



ISSN 2317-3122



GRUPO VERDE DE AGROECOLOGIA E AGRICULTURA

Morfometria das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil

Morphometric characterization of Caraparu and Maguari-Açú catchments, Metropolitan Region of Belém – State of Pará – Brazil

Luma Lorena Moraes dos Santos^{1*}; Rodrigo Silvano Silva Rodrigues²; Germana Menescal Bittencourt³

Resumo: Objetivou-se realizar a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, localizados na Região Metropolitana de Belém, nordeste do Estado do Pará. Inicialmente gerou-se o Modelo Digital de Elevação a partir de SRTM com resolução espacial de 30 m, utilizando o sistema de informações geográficas, por meio do software ArcGis 10.1 e da extensão ArcHydro. Foram calculados 25 parâmetros morfométricos para o estudo do comportamento hidrológico das bacias. As áreas de drenagem encontradas foram de 373,993 km² para o rio Caraparu e 21,228 km² para o rio Maguari-Açú; os perímetros foram de 148,159 km e 39,155 km, respectivamente. As bacias hidrográficas dos rios possuem formato alongado, comprovado por seus coeficientes de compactidade, fator de forma, índice de circularidade e de alongamento; com baixas densidades de drenagem e com padrões dendríticos. A forma mais alongada das bacias hidrográficas indica que as precipitações pluviométricas sobre elas se distribuem em diferentes áreas. De maneira geral, suas características morfométricas denotam um controle estrutural da drenagem eficiente, bem como menor risco de grandes cheias em condições normais de pluviosidade anual e topografia favorável ao escoamento superficial.

Palavras-chaves: Gestão de recursos hídricos. Caracterização morfométrica. Hidrologia.

Abstract: This article has studied the morphometric characterizations of the water catchment areas of the rivers Caraparu and Maguari-Açú, located in the Metropolitan Region of Belém, Brazil, located in the Amazon Region, North Brazil. In order to do so, a Digital Elevation Model (DEM), spatial resolution of 30 meters, using as database and analysis the system of geographic information, by means of the ArcMap 10.1 and ArcHydro tools. 25 morphometric parameters were calculated for the study of the hydrological behavior of the basins. In the Caraparu catchment the drainage area is 373,993 km² and perimeter is 148,159 km. In the Maguari-Açú catchment the drainage area is 21,228 km² and perimeter is 39,155 km. The river basins have an elongated shape, proven by their coefficients of compactness, shape factor, circularity index and elongation; With low drainage densities and with dendritic patterns. The more elongated form of the river basins indicates that rainfall on them is distributed in different areas. In general, its morphometric characteristics denote a structural control of the efficient drainage, as well as a lower risk of large floods under normal annual rainfall conditions and topography favorable to surface runoff.

Key words: Water resources management. Morphometry. Hydrology.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 09/01/2017; aprovado em 09/02/2017.

¹ Graduanda do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Belém/PA; (91) 98825-6253, E-mail: luma.moraes09@gmail.com

² Engenheiro sanitário e ambiental, Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Área: Engenharia hídrica, Universidade Federal do Pará, Belém/PA. E-mail: rssr@ufpa.br

³ Engenheira civil, Doutora em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Professora titular da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Belém/PA. E-mail: menescal@ufpa.br

INTRODUÇÃO

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). Ainda de acordo com Santana (2003) as bacias hidrográficas podem ser divididas em várias áreas, chamadas de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do canal coletor, sendo que cada bacia interligada com outra de ordem hierárquica superior é considerada sub-bacia, logo, os termos bacias e sub-bacias hidrográficas são relativos, pois dependem da área a ser analisada.

Problemas associados às questões ambientais e ao gerenciamento de demandas conflitantes de pequenos e grandes usuários em várias bacias hidrográficas continuam a aumentar (KOJIRI, 2008). Para Gupta (2008) os recursos hídricos disponíveis para desenvolvimento econômico dos países em longo prazo são finitos, pois a maioria dos países em desenvolvimento está enfrentando uma difícil tarefa na gestão dos recursos hídricos: lidar com problemas de distribuição equitativa da água e resolução de conflitos, a manutenção de uma base sustentável de recursos, além de lidar com eventos naturais extremos, como inundações e secas.

O conhecimento das características de uma bacia hidrográfica é um dos métodos mais comuns para análises hidrológicas ou ambientais, cujo objetivo é compreender os fatores relacionados com a dinâmica ambiental na área delimitada (LASZLO e ROCHA, 2014).

As inundações vêm fazendo parte da história da humanidade. Nos últimos anos, o número de ocorrências e o número de pessoas afetadas vêm aumentando significativamente. Este aumento está acompanhando a tendência relacionada a todos os tipos de desastres naturais. Isto ocorre por causa da falta de controle do espaço urbano, produzindo efeito direto sobre a infraestrutura hídrica: abastecimento, esgotamento sanitário, drenagem urbana, inundações ribeirinhas e resíduos sólidos (TUCCI, 2010).

No Brasil, os termos associados às inundações são: cheia, enchente, enxurrada, inundação gradual, inundação brusca, alagamentos, inundações ribeirinhas, inundações urbanas, enchentes repentinas entre outros. Devido a esta diversidade de termos, há uma divergência e até mesmo confusão quanto à caracterização das inundações.

A inundação é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal; é quando ocorre um transbordamento das águas sobre as áreas próximas ao curso do rio, atingindo a planície de inundação ou áreas de várzea.

No entanto, há muita confusão com os termos “inundação” e “enchente”. Quando as águas de um rio se elevam até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação.

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto podem auxiliar no planejamento e no controle ambiental, em que decisões estratégicas exigem uma

grande quantidade de informações que podem ser facilmente analisadas com o uso destas ferramentas, tais como: o uso do solo e a influência do relevo, do clima e da hidrografia nas características físicas e ocupacionais de uma dada região (WEISS et al., 2013).

A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em geomorfologia permite o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão, tendo em vista que o crescimento da capacidade de processamento e armazenamento de dados dos computadores e a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) encontram-se em um estágio no qual é possível trabalhar em extensas áreas com alta resolução espacial, sem perda significativa do tempo de processamento envolvido (GROHMANN et al., 2008).

Os dados derivados do radar SRTM, segundo Vital et al. (2010) tem um vasto campo de aplicação e utilidade para as ciências da Terra, sendo que o uso de dados SRTM tem sido uma tendência bastante atual para a interpretação geomorfológica. Silva e Santos (2007) enfatizam que a disponibilização de modelos SRTM tem trazido grandes avanços para a Geomorfologia, pois a partir destes modelos têm-se obtido informações altimétricas e perfis topográficos, dados fundamentais para a esta ciência.

Desta maneira é necessário elaborar um zoneamento preventivo em relação a áreas susceptíveis a inundação, bem como restringir o acesso destas áreas quando ocorre uma inundação.

Enchentes podem ser intensificadas por muitos fatores que dependem das características fisiográficas da bacia, tais como topografia, área da bacia, geologia, e as condições climáticas. Segundo Masoud (2015), estas características são fatores importantes para o controle do escoamento da água e para avaliação de perigo de inundação e esta avaliação é muito importante para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, bem como para o controle e proteção de riscos de enchentes e secas.

Tratando-se especificamente da Região Metropolitana de Belém, no Estado do Pará, existem algumas peculiaridades que devem ser consideradas, como a regularidade planialtimétrica e a elevada pluviometria, assim como a relação da urbanização com os aspectos naturais, onde corpos d'água compõem o cenário urbano local, além de áreas periurbanas e rurais que possuem grande importância socioeconômica e ambiental para o desenvolvimento regional.

Este trabalho associa informações de parâmetros morfométricos para bacias hidrográficas na Região Metropolitana de Belém (RMB), a fim de subsidiar ferramentas para tomadas de decisões na gestão e planejamento de recursos hídricos, visando a preparação contra eventos extremos, principalmente de inundações, tendo em vista que a região não dispõe de estudos e índices que possam subsidiar o emprego de ações e medidas para soluções convencionais e/ou não convencionais para controle de enchentes, inundações e alagamentos.

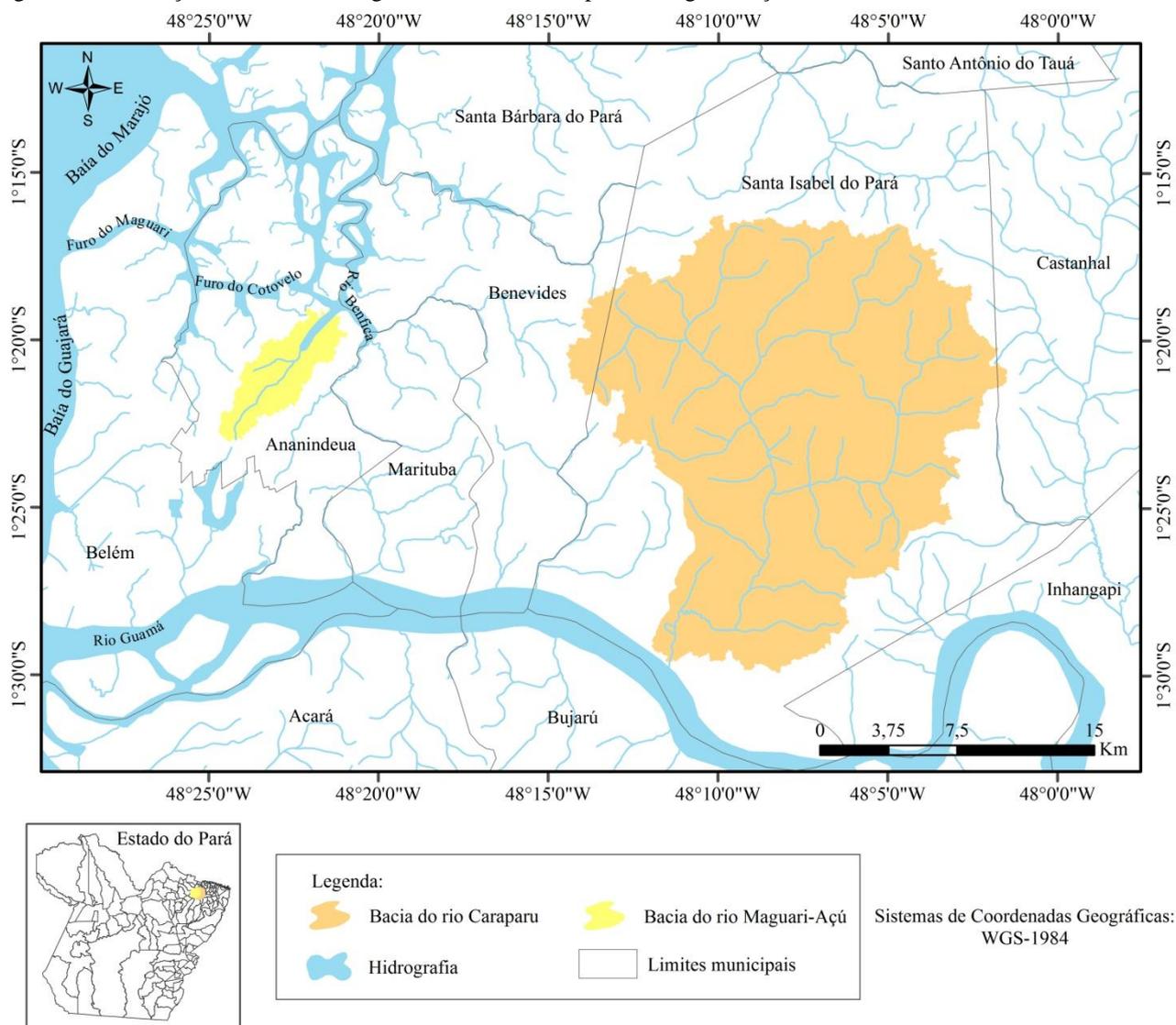
MATERIAL E MÉTODOS

A RMB reúne sete municípios do Estado do Pará, com área de 3.566,222 km² e 2.422.481 habitantes segundo a estimativa populacional de 2016 do IBGE, e refere-se à extensão da capital paraense, formando com seus municípios próximos uma mancha urbana contínua. Foi criada pela Lei Complementar Federal em 1973,

alterada em 1995, 2010 e 2011. A RMB é formada pelos municípios de Ananindeua, Belém, Marituba, Benevides, Santa Isabel do Pará, Santa Bárbara do Pará e Castanhal.

Esta pesquisa analisou duas bacias hidrográficas da RMB, a bacia do rio Caraparu no município de Santa Isabel do Pará, e a bacia do rio Maguari-Açú no município de Ananindeua/PA (Figura 1).

Figura 1. Localização das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.



Fonte: Autores (2017).

Rio Caraparu

O Município de Santa Isabel do Pará, localizado na latitude 01°17'49''S e longitude 48°10'15''W, pertence à Mesorregião Metropolitana de Belém e Microrregião de Castanhal, com limites ao norte pelos municípios de Santo Antônio do Tauá e Benevides, à leste pelos municípios de Castanhal e Inhangapi, ao sul pelo rio Guamá e à oeste pelo município de Benevides.

Segundo Souza et al. (2006), dentre as características hidrográficas do município de Santa Isabel do Pará destaca-se a presença do rio Caraparu que nasce no centro do município projetando-se no sentido norte/sul. Ainda

segundo os autores, o rio Caraparu deságua no rio Guamá, este servindo de limite natural com município de Bujaru ao sul; outros rios menores, de curso paralelo ao Caraparu, são o Guajará e o Jandiaí, respectivamente, limitando com os municípios de Benevides e Inhangapi.

Por sua condição equatorial úmida, Santa Isabel não apresenta variações térmicas estacionais, sendo sua característica dominante a presença de dois períodos de chuva, um considerado chuvoso que se estende de dezembro a junho e outro menos chuvoso, situado entre julho e novembro, podendo em anos excepcionais ocorrer pequenas modificação desse quadro. Em anos muito chuvosos, ocorre o prolongamento do período chuvoso e

em anos de baixa pluviosidade em relação às médias de períodos em torno de trinta anos, pode haver ocorrência de quatro períodos de chuva: chuvoso, estiagem, seco e transição (SOUZA et al, 2006).

Rio Maguari-Açú

A área de estudo refere-se ao trecho das nascentes do rio Maguari-Açú, no município de Ananindeua, estado do Pará. Trata-se de um conjunto de rios de primeira ordem conforme a classificação de Strahler, que nascem em relevo de topografia plana cuja cota altimétrica não ultrapassa os 20 metros apresentando suave declividade. A área dessas nascentes compreende parte da região central do município e parte do chamado Distrito Industrial (CONCEIÇÃO, 1998).

O município de Ananindeua possui uma área aproximada de 176 km², estando localizado entre as coordenadas geográficas de latitude 01°13'S e 01° 27'S e longitude 48° 19'W e 48° 26'W de Greenwich.

O clima na cidade e seus arredores é reflexo dos elementos do clima urbano (temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento, precipitação pluviométrica e brilho solar) que sofrem modificações que estão relacionadas com o crescimento desordenado da cidade e a própria influência da forma urbana sobre eles (MATTA et al., 2012).

O município de Ananindeua no estado do Pará vem apresentando recentemente, mudanças no seu padrão de ocupação em diversos bairros decorrentes da ação de agentes imobiliários que estão modificando o espaço através da presença de inúmeros condomínios verticais e horizontais. Esse processo é favorecido pelas extensas áreas suscetíveis no município de abrigar esses projetos. No entanto, esses projetos alteram a paisagem interferindo nos ecossistemas e na qualidade de vida local (SILVA; BORGES, 2012b).

Nas margens do rio Maguari-Açú observou-se uma intensa degradação ambiental, decorrente da urbanização. A retirada da mata ciliar é um dos impactos ambientais constatados na área (SILVA; BORGES, 2012a).

Essa ação irá causar uma degradação ambiental muito grande, visto que o solo vai perder seu poder de absorção da água da chuva, podendo causar enchentes. O outro prejuízo está na transformação do rio em um grande

esgoto para domicílios e para águas pluviais. Como acontece em outros casos, os esgotos sanitários também são direcionados para essa forma de escoamento de efluentes.

Modelo Digital de Elevação (MDE) e delimitação das bacias

Neste estudo foram utilizados Modelos Digitais de Elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizados na base de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) na plataforma Earth Explorer, com resolução espacial de 30m.

Geralmente a projeção é definida de GCS_WGS1984 com referência geográfica para UTM Datum SIRGAS 2000 - Zona 22S (esta é a projeção plana da Região Metropolitana de Belém).

Após a obtenção dos MDE, procedeu-se ao pré-processamento dos dados digitais de elevação e drenagem. As bases de dados e as análises foram geradas através do sistema de informações geográficas, utilizando-se os softwares ArcGis 10.1 e ArcHydro Tools.

Caracterização Morfométrica da bacia hidrográfica

Bacias hidrográficas são morfometricamente avaliadas com base na integração entre os parâmetros morfométricos e técnicas de geoprocessamento para determinar as áreas propensas a rápidas inundações (EL OSTA; MASOUD, 2015). A análise morfométrica é importante para estimativa dos níveis de risco de rápidas inundações em bacias (OMRAN et al., 2016).

Com a obtenção das delimitações das áreas das bacias em estudo, o passo seguinte é a definição das características físicas, como: área da bacia, perímetro, coeficiente de compactidade, fator de forma, índice de circularidade, declividades, altitudes, densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, entre outros.

A análise morfométrica detalhada de uma bacia contribui grandemente para caracterizar o impacto da drenagem sobre as características de relevo (CHANDRASHEKAR et al., 2015). Na Tabela 1 apresentam-se os parâmetros morfométricos analisados no estudo, juntamente com as formulações e suas respectivas referências.

Tabela 1. Parâmetros morfométricos, fórmulas e referências.

Parâmetro morfométrico	Fórmula	Referência
<i>Características da rede de drenagem</i>		
1 Ordenamento do rio	Nível hierárquico	Strahler (1952, 1964).
2 Número de segmentos do rio (Nu)	$Nu = N1 + N2 + N3 + \dots + Nn$ Definido pelo software GIS.	Strahler (1952).
3 Comprimento da rede de drenagem (todos os rios) (Lu)	$Lu = L1 + L2 + \dots + Ln$ Definido pelo software GIS.	Horton (1932).
4 Relação de bifurcação (Rb)	$Rb = Nu / Nu+1$	Horton (1945), Strahler (1964).
5 Comprimento do canal principal (L)	Definido pelo software GIS.	
6 Índice de sinuosidade (Si)	$Si = 100 (L / LB) / L$	Mansikkaniemi (1970)
<i>Geometria da bacia</i>		
7 Área (A)	Definido pelo software GIS.	Schumm (1956).
8 Comprimento axial da bacia (LB)	Definido pelo software GIS.	Schumm (1956).
9 Perímetro (P)	Definido pelo software GIS.	Schumm (1956).

	Parâmetro morfométrico	Fórmula	Referência
10	Largura (La)	$La = A / LB$	Horton (1932).
11	Coefficiente de compacidade (Kc)	$Kc = Pr / 2 (\sqrt{\pi A})$	Horton (1945).
12	Índice de circularidade (Ic)	$Rc = 4\pi A / Pr^2$	Miller (1953).
13	Índice de alongamento (Ia)	$Ia = 2 \sqrt{(A / \pi / LB)}$	Schumm (1956).
14	Fator de forma (Fa)	$Fa = LB^2 / A$	Horton (1932).
<i>Textura de drenagem</i>			
15	Densidade de segmentos (Fs)	$F_s = \sum_{i=1}^K (Nu \text{ 1ª ordem} / A)$	Horton (1932, 1945).
16	Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \sum Lu / A$	Horton (1932, 1945).
17	Padrão de drenagem	Rede de fluxo usando análise de software GIS.	Horton (1932), Christoletti (1980).
18	Coefficiente de Manutenção (Cm)	$Cm = (1 / Dd) \cdot 1000$	Schumm (1956).
<i>Características do relevo</i>			
19	Elevação máxima	Análise software GIS usando MDE.	
20	Elevação mínima	Análise software GIS usando MDE.	
21	Amplitude de relevo (Rf)	Rf = Maior elevação - Menor elevação	Strahler (1952).
22	Elevação média	Análise software GIS usando MDE.	
23	Declividade média (Sm)	Análise software GIS usando MDE.	
24	Índice de Rugosidade (Ir)	$Ir = Hm \cdot Dd$	Melton (1957).
25	Orientação do fluxo da bacia	Análise software GIS usando MDE.	

Rede de drenagem

Utilizou-se neste trabalho o ordenamento (classificação) apresentado por Strahler, em que os canais sem tributários são designados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente (SILVEIRA, 2001).

O número de segmentos do corpo hídrico é o total de segmentos, considerando cursos d'água permanentes e temporários. Assim como o comprimento da rede de drenagem, que envolve todos os cursos d'água independente de sua permanência.

A relação de bifurcação é definida pelo número total de segmentos de determinada ordem e o número total dos segmentos da ordem imediatamente superior. Estes valores indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor do índice de bifurcação, maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indicam relevo montanhoso.

O índice de sinuosidade é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos do canal, este é diretamente proporcional a inundações e inversamente proporcional ao tempo de concentração. Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade: I = muito reto (<20%), II = reto (20, - 29,9%), III = divagante (30,0 - 39,9), IV = sinuoso (40,0 - 49,9) e V = muito sinuoso (50,0).

Geometria da bacia

Dados de área, comprimento e perímetro foram obtidos diretamente pela ferramenta de cálculo no ArcMap, com as referências geográficas em UTM, os parâmetros geométricos são obtidos a partir destas medidas base. A largura é a relação geométrica entre a área e o comprimento da bacia.

Conforme apresentado por Villela e Mattos (1975) o Coeficiente de compacidade (Kc) ou índice de Gravelius que é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a área da bacia. Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular maior será o coeficiente de compacidade. Para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais próximo a unidade. Tonello et al. (2006) informam que simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade 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) informam que simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada.

O índice de alongamento de uma bacia hidrográfica é uma relação entre o diâmetro do círculo com área igual à da bacia e o comprimento da bacia ao longo do canal principal. Assim, quanto menor este índice menor o risco de cheias na bacia hidrográfica.

O Fator de forma constitui outro índice indicativo de maior ou menor suscetibilidade para enchentes de uma bacia, onde quanto mais baixo é menos sujeito a enchentes quanto outra do mesmo tamanho com fator de forma maior (VILLELA; MATTOS, 1975).

Textura de drenagem

A densidade de segmentos (Fs) relaciona a quantidade de segmentos existentes em uma determinada bacia por unidade de área. Segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, e por tanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais nas bacias excepcionalmente bem drenadas. A densidade de drenagem é expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede (perenes, intermitentes ou temporários) e a área total da bacia. Beltrame (1994) sugeriu uma classificação em faixas para a densidade de drenagem definindo que para Dd menor que 0,50 é considerada baixa, entre 0,50 e 2,00 é mediana, entre 2,01 e 3,50 é alta, e maior que 3,50 é muito alta.

A definição do padrão de drenagem seguiu a classificação apresentada por Christoletti (1980), podendo ser:

- Dendrítica: seu desenvolvimento assemelha-se à configuração de uma árvore;
- Em Treliça: as confluências formam ângulos retos;
- Retangular: consequência da influência exercida por falhas ou pelo sistema de juntas ou de diáclases;
- Paralela: os cursos de água escoam paralelamente uns aos outros;
- Anelar: esse padrão assemelha-se a anéis. São típicas das áreas dômicas profundamente entalhadas;
- Radial: apresenta-se composta por correntes fluviais que se encontram dispostas como os raios de uma roda, em relação a uma ponto central;
- Desarranjadas ou irregulares: são aquelas que foram desorganizadas por um bloqueio ou erosão.

O coeficiente de manutenção (Cm) é a área mínima necessária para a manutenção de um metro de escoamento. Evidencia áreas de recarga, podendo ser associada ao índice de impermeabilização do solo e ao tipo de substrato rochoso, permitindo avaliar o risco de disponibilidade hídrica. Este índice representa uma medida de textura, semelhante à densidade de drenagem, com a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente.

Características do relevo

Algumas informações a respeito da caracterização do relevo são extraídas diretamente do processamento dos

MDE, como elevações (média, mínima e máxima) e declividades (média, mínima e máxima).

A altitude foi definida pelas informações corrigidas do 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%), seguindo o procedimento apresentado por Tonello et al. (2006), utilizando no ArcMap a ferramenta Spatial Analyst Tools > Surface > Slope.

Segundo Tonello et al. (2006) a declividade média do curso d'água principal é outro aspecto relevante da morfometria, pois interfere na velocidade do escoamento da água no curso. É definida pela variação de altitude entre a cabeceira e o exutório em relação à distância que os separa.

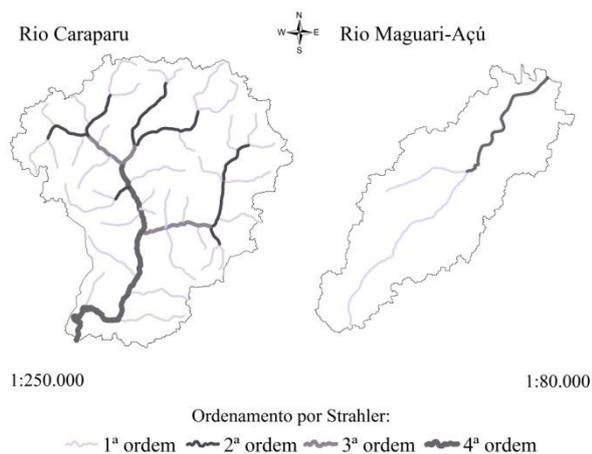
O índice de rugosidade é adimensional e expressa a relação da densidade de drenagens com a amplitude altimétrica. Elevados valores de Ir indicam bacias sujeitas a cheias rápidas, devido a grandes desníveis entre a cabeceira e seção de referência associados a densa rede de drenagem (DINIZ, 2008).

A orientação da bacia hidrográfica corresponde à sua exposição aos raios solares, tomando-se como referência os pontos cardeais. No Hemisfério Sul, as bacias com orientação norte recebem maior quantidade de calor do que as de orientação sul (TONELLO et al., 2006). A definição será com base no MDE junto ao ArcMap através da ferramenta Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect. Esta ferramenta é a direção angular para a qual uma seção da superfície está apontando, identificando a orientação ou direção de encosta, onde os valores de célula em uma grade de aspecto são direções angulares variando de 0 a 360, em que o Norte é 0 e em uma direção horária, 90 é leste, 180 é sul, e 270 é oeste, bem como as células de grade de entrada que tem declividade 0 (áreas planas) é atribuído o valor -1.

RESULTADOSE DISCUSSÃO

Pelo ordenamento de Strahler o rio Caraparu é de quarta ordem, enquanto o rio Maguari-Açú é de segunda ordem, conforme se apresenta na Figura 2.

Figura 2. Ordenamento dos rios Caraparu e Maguari-Açú pelo método de Strahler.



Fonte: Autores (2017).

Para a caracterização da rede de drenagem, o rio Caraparu apresenta comprimento da rede de drenagem (Lu) de 200,16 km, sendo que seu canal principal possui 34,17 km, comprimento axial da bacia (LB) de 25 km e índice de sinuosidade (Si) no valor de 26,842% (classificado como reto). Enquanto o rio Maguari-Açú apresenta comprimento da rede de drenagem (Lu) de 12,18 km, sendo que seu canal principal possui 9,74 km, comprimento axial da bacia (LB) de 9,11 km e índice de sinuosidade (Si) no valor de 6,508% (classificado como muito reto). Na Tabela 2 apresentam-se os valores de Número de segmentos (Nu) e Relação de bifurcação (Rb) dos rios Caraparu e Maguari-Açú.

Tabela 2. Número de segmentos (Nu) e Relação de bifurcação (Rb) dos rios Caraparu e Maguari-Açú.

Ordem	Nu		Rb	
	Caraparu	Maguari-Açú	Caraparu	Maguari-Açú
1ª	36	2	5,14	2
2ª	7	1	2,33	-
3ª	3	-	3	-
4ª	1	-	-	-

De acordo com os resultados, pode-se afirmar que as bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú mostram-se pouco suscetíveis a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, pelo fato de seus coeficientes de compacidade apresentarem valores consideravelmente afastados da unidade, com baixos valores de índices de circularidade e elevados valores de índices de alongamento. Bem como, seus fatores de forma, exibem baixos valores, possibilitando a comparação da suscetibilidade à enchentes com outras bacias de tamanhos semelhantes. As características geométricas das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características geométricas das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.

Características geométricas	Resultados	
	Caraparu	Maguari-Açú
Área (A) (km ²)	373,993	21,228
Perímetro (P) (km)	148,159	39,155
Largura (La) (km)	14,94	2,33
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,145	2,380
Índice de circularidade (Ic)	0,214	0,174
Índice de alongamento (Ia)	4,364	1,722
Fator de forma (Fa)	0,598	0,256

As bacias dos rios Caraparu e Maguari-Açú possuem forma alongada. Em bacias com forma circular há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal.

As bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú apresentam baixa densidade de segmentos. A densidade de drenagem encontrada na bacia hidrográfica do rio Caraparu foi de 0,535 km/km², e do rio Maguari-Açú, de 0,574 km/km², de acordo com Villela e Mattos (1975) as bacias em estudo possuem baixa capacidade de drenagem, porém, com base na análise de Beltrame (1994) possui mediana capacidade de drenagem. Os sistemas de drenagem das bacias em estudo apresentam desenvolvimento semelhante à configuração de uma árvore indicando que os padrões de drenagem são dendríticos. Os coeficientes de manutenção das bacias possuem valores elevados indicando que grandes áreas são necessárias para manter cada metro de canal. Os resultados referentes à textura de drenagem estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Características da textura de drenagem das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.

Características geométricas	Resultados	
	Caraparu	Maguari-Açú
Densidade de segmentos (Fs) (rios/km ²)	0,096	0,094
Densidade de drenagem (Dd) (km/km ²)	0,535	0,574
Padrão de drenagem	Dendrítico	Dendrítico
Coefficiente de Manutenção (Cm) (m ²)	1.868,45	1.743,48

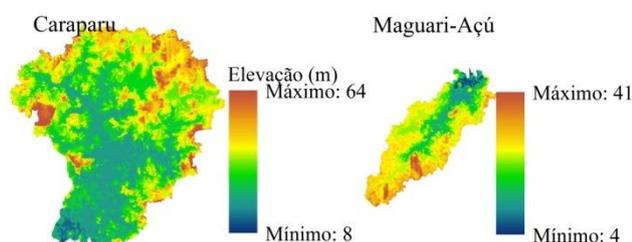
Os índices de rugosidade para as bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú indicam que as bacias não são sujeitas a cheias rápidas. Os resultados referentes às características de relevo das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Características de relevo das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.

Características de relevo	Resultados	
	Caraparu	Maguari-Açú
Elevação máxima (m)	64	41
Elevação mínima (m)	8	4
Amplitude de relevo (Rf) (m)	56	37
Elevação média (m)	30,57	17,17
Declividade máxima (%)	31,32	25,84
Declividade mínima (%)	0	0
Declividade média (Sm) (%)	3,63	3,592
Índice de Rugosidade (Ir)	0,010	0,021

A distribuição hipsométrica das bacias dos rios Caraparu e Maguari-Açú estão representadas na Figura 3.

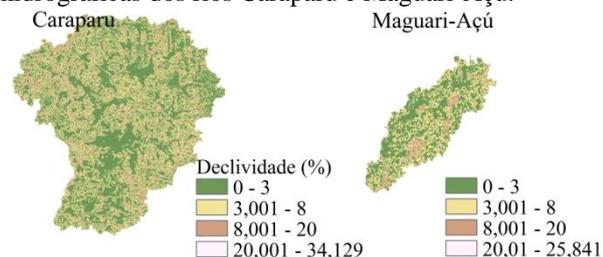
Figura 3. Distribuição de altitudes das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.



Fonte: Autores (2017).

A distribuição das declividades das bacias dos rios Caraparu e Maguari-Açú estão representadas na Figura 4.

Figura 4. Distribuição de declividades das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.



Fonte: Autores (2017).

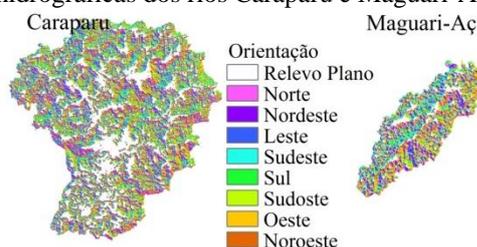
Na Tabela 6 apresentam-se as informações quantitativas associadas à declividade das bacias em estudo. Observa-se que a maior parte do relevo está compreendida como declividade plana. Ambas as bacias, pela classificação de declividade da EMBRAPA, possuem declividade média com relevo suavemente ondulado. A declividade indica tendência de baixa velocidade no escoamento superficial, aumentando a possibilidade da infiltração de água no solo.

Tabela 6. Distribuição das classes de declividade das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.

Declividade (%)	Discriminação	Caraparu		Maguari-Açú	
		%	km ²	%	km ²
0-3	Relevo plano	51,	193,8	52,	11,0
		83	33	05	48
3-8	Relevo suavemente ondulado	36,	138,1	39,	8,37
		93	18	46	6
8-20	Relevo ondulado	10,	40,95	8,3	1,76
20-45	Relevo fortemente ondulado	95	6	0	3
		0,2	1,087	0,1	0,04
		9		9	1

A distribuição das orientações de terreno das bacias dos rios Caraparu e Maguari-Açú estão representadas na Figura 5.

Figura 5. Distribuição de orientações de terreno nas bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.



Fonte: Autores (2017).

As vertentes são bem distribuídas (Tabela 7), a considerar que o escoamento do curso d'água principal é em direção ao sul no rio Caraparu, e ao nordeste no rio Maguari-Açú.

Tabela 7. Distribuição das classes de orientação do terreno das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú.

Orientação do terreno (graus)	Caraparu		Maguari-Açú	
	%	km ²	%	km ²
Relevo plano (-1)	19,50	72,945	9,13	1,937
Norte (0 – 22,5)	5,53	20,690	6,41	1,361
Nordeste (22,5 – 67,5)	9,53	35,647	11,63	2,469
Leste (67,5 – 112,5)	9,67	36,174	11,62	2,466
Sudeste (112,5 – 157,5)	10,48	39,179	11,68	2,480
Sul (157,5 – 202,5)	10,06	37,626	9,49	2,014
Sudoeste (202,5 – 247,5)	10,60	39,634	10,45	2,219
Oeste (247,5 – 292,5)	10,42	38,953	12,18	2,587
Noroeste (292,5 – 337,5)	10,44	39,054	12,88	2,735
Norte (337,5 – 360)	3,77	14,092	4,53	0,961

No rio Caraparu, a declividade média do curso d'água principal é de 0,0008 km/km, enquanto no rio Maguari-Açú esta declividade é de 0,0015 km/km. Estas baixas declividades indicam tendências de baixas velocidades no escoamento superficial e elevados tempos de concentração no escoamento das bacias.

Considerando outro estudo realizado em áreas adjacentes, também situado na mesma bacia hidrográfica

(com exutório no rio Guamá), Rodrigues et al. (2016) realizaram a análise espacial da microbacia hidrográfica do igarapé da Prata, no nordeste paraense, seguindo os mesmos procedimentos metodológicos adotado neste estudo. Os autores definiram as características físicas, como: área da bacia (115,28 km²), perímetro (70,15 km), coeficiente de compacidade (1,829), fator de forma (0,356), índice de circularidade (0,294), declividade média (7,27%), altitude média (75,37 m), padrão de drenagem (dendrítica), densidade de drenagem (0,049 km/km²), ordem dos cursos d'água (3^a), comprimento total dos cursos d'água (60,47 km), comprimento do curso d'água principal (16,94 km) e sua declividade média (0,0034 km/km). De acordo com as características morfométricas levantadas, os autores afirmaram que a microbacia hidrográfica do igarapé da Prata mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais.

CONCLUSÕES

As bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, na Região Metropolitana de Belém, apesar de dimensões diferentes apresentam características morfométricas semelhantes. Estas bacias possuem formas alongadas, provavelmente suscetíveis ao escoamento em condições normais de precipitação, fato comprovado pelos valores de índice de circularidade, índice de alongamento, coeficiente de compacidade e fator de forma. As características de declividades destas bacias indicam que de maneira geral seus relevos são planos e suavemente ondulados.

As bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, pelas suas características morfométricas, possuem adequado controle estrutural da drenagem, com menor risco de grandes cheias em condições normais de pluviosidade, e topografia plana muito favorável ao escoamento superficial, porém, com a possibilidade de elevados tempos de concentração.

REFERÊNCIAS

- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.
- BORSATO, F. G. MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 2, 273-285, 2004.
- CHANDRASHEKAR, H., LOKESH, K.V., SAMEENA, M., JYOTHIROOPA, RANGANNA, G. GIS – based morphometric analysis of two reservoir catchments of arkavati river, Ramanagaram District, Karnataka. In: Proceedings of the International Conference On Water Resources. Elsevier, p. 1345–1353, 2015.
- COSTA, M. C. **Estudos Hidrometeorológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú – Alagoas e Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. 2004. UFAL, Maceió-AL.
- CONCEIÇÃO, A. L. Cartografia do Município de Ananindeua. Belém: CPRM/SEICOM, 1998.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2^a ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980, 188p.
- DINIZ, L. S. **Regionalização de parâmetros de modelo chuva vazão usando redes neurais**. 2010. 213f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10^a Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.
- GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v. 2 n. 2, p. 73-83, 2008.
- GUPTA, A. Implication of environmental flows in river basin management. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 33, p. 298–303, 2008.
- HORTON, R.E. Drainage basin characteristics. **Trans. Am. Geophys.**, v. 13, p. 350–361, 1932.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275-370, 1945.
- KOJIRI, T. Importance and necessity of integrated river basin management. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 33, p. 278–283, 2008.
- LASZLO, M. J.; ROCHA, P. C. Composição Hierárquica dos Canais Fluviais das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p. 228 – 232, 2014.
- MANSIKKANIEMI, H. The sinuosity of rivers in northern Finland: **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, v. 52, p. 16-32, 1970.
- MASOUD, M. H. Rainfall-runoff modeling of ungauged Wadis in arid environments (case study WadiRabigh - Saudi Arabia). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, n. 5, p. 2587–2606, 2015.

- MATTA, M. A. S.; PANTOJA JÚNIOR, A. F. P.; ABREU, F. A. M.; SILVA, V. M.; CAVALCANTE, I. N.; SILVA, L. S.; SALOMÃO, G. N.; MACHADO JUNIOR, L.; GIORDANO, C. T.; SILVA, L. C. F.; NERY, F. A. B.; ASSIS, J. F. P. Comportamento dos fluxos hídricos subterrâneos na microbacia do rio Maguariçu no município de Ananindeua-PA. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 17, 18, 2012, Bonito – MS, **Anais...** Bonito: ABAS, 2012.
- MELTON, M.N. Ananalysis of the relations among elements of climate surface properties and geomorphology. Project NR 389-042 Tech. Rept. II, Columbia Univ., Dept. of Geology, On Geog., R., Branch, New York, 34. 1957.
- MILLER, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Project NR, Technical Report 3, Columbia Univ., Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York, pp. 389–042, 1953.
- PIMENTEL, M. A. S.; BASTOS, E.; MACHADO, M. G.; MELO, P. A.; MIRANDA, A. A.; PESSOA, P. A. L.; PIMENTEL, A. B. S.; QUINTAIROS, M. V. R.; ROCHA, H. N. S. B.; TAMASAUSKAS, C. E. P. Análise preliminar de impacto ambiental nas nascentes do rio Maguari-açú – Ananindeua – PA. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6, 2006, Goiânia-GO, **Anais...** Goiânia: UGB, 2006.
- RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L., VIEIRA, A. S. A, PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço – Pará – Brasil. **Revista Verde** - ISSN 1981-8203 - (Pombal - PB) v. 11, n.3, p.143-150, 2016.
- SANTANA, D. P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas, MG. EMBRAPA, 2003, 62p.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy. **New Jersey**, v. 67, p. 597-46, 1956.
- SILVA, A. C. F.; BORGES, A. D. Degradação ambiental decorrente da urbanização na estrada do Maguari em Ananindeua-PA. In: Encontro Nacional da ANPPAS, 6, 2012, Belém-PA, **Anais...** Belém: ANPPAS, 2012a.
- SILVA, A. C. F.; BORGES, A. D. Expansão urbana e degradação ambiental: o caso do bairro do Maguari em Ananindeua-PA. In: Encontro Nacional da ANPPAS, 6, 2012, Belém-PA, **Anais...** Belém: ANPPAS, 2012b.
- SILVA, J. E. B.; SANTOS, P. R. A.; A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. **Anais...** Florianópolis: INPE, p.4261-4266. 2007.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001, p 35-51.
- SOUZA, D. C.; PORTELA, B. T. T.; CORRÊA, W. C.; COSTA, M. C. Climatologia da precipitação do município de Santa Izabel do Pará-PA. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006, Florianópolis/SC, **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric Analysis of Erosional Topography. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 63, p. 1117–1142, 1952.
- STRAHLER, A. N. **Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks**. Handbook of Applied Hydrology, New York, McGraw Hill Book Company, 1964. 411p.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões - MG. **Rev. Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (orgs). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS e EDUSP ABRH, 2010.
- TUCCI, C. E. M. (org). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS e EDUSP ABRH, 2012. 943p.
- WEISS, C. V. C.; LIMA, L T.; TERCEIRO, A. M.; GAUER, N. P. Mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando imagens de satélite do sensor TM/Landsat 5 no litoral sul do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **Anais...** Foz do Iguçu: INPE, 2013.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 1975, 245p.
- VITAL, S. R. O.; SILVEIRA, T. A.; ALENCAR, H. M. Q.; FERREIRA, B. Uso de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para o mapeamento geomorfológico na microbacia do açude Taperoá II, Paraíba, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife: SBCGTG, 2010.