Application of different MDE's for the extraction of morphometric variables of a hydrographic catchment

Jéssica do S. A. da Silva*, Rodrigo S. S. Rodrigues**, Germana M. Bittencourt***

*Engenheira Sanitarista e Ambiental, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Pará, Brasil. E-mail: jessicaamaral.ufpa@gmail.com (autora correspondente)

**Professor Substituto da Faculdade de Eng. Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Pará, Brasil. E-mail: rssr@ufpa.br

***Professora Adjunta da Faculdade de Eng. Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Pará, Brasil. E-mail: menescal@ufpa.br

Received 10 January 2020; accepted 6 April 2020

Abstract

The morphometric characterization allows an indexed analysis regarding the susceptibility of hydrographic basins to floods under normal precipitation conditions. This study characterized the morphometry of the hydrographic basin of the Capitão Poço, Pará States, comparing results of Digital Elevation Models with different resolutions (SRTM 92.57 m, SRTM 30 m and ALOS-PALSAR 12.5 m), using a Geographic Information System supported Arcgis 10.5 software and its ArcHydro extension. Morphometric parameters such as area, perimeter, compactness index and form factor were calculated, as well as relief features such as elevations and slopes. The methodologies for acquiring morphometric parameters have been disseminated worldwide and explored by hydrologists since the middle of the 20th century, and have become more consistent with the association of remote sensing and geoprocessing. The results referring to the parameters Coefficient of Compactness, Form Factor, Elongation and Circularity presented similar values. There was an elevation inconsistency in the ALOS-PALSAR data, in relation to the other models, however it was efficient in terms of its resolution and details for analyzing slopes.

Keywords: hydrology, water resource management, geoprocessing, Capitão Poço.

Aplicação de diferentes MDE'S para extração de variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica

Resumo

A caracterização morfométrica possibilita uma análise indexada quanto a suscetibilidade de bacias hidrográficas a enchentes em condições normais de precipitação. Este estudo caracterizou a morfometria da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço, Pará, comparando resultados de Modelos Digitais de Elevação com diferentes resoluções (SRTM 92,57 m, SRTM 30 m e ALOS-PALSAR 12,5 m), por meio de Sistema de Informações Geográficas auxiliado do software Arcgis 10.5 e sua extensão ArcHydro. Foram calculados parâmetros morfométricos como área, perímetro, índice de compactidade e fator de forma, além de características de relevo como elevações e declividades. As metodologias para aquisição dos parâmetros morfométricos são difundidas mundialmente e exploradas por hidrólogos desde meados do século XX, e tornaram-se mais consistentes com a associação de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Os resultados referentes aos parâmetros Coeficiente de Compactidade, Fator de Forma, Alongamento e Circularidade apresentaram valores similares. Observou-se inconsistência altimétrica dos dados ALOS-PALSAR, com relação aos demais modelos, entretanto o mesmo se mostrou eficiente quanto a sua resolução e detalhamento para análise de declividades.

Palavras-chave: hidrologia, gestão de recursos hídricos, geoprocessamento, Capitão Poço.

1. Introdução

O planejamento integrado de bacias hidrográficas é uma das principais estratégias de gerenciamento dos recursos hídricos. Para tanto, sua aplicação deve ser pautada na compreensão de um conjunto de indicadores de diferentes áreas temáticas, possibilitando a avaliação sistêmica da dinâmica

ambiental e territorial da sua área de abrangência. Com isso, se busca de maneira conectada e preditiva reduzir conflitos socioambientais e indicar ações de recuperação, preservação, conservação e manejo dos ecossistemas naturais, com vistas a melhoria da qualidade de vida da sociedade (Soares et al., 2016).

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água precipitada que tende a convergir os escoamentos para um único ponto de saída, chamado exutório, drenada por um rio principal e seus afluentes, cuja delimitação é feita por linhas divisórias de água, que ligam os pontos mais altos da região em torno da drenagem considerada (Christofoletti, 1980; Santana, 2003; Borsato e Martoni, 2004; Tucci, 2012). As características físicas da bacia hidrográfica influenciam de maneira decisiva o seu comportamento hidrológico e dependem da morfologia, do tipo e uso do solo, da geologia, da cobertura vegetal, entre outros (Nanfa e Valentin, 2006).

Par conhecer melhor as características geoambientais da bacia hidrográfica, diversas técnicas têm sido utilizadas, podendo se destacar as técnicas de geoprocessamento, que tem auxiliado na caracterização morfométrica, já que servem como ferramentas fundamentais para a gestão do território e a análise ambiental, em virtude de sua abordagem múltipla e na rapidez na geração de resultados (Fonseca et al., 2013).

O avanço tecnológico, na área do geoprocessamento em ambientes do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o surgimento do Modelo Digital de Elevação (MDE) vem contribuindo na execução de estudos envolvendo delimitação automática de bacia hidrográfica, aumentando a agilidade de obtenção e a confiabilidade dos resultados (Fraga et al., 2014). As informações do MDE são armazenadas digitalmente e apresentadas de forma visual ou graficamente, o que permite comparações e correlações entre as informações (Elsbon et al., 2011).

A análise morfométrica pode servir como referência para o planejamento ambiental e reestruturação regional, com o intuito de auxiliar na tomada de decisões em projetos que envolvam recursos físicos da região. Além disso, o entendimento do comportamento hídrico e o desenvolvimento da gestão de recursos hídricos, levando-se em conta as relações antrópicas, econômicas e socioambientais, têm sido uma questão fundamental em estudos de sustentabilidade (Rocha et al., 2014). Diversos estudos comprovam a proximidade entre o valor obtido experimentalmente por MDE e o valor real (Lima et al., 2010; Charrier e Li, 2012; Alves et al., 2014; Miotto et al., 2014; Ariza-Villaverde et al., 2015; Bai et al., 2015; Castro et al., 2020; Rodrigues et al., 2020).

Capitão Poço destaca-se por sua extensão rural com atividades voltadas para agropecuária (bovinos e citricus) e extrativa mineral (seixeiras). Estas atividades, caso não planejadas e controladas, alteram as dinâmicas de uso e cobertura do solo,

potencializando o desflorestamento e a degradação hídrica, estabelecendo assim um microcenário característico de problemas comuns à região amazônica. Diante do exposto, compreendendo a importância de se alcançar informações a respeito de áreas na Amazônia Legal, o objetivo deste estudo foi realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço, comparando os resultados gerados por diferentes Modelos Digitais de Elevação.

2. Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço, localizada no município de Capitão Poço no Estado do Pará, com foz é junto ao rio Guamá (Figura 1). A área é compreendida entre as coordenadas geográficas de latitude 01° 50'34,03"S e longitude 47° 2'59,83"W. O município está inserido na mesorregião do Nordeste Paraense e microrregião do Guamá, estando distante cerca de 226 km da capital do Estado do Pará, Belém.

O clima do município de Capitão Poço, segundo a classificação de Köppen, é do tipo chuvoso (Am), apresentando pequena estação seca entre Setembro e Novembro (Santos, 2013). A temperatura média anual é de 26,9 °C. A precipitação média pluviométrica anual é de 2.449 mm, com os maiores índices de pluviosidade entre janeiro a junho, com pico em março. Segundo Pacheco e Bastos (2001) a umidade relativa do ar em Capitão Poço apresenta comportamento inverso da temperatura do ar durante o ano, tendo como médias anuais de umidade relativa valores variando de 70 a 85%.

A vegetação é caracterizada pela cobertura de Floresta Densa Latifolhada de platô, terraços e vegetação aluvial. Estando a área inserida na condição de frente pioneira, há incidência muito grande de desmatamentos e, conseqüentemente, áreas de capoeira. Atualmente, existe uma grande área com o cultivo de citrus (laranja), com fins industriais (FAPESPA, 2016).

O solo da região de estudo é em sua maioria do tipo latossolo amarelo distrófico, muito comuns nas planícies sedimentares amazônicas. Também encontra-se ocorrência do latossolo vermelho-amarelo distrófico, ambos são solos profundos, antigos e homogêneos, além de quimicamente pobres. Enquanto os gleissolos háplicos distróficos encontram-se ao longo dos cursos d'água em relevo plano, com acúmulo de água por muito tempo, também estando sujeito a inundações tornando-o um solo ácido (Santos, 2013).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço no Estado do Pará

Modelos Digitais de Elevação (MDE)

No presente estudo foram utilizados três arquivos de Modelo Digital de Elevação (MDE), com resoluções espaciais diferentes, com o intuito de comparar os resultados dos procedimentos de extração digital de áreas de drenagem para cada um dos modelos.

Os MDE's são normalmente adquiridos com projeções no Sistema de Coordenadas Geográficas (GCS_WGS1984), porém, para utilização no software ArcGis 10.5 converte-se para o Sistema de Coordenadas Projetadas (UTM Datum SIRGAS 2000 Zona 23 S), possibilitando assim o cálculo de "AP_27131_FBS_F7150_RT1. dem", disponível no portal norte americano Vertex, da *Alaska Satellite Facility* vinculada a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com resolução espacial de 12,5 metros.

Delimitação da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço

Para análise quantitativa da área de drenagem da bacia do igarapé Capitão Poço, visando-se a obtenção de índices morfométricos, foi necessária a extração automática, de forma que as linhas de drenagem dos rios principais de cada sub-bacia hidrográfica apresentassem compatibilidade com o

medidas de área e distância. A zona 23 S é a projeção plana da região de Capitão Poço/PA.

O primeiro MDE utilizado neste estudo é um *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), arquivo "SA-23-V-C", disponibilizado na base de dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com resolução espacial de 92,57 metros. O segundo modelo é um SRTM, arquivo "s02_w048_1arc_v3", disponibilizado na base de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) na plataforma *Earth Explorer*, com resolução espacial de 30 metros. O terceiro MDE utilizado no estudo é um arquivo ALOS-PALSAR, MDE-SRTM utilizado na implementação dos índices morfométricos.

A extração automática de drenagem foi realizada para cada MDE utilizado no estudo, com implementação dos procedimentos disponíveis no software *ArcGIS® 10.5*. A ferramenta *ArcHydro Tools* foi disponibilizada para dar suporte a aplicações em recursos hídricos e para otimizar a extração automática de drenagem, foram realizados os seguintes procedimentos:

a) aplicação do comando *Fill Sinks*, que confere a consistência da drenagem, eliminando possíveis áreas com ausência de informação que ocasionam retenção de fluxo;

- b) cálculo da direção de fluxo (*Flow direction*);
- c) obtenção da matriz com acumulação de fluxos (*Flow accumulation*);
- d) geração da rede de drenagem (*Stream definition*), onde é definido o tamanho mínimo de bacia hidrográfica através da indicação do número de células pelo usuário;
- e) segmentação de rede de drenagem (*Stream segmentation*);
- f) delimitação da grade de bacias (*Catchment grid delineation*);
- g) conversão da grade para formato vetorial, obtendo os limites das bacias na forma de vetor (*Catchment polygon processing*);
- g) conversão da rede de drenagem na forma matricial em vetorial (*Drainage line processing*);

- i) Agrupar informações da grade de bacias e rede de drenagem (*Adjoint catchment processing*).

Após o processamento destas etapas, procedeu-se com a delimitação da área de drenagem por meio do comando *Point Delineation*, escolhendo a foz da bacia como referência para delimitação. A escolha da foz se dá pelo fato desta representar a saída da bacia hidrográfica e o ponto de convergência de toda a área de drenagem para captação das águas superficiais.

De posse da área de contribuição para a foz da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço, foram elaborados mapas temáticos de elevação, declividade e calculados os parâmetros morfométricos conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1– Parâmetros morfométricos, fórmulas e referências.

Parâmetro Morfométrico	Fórmula	Referência
Área (A)	Definido pelo software Gis	Schumm (1956)
Perímetro (P)	Definido pelo software Gis	Schumm (1956)
Comprimento axial da bacia (LB)	Definido pelo software Gis	Schumm (1956)
Largura (La)	$La = A / LB$	Horton (1932)
Coefficiente de compacidade (Kc)	$Kc = P / (2 \sqrt{\pi A})$	Horton (1945)
Fator de forma (Fa)	$Fa = LB^2 / A$	Horton (1932)
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = 4\pi A / P^2$	Miller (1953)
Índice de alongamento (Ia)	$Ia = 2 \sqrt{A / \pi} / LB$	Schumm (1956)
Elevação máxima	Análise software Gis usando MDE	
Elevação mínima	Análise software Gis usando MDE	
Elevação média	Análise software Gis usando MDE	
Declividade máxima	Análise software Gis usando MDE	
Declividade mínima	Análise software Gis usando MDE	
Declividade média	Análise software Gis usando MDE	

Características geométricas

Os valores de área e perímetro foram adquiridos diretamente pela ferramenta de cálculo no ArcMap, utilizando as referências geográficas em UTM. A largura é a relação geométrica entre a área (A) e o comprimento da bacia (LB), conforme Equação (1).

$$La = \frac{A}{LB} \quad (1)$$

Segundo Villela e Mattos (1975) o Coeficiente de compacidade (Kc) ou índice de Gravelius é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a área da bacia. O Kc é um valor adimensional que varia com a forma da bacia, assim quanto mais irregular a bacia, maior será o coeficiente de compacidade e menor a tendência a enchentes. A bacia será mais suscetível a enchentes quando o valor de Kc se aproximar de 1.

Este coeficiente é determinado com base na Equação (2).

$$Kc = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}} \quad (2)$$

Em que, P é o perímetro (km) e A é a área de drenagem (km²).

Outro indicador de menor ou maior tendência de enchentes em bacias hidrográficas é o fator de Forma (Fa), onde quanto mais baixo é menos sujeito a enchentes quanto outra do mesmo tamanho com fator de forma maior (Villela e Mattos, 1975). Este é obtido através da Equação (3).

$$Fa = \frac{A}{LB^2} \quad (3)$$

Em que, A é a área de drenagem (km²) e LB é o comprimento do eixo da bacia (km).

Com os valores da bacia, outro índice geométrico a ser calculado é o de circularidade. Este tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (Tonello et al., 2006). Para obter o valor de I_c utiliza-se a Equação (4).

$$I_c = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (4)$$

Em que A é a área de drenagem em (km²) e P é o perímetro em (km).

Outro índice importante é o de alongamento (I_a) que indica quanto menor este índice menor o risco de cheias na bacia hidrográfica. Obtido através da Equação (5).

$$I_a = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (5)$$

Em que A é a área de drenagem em (km²) e LB é o comprimento da bacia em (km).

Características de relevo

Algumas informações relacionadas às características do relevo como elevações (máxima, média e mínima) e declividades (máxima, média e mínima) são obtidas direto do processamento dos MDE junto ao ArcMap através da ferramenta *Spacial Analyst Tools > Surface > Slope*.

A altitude foi definida pela correção dos MDE. A declividade do terreno é a variação de altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa. O MDE foi utilizado como base para a geração do mapa de declividade

reclassificado em seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA (1979) que são relevo plano (0 a 3%), relevo suavemente ondulado (3 a 8%), relevo ondulado (8 a 20%), relevo fortemente ondulado (20 a 45%), relevo montanhoso (45 a 75%) e relevo fortemente montanhoso (acima de 75%).

3. Resultados e discussão

Comprimento da rede de drenagem (L_d) de 57,6 km, sendo que seu canal principal possui 18,8 km. Já em relação ao comprimento axial (LB) da bacia foram adotados os valores calculados de acordo com suas respectivas resoluções: SRTM 92,57 m igual a 17,5 km, SRTM 30 m igual a 16,77 km e ALOS-PALSAR 12,5 m igual a 16,36 km.

Tomando-se como referência os valores obtidos pelo MDE SRTM 30m (resolução mais usual na atualidade devido a facilidade de aquisição), o SRTM 92,57m apresentou valor 1,88% maior e o ALOS-PALSAR 12,5m, um valor 7,83% menor; o perímetro, SRTM 92,57m e ALOS-PALSAR 12,5m apresentaram valores menores em 18,08% e 5,07%, respectivamente. Valores dos parâmetros F_a e I_a , obtiveram valores muito próximos. O valor de K_c para o MDE SRTM 92,57 m foi numericamente distante aos outros valores; bem como o valor de I_c para o SRTM 30 m foi numericamente distante dos demais modelos. Na Tabela 2 mostram-se os resultados da caracterização da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço.

Tabela 2 – Características físicas da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço-PA de acordo com seus respectivos MDE's.

	Características Morfométricas		
	SRTM 92,57 m	SRTM 30 m	ALOS-PALSAR 12,5 m
Área total (km ²)	117,16	115	106
Perímetro (km)	63	76,9	73,00
Largura (km)	6,83	6,86	6,48
K_c	1,64	2,02	2,00
F_a	0,40	0,41	0,40
I_c	0,37	0,24	0,35
I_a	2,95	2,95	2,87
Elevação máxima (m)	101	102	75,04
Elevação mínima (m)	37	37	5
Elevação média (m)	57,64	75,93	49,55
Declividade máxima (%)	15,93	34,68	41,78
Declividade mínima (%)	0	0	0
Declividade média (%)	1,91	3,2	5,1

Com base nos resultados obtidos para os três MDE's, considerando os valores de K_c , F_a , I_c e I_a

independente da variabilidade numérica, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do igarapé Capitão

Poço, mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se os eventos de intensidades anormais de precipitação, pelo fato dos seus coeficientes de compacidade apresentarem valores consideravelmente afastados da unidade respectivamente Kc (92,57 m) igual a 1,64, Kc (30 m) igual a 2,02 e Kc (12,5 m) igual a 2,00.

Em relação ao fator de forma a bacia do igarapé Capitão Poço apresentou valores baixos: Fa (92,57 m) igual a 0,40, Fa (30 m) igual a 0,41 e Fa (12,5m) igual a 0,40, logo se conclui que a bacia não possui forma circular possuindo assim forma alongada, fato que pode ser justificado pelo índice de circularidade ser baixo possuindo valores de Ic (92,57 m) igual a 0,37, Ic (30 m) igual a 0,24 e Ic (12,5 m) igual a 0,25. Em bacias com forma circular há maior probabilidade de precipitações intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no curso d'água principal.

Uma comparação pode ser realizada com os resultados obtidos por Rodrigues et al. (2016), que ao estudar a morfometria da bacia hidrográfica do igarapé da Prata em Capitão Poço (bacia lindeira a noroeste do igarapé Capitão Poço), utilizando um MDE com resolução espacial de 30m, obteve valores muito similares com relação a área (115,28 km²),

perímetro (70,15 km), Kc (1,82), Fa (0,35) e Ic (0,29).

A altimetria na bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço é apresentada na Figura 2, onde pode-se verificar com detalhes as diferenças hipsométricas encontradas para cada MDE. Os valores de altitude mínima e máxima entre os MDE EMBRAPA e USGS são bem próximos, diferente dos valores encontrados no ALOS-PALSAR. Ainda assim, a variação altimétrica entre os três modelos apresentam valores próximos com 64 m, 65 m e 70 m para os modelos EMBRAPA, USGS E ALOS-PALSAR, respectivamente.

Sabendo que a foz da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço é junto ao rio Guamá e a foz do rio Guamá é distante cerca de 200 km do igarapé Capitão Poço, é pouco provável que a cota mínima seja conforme apresentado pelo MDE ALOS-PALSAR com valor de 5m. Outro ponto relevante é que as cotas mínimas apresentadas pelos MDE EMBRAPA e USGS possuem o mesmo valor de 37m. Isto indica um erro no MDE ALOS-PALSAR.

Embora o MDE ALOS-PALSAR apresente valores de altimetria provavelmente incoerentes, a proporcionalidade entre as cotas de seus pixels apresenta uma distribuição adequada comparado aos MDE EMBRAPA e USGS, conforme apresenta-se na análise em três dimensões na Figura 3.

Figura 2 – Distribuição das altitudes na bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço-PA de acordo com diferentes MDE's gerados.

Figura 3 – Detalhamento do relevo na bacia do igarapé Capitão Poço-PA.

O nível de detalhamento da superfície da bacia hidrográfica pelo MDE ALOS-PALSAR é muito melhor em virtude de sua resolução de 12,5 m comparado aos demais MDE analisados. Na Figura 4

é possível compreender como os MDE com melhores resoluções se sobressaem em relação aos demais por apresentar uma maior quantidade de pixels em uma mesma área.

Figura 4 – Distribuição dos pixels para as diferentes resoluções espaciais dos MDE.

A resolução do MDE de 30 m é nove vezes melhor que a resolução do MDE de 92,57 m, já a de 12,5 m é 51,84 vezes melhor que o MDE de 92,57 m e 5,76 vezes melhor que o MDE de 30 m.

Para evidenciar melhor esta discussão sobre a resolução de imagens, na Figura 5 faz-se uma análise comparativa da distribuição das declividades segundo a classificação da EMBRAPA (1979) para cada MDE estudado.

Figura 5 – Distribuição dos pixels para as diferentes resoluções espaciais dos MDE's.

Em virtude da maior quantidade de pixels, o MDE ALOS-PALSAR apresenta maior detalhamento com relação as diferenças de declividade, embora apresente um provável erro em função da referência altimétrica, a distribuição proporcionalmente adequada valida sua utilização para análise de

declividade.

Na Tabela 3 apresentam-se as informações quantitativas associadas à declividade da bacia em estudo segundo a classificação da EMBRAPA (1979).

Tabela 3– Distribuição das declividades na bacia do igarapé do Capitão Poço-PA.

Declividade (%)	Discriminação	92,57 m		30 m		12,5 m	
		%	(km ²)	%	(km ²)	%	(km ²)
0 – 3	Relevo plano	79,72	93,40	53,32	61,32	22,12	23,45
3 – 8	Relevo suavemente ondulado	17,47	20,47	35,95	41,34	62,66	66,42
4 – 8	Relevo ondulado	0,36	0,42	5,29	6,08	14,67	15,55
5 – 8	Relevo fortemente ondulado	-	-	0,07	0,08	0,55	0,58

Fonte: Autores (2020).

Observa-se que o MDE de 92,57 m e de 30 m tem a maior parte do relevo classificado como plano. Já o modelo ALOS-PALSAR apresentou a maior parte do relevo como suavemente ondulado. A divergência pode se dar devido ao maior nível de detalhamento da resolução espacial com 12,5 m. Quanto mais baixa as declividades, indica-se tendência de baixas velocidades no escoamento superficial, aumentando a possibilidade da infiltração de água no solo.

Comparando os resultados das características de relevo com o estudo de Rodrigues et al. (2016), o igarapé da Prata apresenta valores similares de altitude e declividade ao se comparar os resultados para o SRTM de 30m, exceto pela altitude mínima uma vez que a foz do igarapé da Prata encontra-se em um ponto a jusante em relação a foz do igarapé

Capitão Poço, assim, apresentando altitude menor (10 m).

A comparação entre os resultados obtidos para as bacias hidrográficas dos igarapé Capitão Poço e da Prata, reforça a existência de um padrão morfométrico na região.

4. Conclusão

A bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço se mostrou pouco susceptível as enchentes de acordo com os índices morfométricos avaliados.

Em relação a comparação dos diferentes MDE's analisados, os índices de circularidade, coeficiente de compacidade e fator de forma pouco sofreram alterações, o que pode garantir a consistência destes dados.

Em relação aos dados altimétricos foram encontradas diferenças significativas no modelo ALOS-PALSAR em comparação ao modelo EMBRAPA E USGS, indicando assim erros altimétricos gerados pelo MDE ALOS-PALSAR.

Entretanto apesar do erro altimétrico gerado pelo modelo ALOS-PALSAR, o mesmo mostrou-se eficiente quanto a sua resolução e detalhamento para análise de declividades, o que indica que o erro altimétrico está na referência altimétrica utilizada, porém, a proporcionalidade entre a diferença de altitude entre pixels está coerente.

Referências

- Alves, T.L.B., Azevedo, P.V., Silva, M.T., 2014. Análise morfométrica da bacia hidrográfica riacho Namorado, São João do Cariri-PB: uma ferramenta ao diagnóstico físico. *Revista de Geografia (UFPE)* 31, 130-148.
- Ariza-Villaverde, A.B., Jiménez-Hornero, F.J., Ravé, E.G., 2015. Influence of DEM resolution on drainage network extraction: A multifractal analysis. *Geomorphology* 241, 243–254.
- Bai, R., Li, T., Huang, Y., Li, J., Wang, G., 2015. An efficient and comprehensive method for drainage network extraction from DEM with billions of pixels using a size-balanced binary search tree. *Geomorphology* 238, 56–67.
- Borsato, F., Martoni, A.M., 2004. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no município de Maringá, estado do Paraná. *Acta Scientiarum, Human and Social Sciences* 26, 273-285.
- Castro, D.C.C., Rodrigues, R.S.S., Ferreira Filho, D. F., 2020. Surface runoff from drainage area of the lakes Bolonha and Black Water in Belém and Ananindeua, Pará. *Research, Society and Development* 9, e38932373.
- Charrier, R., Li, Y., 2012. Assessing resolution and source effects of digital elevation models on automated floodplain delineation: A case study from the Camp Creek Watershed, Missouri. *Applied Geography* 34, 38-46.
- Christoforetti, A., 1980. *Geomorfologia: a análise de bacias hidrográficas*. 2. ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- Elesbon, A.A.A., Guedes, H.A.S., Silva, D.D., Castro, I.O., 2011. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do braço norte do rio São Mateus – Brasil. *Revista Escola de Minas* 64, 281-288.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos*. Rio de Janeiro.
- Fraga, M.S., Ferreira, R.G., Silva, F.B., Vieira, N.P.A., Silva, D.P., Barros, F.M., Martins, I.S.B., 2014. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. *Nativa* 2, 214-218.
- Fonseca, S.F., Santos, D.C., Hermano, V.M., 2013. Geoprocessamento aplicado á análise dos impactos socioambientais urbanos: estudo de caso do bairro Santo Expedito em Buritizeiro/MG. *Revista de Geografia (UFPE)* 30, 178-191.
- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas, 2016. *Estatísticas Municipais Paraenses: Capitão Poço*. Governo do Estado do Pará. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56, 275-370.
- Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union* 13, 350–361.
- Lima, K.C., Cunha, C.M.L., Santos, J.M., 2010. Análise geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Bom Sucesso (semiárido da Bahia) através da aplicação de parâmetros morfométricos da rede de drenagem. *Revista de Geografia especial*, 30-44.
- Mioto, C.L., Ribeiro, V.O., Souza, D.M.Q., Pereira, T.V., Anache, J.A.A., Paranhos Filho, A.C., 2014. Morfometria de Bacias Hidrográficas Através de SIGs Livres e Gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências* 37, 16-22.
- Nanía, L.S., Valentín, M.G., 2006. *Ingeniería Hidrológica*. 2. ed. Grupo Editorial Universitario, Granada.
- Pacheco, N.A., Bastos, T.X., 2001. Caracterização climática do Município de Capitão Poço-PA. *Embrapa Amazônia Oriental*, Belém. (Documentos 79).
- Rocha, R.M., Lucas, A.A.T., Almeida, C.A.P., Menezes Neto, E.L., Aguiar Netto, A.O., 2014. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água* 9, 276-287.
- Rodrigues, R.S.S., Fernandes, L.L., Crispim, D.L., Vieira, A.S.A., Pessoa, F.C.L., 2016. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 11, 143-150.
- Rodrigues, R.S.S., Silva, M.N.A., Ferreira Filho, D. F., Bezerra, P.E.S., Figueiredo, N.M., 2020. Análise dos efeitos de um evento extremo de chuva sobre o escoamento superficial em uma

- pequena bacia hidrográfica rural amazônica. *Revista Brasileira de Climatologia* 26, 368-392.
- Santana, D.P., 2003. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas. (Documentos 30).
- Santos, D.B.O., 2013. Aplicação da RUSLE a uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. Dissertação (Mestrado). Belém, UFPA.
- Soares, L.S., Lopes, W.G.R., Castro, A.C.L., Araujo, G.M.C., 2016. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. *Revista do Departamento de Geografia: USP* 31, 82-100.
- Tonello, K.C., Dias, H.C.T., Souza, A.L., Ribeiro, C.A.A.S., LEITE, F.P., 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. *Revista Árvore* 30, 859-857.
- Tucci, C.E.M. (org)., 2012. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, Porto Alegre.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. Hidrologia Aplicada. Mcgraw Hill, São Paulo.