensão territorial (CRUZ, 2009). Segundo Sergipe (2016), o rio Japarutuba tem aproximadamente 142 km de extensão e seus principais afluentes são os rios Japarutuba-Mirim, pela margem esquerda, e Siriri, pela direita. A Figura 1 mostra, em destaque, as sub-bacias do estudo.

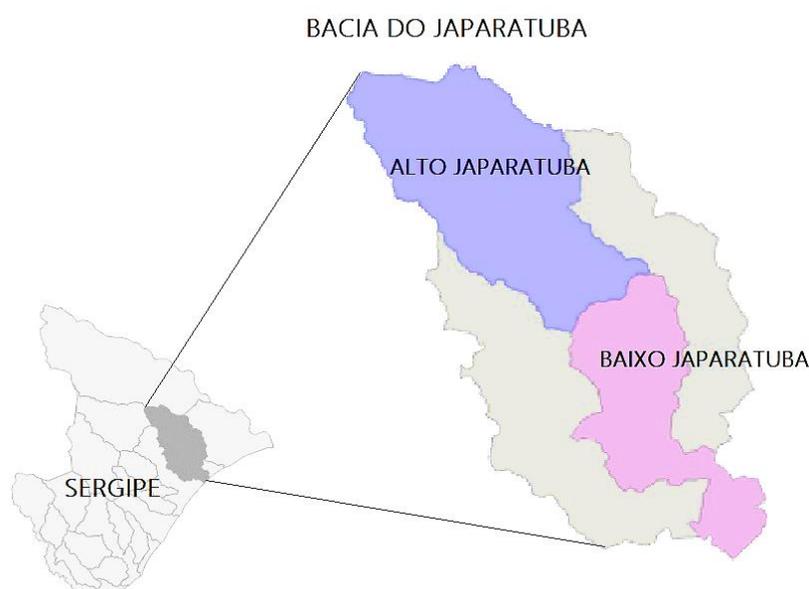


Figura 1 – Localização da área de estudo
Fonte: Autores

Processamento dos dados SRTM

Para a realização da delimitação das bacias do Alto e Baixo Japarutuba através do *software* QGIS 2.18, foram levantadas as cartas topográficas de código SC-24Z-B, obtidas através do sítio Brasil em Relevo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A EMBRAPA disponibiliza as cartas que cobrem a superfície brasileira com o *Datum* WGS-84, de forma que foi necessária a alteração para o *Datum* oficial usado pelo Brasil, o SIRGAS 2000.

As cartas topográficas são disponibilizadas no formato *raster*, ou seja, imagens com informações vinculadas a cada pixel. A resolução espacial para as cartas da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) é de 90x90 m, com cada pixel representando uma área de 8100 m², uma definição satisfatória para a delimitação de grandes bacias, como é o caso deste trabalho.

As bacias se encontram em apenas uma carta topográfica, de forma que a única alteração necessária se deve ao fato de que, para o *software* GrassGIS 7.4.1 produzir a delimitação automática, é recomendado que as cartas sejam reprojetadas em um sistema de coordenadas plano, como o UTM (as cartas se encontravam em um sistema de coordenadas geográficas).

O início da análise morfométrica pelo *software* GrassGIS é feito com o comando “*r.fill.dir*”, que repara as discontinuidades do terreno provocada por depressões por meio de interpolações com as células vizinhas (BENIGNO, 2013). Então, a partir do comando “*r.watershed*”, são criadas duas superfícies para análise hidrológica, análise de fluxo acumulado (*accumulation*) e análise da rede de drenagem matricial (*stream*).

O comando seguinte, “*r.basin*”, obtém as características morfométricas da bacia, a partir da inserção das coordenadas planas do exutório das bacias que serão delimitadas. Outro item que deve ser determinado também é a área mínima de contribuição dentro de uma bacia (*threshold*). No caso dessas bacias, foi considerado que a menor área de contribuição devia ser próxima a 0,4 km², de modo que foi utilizado um valor de *threshold* igual a 50, pois é um valor próximo da razão entre 400.000 m² por 8100 m², sendo o divisor o valor de área de cada *pixel* da imagem SRTM.

Como resultado do comando, o software fornece *rasters* e *vectors* com informações do limite da bacia, rio principal de cada bacia, rede de drenagem, declividades, etc.

Morfometria da bacia hidrográfica

Com os dados obtidos, foi possível determinar o comprimento do rio principal, a área da bacia, o perímetro, a declividade média e a declividade “S10/85”, a densidade de drenagem, o tempo de concentração, os índices de forma (coeficiente de forma e coeficiente de compacidade) e a ordem dos cursos d’água segundo a classificação de Horton-Strahler.

Apenas a área A e o perímetro P são obtidos por verificação dos atributos dos *vectors* no *software* QGIS. O comprimento L do rio principal foi obtido pela construção de um *vector* auxiliar que percorria sua extensão, e o comprimento de drenagem (L_i) foi obtido pela soma do comprimento de todos os braços de rio.

A declividade média e a declividade S10/85 foram obtidas através do *vector* do rio principal. O valor da declividade S10/85, que é a declividade média em 85% do rio, é obtido com a construção de um *vector* auxiliar que começa a uma distância de 15% do comprimento do rio principal da cabeceira do rio e termina a uma distância de 10% da foz do rio principal. Com o comprimento do *vector* e sua cota no início e no fim, calcula-se a declividade S10/85.

Os índices de forma e de compacidade podem ser calculados pelas Equações (1) e (2) e a densidade de drenagem pela Equação (3):

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (3)$$

sendo: K_f o fator de forma; K_c o índice de compactidade; A a área da bacia em km^2 ; L o comprimento do rio principal em km; P o perímetro da bacia em km; D_d a densidade de drenagem em km/km^2 ; e L_i o comprimento do rio i contido na bacia em km.

Com relação ao tempo de concentração, foram escolhidos três métodos para o cálculo e comparação dos resultados. O primeiro método foi o de Dooge (Equação 4), determinado com dados de 10 bacias rurais da Irlanda, com áreas na faixa de 140 a 930 km^2 , o que proporciona uma boa aproximação para bacias nessa ordem de grandeza (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

$$t_c = 21,88 \times \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \quad (4)$$

sendo: t_c o tempo de concentração em minutos; A a área da bacia em km^2 ; S a declividade do curso d'água do rio principal em m/m.

O segundo método foi a Equação do Corpo de Engenheiros do Exército do Estados Unidos da América (EUA), apresentada na Equação (5). Collischonn e Dornelles (2015) mostram que esse método foi desenvolvido a partir da análise de 25 bacias hidrográficas rurais dos EUA, todas com menos de 12.000 km^2 de área de drenagem e comprimento do rio principal inferior a 257 km.

$$t_c = 11,46 \times \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}} \quad (5)$$

onde: t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do curso d'água principal em km; S é a declividade do curso d'água do rio principal em m/m.

O terceiro e último método utilizado foi o de Kirpich (Equação 6), que, segundo Collischonn e Dornelles (2015), foi desenvolvido a partir de dados experimentais de 7 bacias rurais dos EUA.

$$t_c = 3,99 \times \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (6)$$

onde: t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do curso d'água principal em km; S é a declividade do curso d'água do rio principal em m/m.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das delimitações automáticas das sub-bacias, foi possível obter os resultados apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5. Os valores dos indicadores morfométricos das bacias estudadas estão apresentados na Tabela 1.

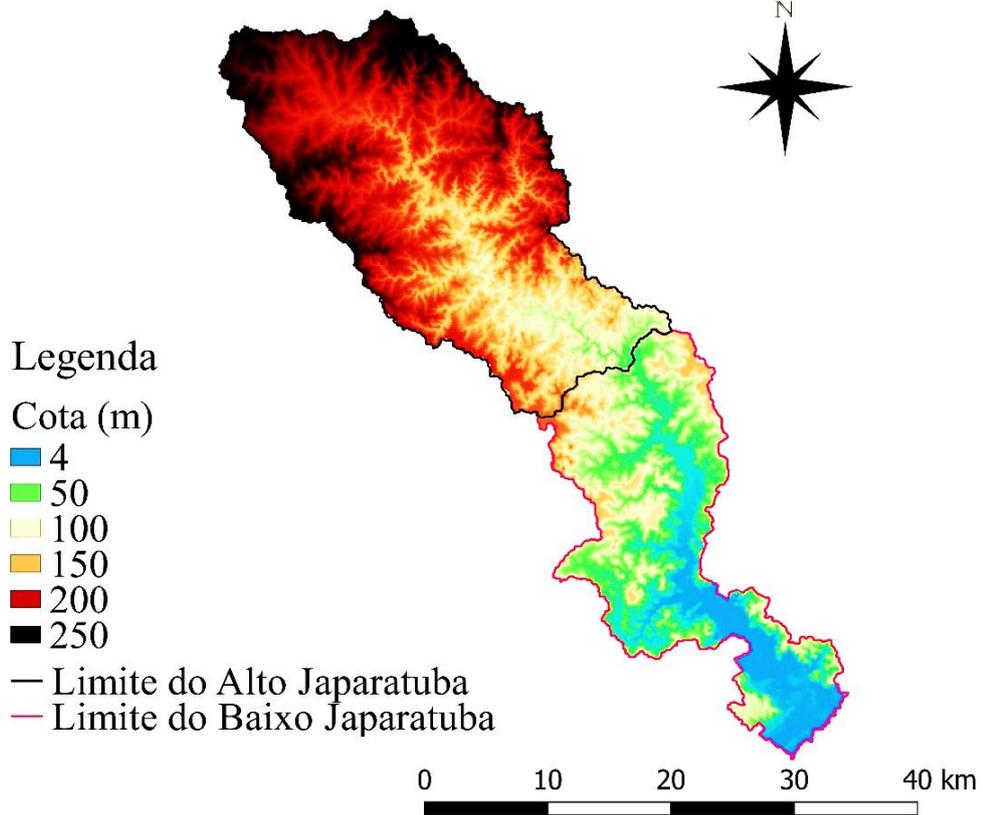


Figura 2 – Mapa altimétrico das sub-bacias Alto e Baixo Japarutuba
Fonte: Autores

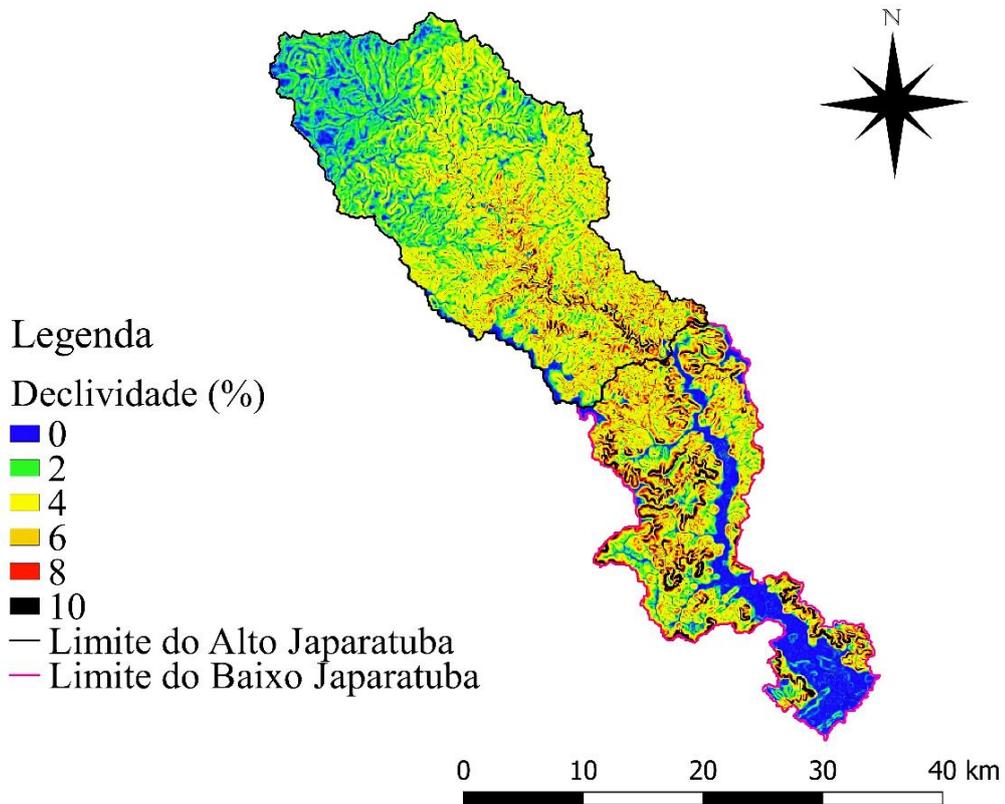


Figura 3 – Mapa de declividades das sub-bacias Alto e Baixo Japarutuba
Fonte: Autores

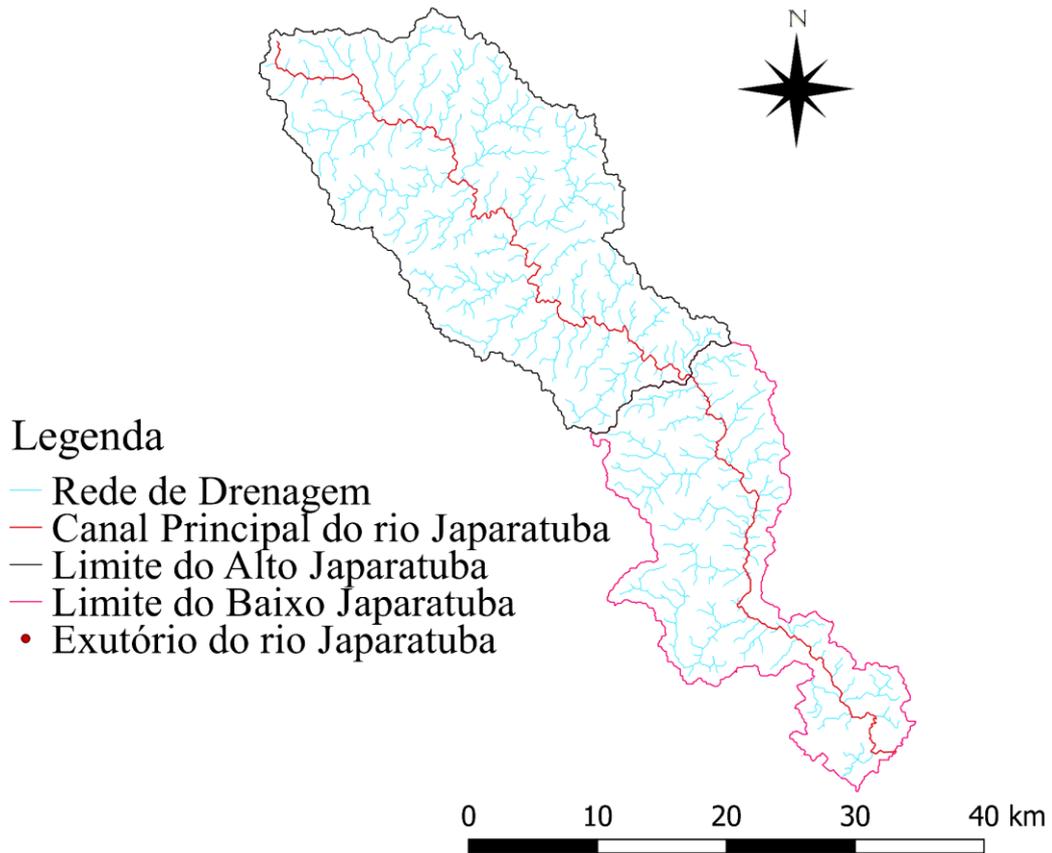


Figura 4 – Canal principal e rede de drenagem das sub-bacias Alto e Baixo Japarutuba
Fonte: Autores

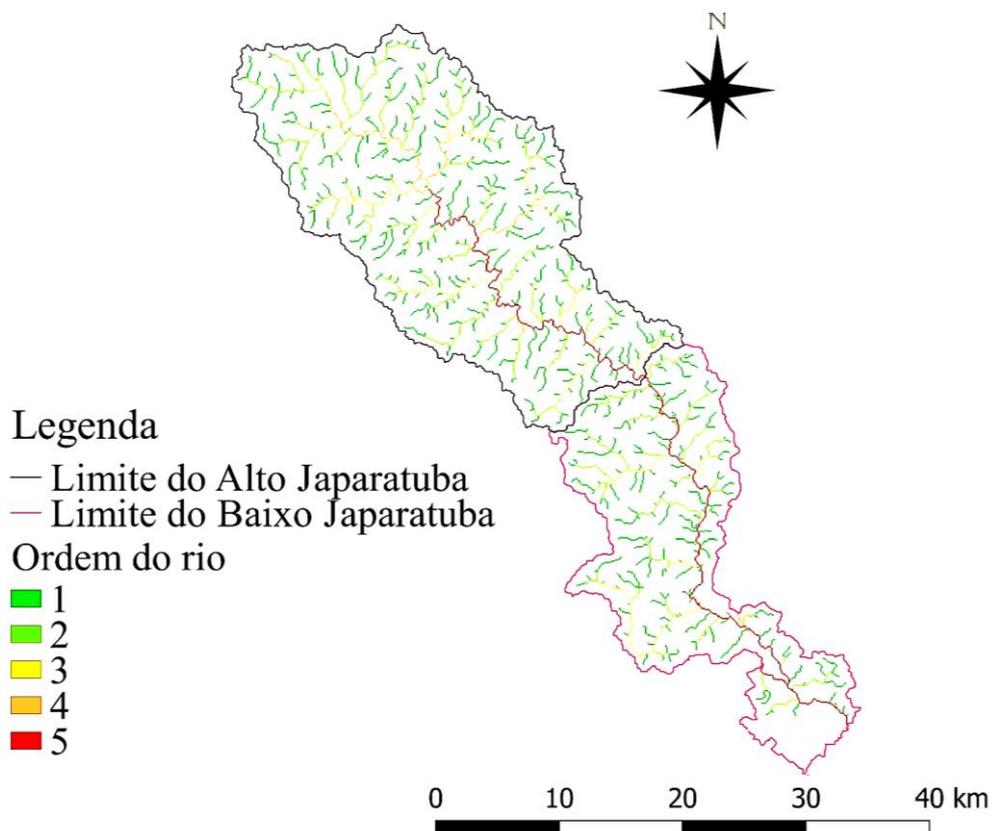


Figura 5 – Ordenamento dos rios das sub-bacias Alto e Baixo Japarutuba
Fonte: Autores

Tabela 1 – Características morfométricas das sub-bacias do Alto e Baixo Japarutuba

Características físicas	Alto Japarutuba			Baixo Japarutuba		
	SRTM	Atlas Digital (Sergipe, 2016)	Variação (%)	SRTM	Atlas Digital (Sergipe, 2016)	Variação (%)
Área de Drenagem (km ²)	573,863	573,704	0	347,998	342,920	1
Perímetro (km)	143,608	125,825	14	146,686	126,946	16
Comprimento do rio principal (km)	69,007	85,556	24	49,799	55,776	12
Índice de compacidade	1,679	1,471	14	2,202	1,919	15
Índice de forma	0,121	0,078	55	0,140	0,110	27
Ordem dos rios	5	NA*	-	5	NA*	-
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,983	NA*	-	0,933	NA*	-

*Não se aplica

Observa-se que, ao comparar a delimitação automática das sub-bacias com os valores de SERGIPE (2016), houve uma variação praticamente nula do valor da área para ambas, demonstrando a eficácia do uso do SIG para delimitação de bacias. As maiores variações foram identificadas no comprimento do rio principal e no índice de forma. Essa discrepância dos valores deve-se à forma como o *software* GrassGIS interpola os valores de cota dos *pixels*, e tal interpolação tende a não representar todos os meandros nos trechos do corpo d'água principal em que a sinuosidade é alta, influenciando no valor final do comprimento do talvegue.

Os valores obtidos para as declividades e para os tempos de concentração encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Declividade média e declividade "S10/85" sub-bacias do Alto e Baixo Japarutuba

Declividade (m/m)		
	Alto Japarutuba	Baixo Japarutuba
Declividade média	0,002956	0,000783
Declividade S10/85	0,002570	0,000535

Tabela 3 – Tempo de concentração para as sub-bacias do Alto e Baixo Japarutuba

Tempo de concentração (min)				
Método de cálculo	Alto Japarutuba		Baixo Japarutuba	
	Declividade média	Declividade "S10/85"	Declividade média	Declividade "S10/85"
Kirpich	979	1033	1270	1470
Corpo de Engenheiros	866	889	869	935
Dooge	796	816	813	867

Com relação ao tempo de concentração, nota-se que ao utilizar a declividade S10/85 ocorre um aumento no valor do t_c para todos os métodos empregados. Além disso, foi observado que para bacias localizadas em regiões de foz, ou seja, com baixa declividade, como no caso do Baixo Japarutuba, a equação de Kirpich, em relação às outras equações, superestima os valores de t_c à medida que diminui a declividade. Para ambas as sub-bacias, as equações do Corpo de Engenheiros

e de Dooge apresentaram valores próximos para declividade média e para declividade S10/85, sendo que a do Corpo de Engenheiros apresentou o menor desvio-médio.

Na Figura 5 está apresentado o perfil do canal principal do rio Japaratuba nas duas sub-bacias.

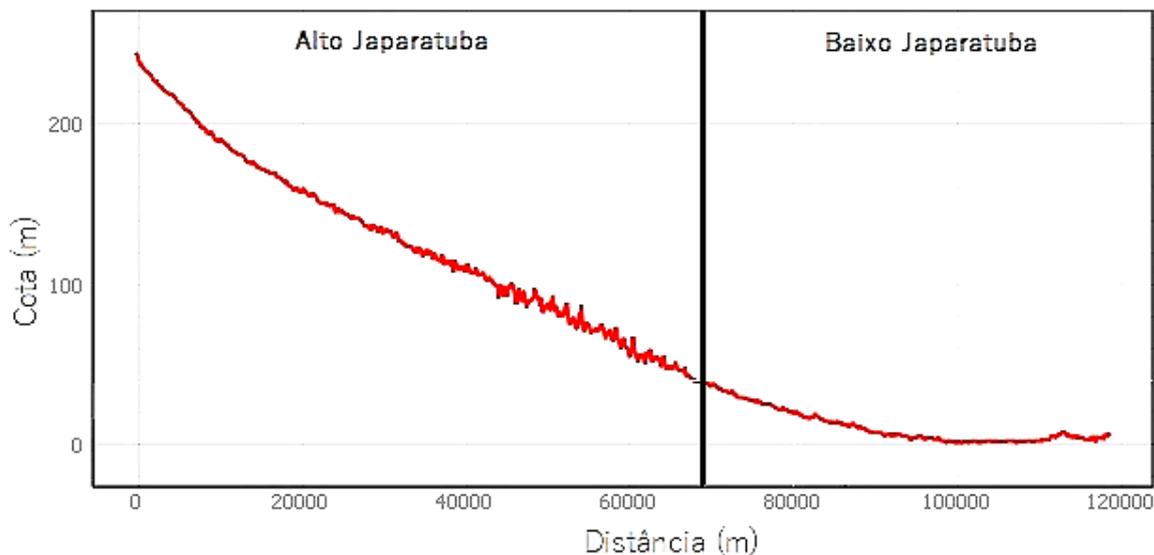


Figura 5 – Perfil do terreno do canal principal do rio Japaratuba
Fonte: Autores

É possível identificar maiores declividades na nascente, na região do Alto Japaratuba, e um alívio à medida que se aproxima do exutório, no Baixo Japaratuba. Os pequenos picos do gráfico representam erros que ocorreram durante a interpolação do *raster*, pois a cota do *pixel* é uma média que ora pega a superfície do canal, ora pega a margem, resultando nessa irregularidade.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível obter as principais características morfométricas das sub-bacias Alto Japaratuba e Baixo Japaratuba. Os parâmetros encontrados pela delimitação automática apresentaram pequena variação em relação aos valores do Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe para área, perímetro e índice de compacidade. Em contrapartida, os valores encontrados de comprimento de rio principal, em ambas bacias, apresentaram discrepância significativa, o que influenciou em valores altos de índice de forma.

Algumas características obtidas neste trabalho, como as declividades média e S10/85, a ordem dos cursos d'água segundo Horton-Strahler e a densidade de drenagem ainda não constam na literatura. O valor da densidade de drenagem pode ser obtido pelo Atlas, porém mediante alguns procedimentos em ambiente SIG, devido ao fato de que o *vector* está junto às redes de drenagem de outras bacias.

Verificou-se, também, que os valores menores do comprimento do rio principal induziram a tempos de concentração menores para as equações do Corpo de Engenheiros e de Kirpich. O método de Dooge não sofreu alterações significativas devido ao fato de que seus parâmetros terem valores muito similares aos disponibilizados pelo Atlas (2016). Dessa forma, é importante salientar a importância da escolha do método de cálculo para o tempo de concentração, e como as características da bacia podem subestimar ou superestimar este valor, o qual é bastante relevante em estudos de hidrológicos para projetos de drenagem, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- BENIGNO, M. (2013) **Caracterização Morfométrica de Bacias Hidrográficas utilizando o GRASS**. 2013 Disponível em: <<http://profmarcello.blogspot.com/2013/12/caracterizacao-morfometrica-de-bacias.html>>. Acesso em: 13 jul. 2018.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. (2015). **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2ª. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.
- CRUZ, M. A. S. **Caracterização da bacia do rio Japarutuba em Sergipe com auxílio de geotecnologias**. Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, p. 617-624, 2009.
- ISHIZAWA, I. B.; SANTOS, L. S; BARBOSA, A. G; MENDES, L. A. **Caracterização fisiográfica da bacia do rio Siriri pelo uso de SIG**. XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018.
- JARVIS, A.; RUBIANO, J.; NELSON, A.; FARROW, A.; MULLIGAN, M. **Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data**. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004. 32 p.
- LEITE, Marcos Esdras (org). **Geotecnologias aplicadas aos estudos geográficos**. Montes Claros: Unimontes, 2013. 326 p.
- OLIVEIRA, P. T. S. DE et al. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 819–825, 2010.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. **Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe**. Aracaju. 2016.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2007.