Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe- PE

Gabriel Antonio Silva Soares¹ e Josiclêda Domiciano Galvêncio²

¹ Graduando do curso de Licenciatura em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil; (gabriel.antonios@ufpe.br). ² Professora Associado do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA. Recife/PE - Brasil; (josicleda.galvencio@ufpe.br).

Artigo recebido em 23/04/2020 e aceito em 30/12/2020

RESUMO

A caracterização fisiográfica, consiste no levantamento dos principais parâmetros fisiográficos de uma bacia, que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite, e se apresenta como uma ferramenta útil ao planejamento e gestão dos recursos hídricos, por existir uma forte correspondência entre as características físicas de uma bacia hidrográfica e seu regime hidrológico. A seleção da bacia hidrográfica do Rio Beberibe para o desenvolvimento deste trabalho, se deu em decorrência da importância que possuem para a macrodrenagem do estado de Pernambuco, e por se localizarem em uma área de forte atividade urbana. Assim, essas áreas apresentam forte atividade socioeconômica, o que as configuram como espaços onde o planejamento hídrico é crucial para o uso consciente de seus recursos. Assim, o presente estudo se propõe a caracterizar fisiograficamente a bacia hidrográfica do Rio Beberibe utilizando os dados do sensor LiDAR com resolução espacial de 5 m em uma escala de 1:5000, provenientes do programa PE3D (Pernambuco Tridimensional). Os principais parâmetros morfométricos obtidos para a bacia hidrográfica do Rio Beberibe, foram agrupados em três grupos de acordo com as características. As características geométricas, que consistem nos seguintes parâmetros: a área de drenagem (A), o perímetro da bacia (P), o comprimento axial (L), o coeficiente de compacidade (Kc), o fator de forma (Kf), e o índice de circularidade (IC). As características da rede de drenagem, que consiste no levantamento dos parâmetros: comprimento do rio principal (Lc), comprimento total dos canais (Lt), ordem da bacia, densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), índice de sinuosidade (Is), e extensão média do escoamento superficial ($\bar{\ell}$). E por fim as características do relevo, que são expressas partir dos seguintes parâmetros: a hipsometria da bacia; a declividade da bacia; a amplitude altimétrica (Hm); a relação do relevo (Rr); e o gradiente de canais (Gc). Os resultados obtidos sobre os parâmetros geométricos, levaram à conclusão de que a bacia hidrográfica do Rio Beberibe não é naturalmente propensa à ocorrência de enchentes, por possuir uma forma alongada. Sobre os padrões de drenagem, foi possível concluir que a bacia possui uma drenagem rica e escoamento superficial fluido e ágil, que seus canais possuem perfis retilíneos, e que se trata de uma bacia de 6ª ordem. Acerca das características do relevo, foi constatado que a bacia não possui picos de altitudes elevados, porém uma considerável amplitude altimétrica, além de que na declividade da bacia não estão apresentadas inclinações bruscas. Porém, a bacia hidrográfica apresenta diferentes problemas relacionados a inundações que estão relacionadas a características não naturais.

Palavras-chave: manejo de bacias hidrográficas, sensoriamento remoto, planejamento urbano, fisiografia.

Using LiDAR to evaluate water patterns in urban areas basin: Physiographic characterization of the Rio Beberibe basin, PE

ABSTRACT

The physiographic characterization consists in the survey of the main physiographic parameters of a basin, which can be extracted from maps, aerial photographs and satellite images, and presents itself as a useful tool for planning and management of water resources, as a consequence of the influence between the physical characteristics of a river basin and its hydrological behaviour. The selection of the Beberibe river basin for the development of this research was made due to their importance for the macrodrainage of the state of Pernambuco, and because they are located in an area of strong urban activity. Thus, these areas present strong socioeconomic activity, which configures them as spaces where water planning is crucial for the conscious use of their resources. Faced with this scenario, the present study proposes to physiographically characterize the Beberibe river basin using LiDAR sensor data with a spatial resolution of 5 m on a scale of 1:5000, from the PE3D program (Three-Dimensional Pernambuco). The main morphometric parameters

obtained for the Beberibe River basin were grouped into three groups of characteristics. The geometric characteristics, which consist of the following parameters: drainage area (A), basin perimeter (P), axial length (L), compacity coefficient (Kc), shape factor (Kf), and circularity index (IC). The characteristics of the drainage network, which consists in the survey of the following parameters: length of the main river (Lc), total length of the channels (Lt), basin order, drainage density (Dd), hydrographic density (Dh), sinuosity index (Is), and average runoff length (ℓ). And finally the relief characteristics, which are expressed from the following parameters: basin hypsometry; basin slope; altitude range (Hm); relief ratio (Rr); and channel gradient (Gc). The results obtained on the geometric parameters led to the conclusion that the Beberibe River basin is not naturally prone to flooding because of its elongated shape. About the drainage patterns, it was possible to conclude that the basin has a rich drainage and fluid and agile surface flow, that its channels have rectilinear profiles, and that it is a 6th order basin. About the relief characteristics, it was verified that the basin does not have high altitude peaks, but a considerable altitude range, besides the fact that in the basin declivity there are no sudden inclinations. However, the watershed presents different problems related to floods that are related to unnatural characteristics.

Keywords: watershed management, remote sensing, urban planning, physiography.

Introdução

A água, segundo Tucci (2009), é um recurso natural limitado, que futuramente pode se tornar escasso em decorrência do crescimento das demandas populacionais, industriais e da agricultura. Portanto, trata-se de um bem essencial à vida e ao desenvolvimento socioeconômico da humanidade, e a má gestão desse recurso, pode acarretar diversas problemáticas relacionadas à qualidade e a quantidade desse bem. Para que sejam desenvolvidos estudos fidedignos do comportamento hidrológico na superfície terrestre, é necessário que existam áreas delimitadas, onde as características físicas possam ser analisadas com um maior detalhamento, para tal existem as bacias hidrográficas, que podem ser definidas como: um terreno delimitado por divisores topográficos e drenado por um rio e seus afluentes, onde as águas pluviais, escoam superficialmente até os rios, ou infiltram no solo para o abastecimento do lençol freático (Barrella et al., 2001).

A gestão dos recursos hídricos superficiais, é um fator que influencia diretamente o desenvolvimento socioeconômico das sociedades. Gerir tais recursos, compreende a tomada de decisões, e as formas de uso e estoque de água, para garantir o acesso a esse bem, no presente, e no futuro. A regulamentação dessa gestão pode ser realizada pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido pela Lei nº 9.433 de 1997, que define as bacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento político, hídrico e social. (BRASIL, 1997).

A caracterização fisiográfica das áreas das bacias é uma ferramenta de suma importância no planejamento hídrico, pois, como afirmam Villela e Mattos (1975) em seu trabalho, as características físicas de uma bacia exercem uma grande influência sobre o seu regime hidrológico. Para Tucci (2009) a caracterização fisiográfica de bacias hidrográficas, consiste no levantamento de um

conjunto de parâmetros fisiográficos da bacia, que por sua vez, são dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite.

Com o advento das geotecnologias, o uso dos produtos obtidos a partir do sensoriamento remoto, tem se apresentado como uma ferramenta eficiente nos estudos e análises das características de bacias hidrográficas. Dentre as novas técnicas de sensoriamento remoto, se destaca o sistema de varredura a laser aerotransportado LiDAR, sigla de Light Detection And Ranging (em tradução livre pode ser compreendido como: detecção e alcance da luz). O LiDAR se trata de uma tecnologia de sensoriamento remoto, e seu funcionamento se baseia na emissão de um feixe de laser, em direção à superfície em análise, para obtenção das informações espaciais de determinada localidade (Rodriguez et al., 2010).

Apesar de pouco utilizados nos estudos nacionais, os dados do sensor LiDAR para o estudo de bacias hidrográficas, são amplamente utilizados na literatura internacional. Diversos autores vêm utilizando os dados do sensor LiDAR para avaliar a situação de bacias hidrográficas, principalmente através da identificação dos padrões hídricos e das características físicas da bacia, o que posteriormente através de uma análise integrada dos fatores possibilita a compreensão das limitações e propensões específicas de cada bacia. A partir da obtenção dos dados fisiográficos das bacias e das demais variáveis de influência no comportamento hídrico local, esses autores desenvolveram, modelos hidrológicos, com o intuito de maximizar a capacidade da rede de drenagem de tais áreas, e minimizar os impactos e as ocorrências das inundações urbanas (Hsu et al., 2000; Mason et al., 2007; Brown et al., 2007; Gallegos et al., 2009; Fewtrell et al., 2010; Tsubaki & Fujita, 2010; Sampson et al., 2012; Ozdemir et al., 2013).

Os eventos extremos de natureza hidrológica têm ocorrido com maior frequência e

em maior magnitude, como apontam os estudos de Hsu et al, (2000), Brown et al, (2007), Mason et al. (2007), e Gallegos et al. (2009). Os autores atribuem alguns fatores como os principais ocasionadores desse aumento em ocorrência, e em intensidade desses eventos, sendo estes: a redução na capacidade de infiltração, como consequência da impermeabilização do solo; o incremento nos índices pluviométricos, em decorrência das mudanças climáticas; a elevação do nível do mar, principalmente em bacias litorâneas; e a péssima engenharia das redes e sistemas de drenagem urbana. Acredita-se que todos os fatores supracitados são de forte influência na dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

Em seu trabalho sobre Canvey island, no Reino Unido, Brown et al (2007), constatou a necessidade de se considerar a sobreposição dos fatores ambientais para um planejamento hídrico efetivo. Em uma área de estudo que possui algumas características físicas semelhantes à da bacia do Rio Beberibe, como a localização em uma área de planície costeira, e a forte urbanização desta área, o autor, a partir dos dados do LiDAR desenvolveu um modelo hidrológico para amenizar a ocorrência de inundações urbanas nesta ilha. Para tal, o autor ressalta a importância de uma análise integrada dos fatores físicos da área em estudo. O trabalho demonstra ainda, a fidedignidade no uso dos dados lidar para o estudo de bacias hidrográficas costeiras urbanizadas, o que nos possibilita acreditar na eficácia da aplicação desses dados na caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

No estado de Pernambuco, a ocorrência de fenômenos de natureza hidroclimática é periódica, e desencadeia uma gama de transtornos sociais e espaciais à população residente, principalmente nas bacias litorâneas e da zona da Mata, onde residem cerca de 44% da população do estado, segundo Costa e Souza, (2002). A bacia hidrográfica do Rio Beberibe é de grande importância para a macrodrenagem do estado de Pernambuco, e nas cidades presentes em seu território se concentram a maior parte da população do estado, o que impacta diretamente no uso e ocupação do solo de tal bacia, e consequentemente na gestão dos recursos hídricos locais.

A falta de informações sobre as características das bacias hidrográficas resulta em uma má gestão de seus recursos. Portanto, a caracterização fisiográfica se apresenta como uma ferramenta indispensável, especialmente no estudo de bacias litorâneas fortemente urbanizadas, onde ocorrem fenômenos de natureza distintas, e é

evidente a necessidade de uma análise integrada dos fatores atuantes.

No âmbito da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, onde os residentes sofrem frequentemente as consequências do mau planejamento urbano, conhecer as características físicas locais da bacia é decisivo para a mitigação de tais problemas, e para uma gestão futura que promova um ambiente onde as pessoas possam conviver de forma harmoniosa com a água. É válido ressaltar ainda, que as formas de uso e ocupação do solo impactam diretamente nas dinâmicas hídricas, e que ainda que uma bacia não seja naturalmente propensa a ocorrência de inundações, a alteração nos padrões físicos de uma bacia pode torná-la um ambiente propício à ocorrência de tais fenômenos.

Diante desta problemática, o presente trabalho se propõe a apresentar e discutir as características fisiográficas da bacia hidrográfica do Rio Beberibe e a influência que exercem sobre seus padrões hídricos, e a verificar se a antropização da bacia se apresenta como um fator externo que implica na ocorrência de eventos extremos na bacia, utilizando dados de alta resolução espacial oriundos do programa Pernambuco 3D, provenientes do sensor LiDAR.

Material e métodos

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Beberibe (figura 1) possui toda a sua área de 71 km² inserida na Região Metropolitana do Recife entre os municípios de Recife, Olinda, Camaragibe e Paulista, no litoral de Pernambuco, integrando segundo a APAC (2014) o Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos (GL-1). Campos (2008) afirma que o Rio Beberibe nasce a partir da confluência dos rios Pacas e Araújo, de onde percorre até encontrar-se com o rio Capibaribe e desaguar em uma foz compartilhada no Oceano Atlântico. Descreve ainda a vegetação nativa como bastante rarefeita e modificada antropicamente, sendo as principais formações vegetacionais as do bioma Mata Atlântica, especialmente os manguezais e restingas. Sobre as características climáticas, Ayoade (1996) aponta que a bacia hidrográfica do Rio Beberibe se apresenta com um clima As', segundo a classificação de Köppen, por predominar um clima quente e úmido, com fortes índices pluviométricos no período de outono-inverno. Geomorfologicamente, Campos (2008), aponta que a bacia do Beberibe, é composta por: tabuleiros costeiros, morros e encostas, e áreas de planície costeira. Ainda, de acordo com a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de

Pernambuco (SRHE-PE) (2012), 590 mil pessoas residem na área da bacia do Rio Beberibe, o que

impacta diretamente nas dinâmicas hídricas naturais.

Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe em Pernambuco.

Procedimentos Metodológicos

Os parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Beberibe foram extraídos em ambiente SIG, a partir das informações espaciais georreferenciadas e digitalizadas contidas no Modelo Digital de Elevação (MDE) do Programa PE3D com resolução espacial de 5 m em uma escala de 1:5000, cedidos ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS/PE). A fim de facilitar o acesso e a organização dos produtos obtidos pelo imageamento via satélite, o estado foi dividido em cinco blocos, e tais blocos foram divididos em folhas, onde estão contidas todas as informações espaciais captadas pelo laser LiDAR, as dezenove folhas que compreendem a área da bacia do Rio Beberibe, estão localizadas no bloco 1 do PE3D.

O processo de caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Beberibe, se deu a partir da caracterização geométrica, da caracterização da rede de drenagem da bacia, e da caracterização do

relevo da bacia. A geometria da bacia, foi obtida através da aplicação de equações geométricas específicas para cada parâmetro físico. As características da rede de drenagem foram calculadas a partir da aplicação de fórmulas e metodologias sobre os resultados obtidos nas ferramentas contidas em Hydrology e Conditional em Spatial Analyst Tools do ArcGis 9.3. Já a obtenção das características de relevo, foi realizada através de equações aplicadas nos resultados obtidos em Surface, também em Spatial Analyst Tools no ArcGis 9.3.

Para a caracterização geométrica da bacia foram obtidas as informações sobre: a área de drenagem (A), o perímetro da bacia (P), o comprimento axial (L), o coeficiente de compacidade (Kc), o fator de forma (Kf), e o índice de circularidade (IC).

A área de drenagem (A) corresponde à projeção horizontal da área drenada pela rede de drenagem de uma bacia, e incluída em seus divisores topográficos de uma bacia, é ainda principal parâmetro para o cálculo de diversos índices fisiográficos da bacia. O perímetro da bacia

(P) se trata do comprimento de uma reta fictícia traçada ao longo da bacia. E o comprimento axial (L) corresponde ao comprimento da distância existente entre a foz do rio, e o ponto mais longínquo do espigão de sua bacia (Tonello, 2005).

O Kc (Coeficiente de compacidade) calcula a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com a mesma área da bacia. Esse coeficiente corresponde a um número adimensional que altera de acordo com forma da bacia, portanto quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente; e quanto maior for o coeficiente em relação à unidade de referência (1), menos sua forma se aproxima de uma forma circular, o que por sua vez a torna menos propícia à ocorrência de enchentes (Villela & Mattos, 1975). O coeficiente de compacidade foi estimado a partir da seguinte equação, onde “Kc” representa o coeficiente de compacidade; “P” representa o perímetro em km; e “A” representa a área da bacia em km²:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

O fator de forma (Kf) da bacia, calcula a relação estabelecida entre a área de captação e o comprimento axial da bacia. Quanto mais elevado o valor do fator de forma de uma bacia, mais propensa ela é à ocorrência de enchentes (Villela & Mattos, 1975). O fator de forma é estimado a partir da seguinte fórmula, onde “Kf” representa o fator de forma; “A” representa a área da bacia em km²; e “L” representa o comprimento axial da bacia em km:

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

O Índice de Circularidade (IC), segundo Cardoso et al. (2006), se trata de um índice utilizado para calcular a circularidade da bacia, e consequentemente determinar se é mais propensa ou não à ocorrência de enchentes. Quanto mais próximo da unidade o índice se apresentar, mais circular é a bacia, e portanto é mais propensa a ocorrência de enchentes. O índice é definido pela seguinte equação, onde “IC” representa o índice de circularidade; “A” é representa a área da bacia em km²; e “P” representa o perímetro em km:

$$IC = \frac{12,57.A}{P^2} \quad (3)$$

No caso da caracterização da rede de drenagem, os seguintes parâmetros foram

analisados: o comprimento do rio principal (Lc), comprimento total dos canais (Lt), a ordem da bacia, a densidade de drenagem (Dd), a densidade hidrográfica (Dh), o índice de sinuosidade (Is), e a extensão média do escoamento superficial (l). Para a obtenção de tais resultados, foram realizados os seguintes processos: fill, flow direction, con, stream to feature, stream order, e watershed contidos nas ferramentas Hydrology e Conditional em Spatial Analyst Tools, no software ArcGis 9.3.

O comprimento do canal principal foi obtido em ambiente SIG, a partir da vetorização e posterior mensuração da extensão do rio, Galvício e Sousa (2004) definem o comprimento do leito principal como a distância entre o exutório e a localidade mais afastada do mesmo. O comprimento total dos canais da bacia hidrográfica, foi obtido por meio do somatório do comprimento dos arcos de toda a hidrografia na área de drenagem (Tonello, 2005). A ordem da bacia foi definida com base na metodologia proposta por Strahler (1957), onde o autor aponta que os canais sem tributários são de primeira ordem, e que a confluência de dois canais de primeira ordem origina um canal de segunda ordem, que só podem receber afluentes dos canais de primeira ordem; consequentemente a confluência de dois canais de segunda ordem originam um de terceira ordem que podem receber afluentes das ordens anteriores, e assim por diante. A ordem da bacia é determinada pela maior ordem dos canais da rede de drenagem.

O índice de sinuosidade (Is) calcula a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do mesmo, expressando através desta relação, sua velocidade de escoamento. Na medida em que aumenta a sinuosidade do canal, o escoamento é prejudicado e consequentemente será mais lento (Freitas, 1952). É calculado pela seguinte equação, onde “Is” representa o índice de sinuosidade; “Lc” representa o comprimento do canal principal em km; e “Lv” representa o comprimento vetorial do canal principal km:

$$Is = \frac{Lc}{Lv} \quad (4)$$

A densidade de drenagem (Dd) indica o quão rica é a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. E pode ser definida como a relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia. Os valores deste índice podem variar de 0,5 km.km² em bacias pouco drenadas, a 3,5 km.km² em bacias bem drenadas (Chorley, 1995; Villela & Mattos, 1975). É definida pela seguinte equação, onde “Dd” representa a densidade de drenagem em

km/km²; “Lt” representa o comprimento total dos canais da bacia em km; e “A” representa a área da bacia, em km²:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (5)$$

A densidade hidrográfica (Dh) expressa a relação entre o número total de cursos d’água presentes na rede de drenagem, e a área da bacia (Christofolletti, 1969). É calculada pela seguinte equação, onde “Dh” representa a densidade hidrográfica; “N” representa o número total de canais presentes na bacia; e “A” representa a área da bacia em km²:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (6)$$

A extensão média do escoamento superficial (l) é definida como a distância média que a água pluvial precisa percorrer em uma bacia e em linha reta, do local onde precipitou, até o ponto mais próximo em um curso d’água qualquer da bacia. Este índice é calculado a partir da representação da área total da bacia como um retângulo de mesma área, em que o lado maior é a soma dos comprimentos da bacia, e onde um curso d’água percorre pelo seu centro (Villela & Mattos, 1975). Este resultado pode ser obtido a partir da seguinte equação, onde “l” representa a extensão média do escoamento superficial; “A” representa a área da bacia em km²; e “L” representa o comprimento do rio principal em km:

$$l = \frac{A}{4.L} \quad (7)$$

Como resultados sobre as características do relevo, estão apresentados neste trabalho os mapas de declividade e de altitude da bacia hidrográfica do Rio Beberibe. Além do cálculo da amplitude altimétrica, da relação do relevo, e do gradiente de canais.

O mapa de declividade da bacia foi construído em ambiente SIG a partir do modelo digital de elevação LiDAR do PE3D. No software ArcGIS 10.2.2 foi utilizada a ferramenta “Slope” que gerou os intervalos percentuais da declividade do relevo. O mapa hipsométrico, que representa graficamente o relevo médio da área da bacia, foi igualmente elaborado em ambiente SIG.

A amplitude altimétrica (Hm) da bacia corresponde segundo Strahler (1952) à diferença altimétrica entre o exutório e a maior altitude presente na área da bacia, indicando assim seu

desnível médio. Pode ser calculada mediante a seguinte equação, onde “Hm” representa a altitude altimétrica em m; “Hmax” representa a altitude máxima em m; e “Hmin” representa a altitude mínima em m:

$$Hm = Hmax - Hmin \quad (8)$$

A relação de relevo (Rr) corresponde ao índice que expressa a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal. Segundo Schumm (1956), na medida que aumentar o valor de Rr em uma bacia, aumentará o desnível entre sua nascente e sua foz, e consequentemente aumentará a declividade média da bacia. Para o cálculo da relação de relevo foi utilizada a seguinte equação, onde “Rr” representa a relação de relevo m/km; “Hm” representa a amplitude altimétrica em m; e “Lc” representa o comprimento do canal principal em km:

$$Rr = \frac{Hm}{Lc} \quad (9)$$

O gradiente de canais (Gc) é obtido a partir do cálculo da relação estabelecida entre a altitude máxima da bacia e o comprimento do canal principal (Chorley, 1995). Este índice é utilizado para calcular a declividade média dos cursos d’água da bacia, e é expresso pela seguinte equação, onde “Gc” representa o gradiente de canais; “Amax” representa a altitude máxima da bacia em m; e “Lc” representa o comprimento do canal principal em km:

$$Gc = \frac{Amax}{Lc} \quad (10)$$

Resultados e discussão

Os resultados referentes às características geométricas (apresentados na Tabela 1), apontam que a bacia hidrográfica do Rio Beberibe possui 71 km² de área, essa característica atribui à bacia a classificação de tamanho grande, pois segundo a classificação de Wisler e Brater (1964), bacias com mais de 26 km² de área podem ser assim consideradas. Se apresentam como parâmetros físicos geométricos ainda, o perímetro da bacia, quantificado em 56 km; e o comprimento axial da bacia, quantificado em 19 km.

Quanto à forma, para a bacia do Rio Beberibe foram calculados o coeficiente de compacidade, o fator de forma e o índice de circularidade. Estes índices estão relacionados com a forma geométrica da bacia, que por sua vez é um fator que influi diretamente nas dinâmicas hidrológicas em uma bacia hidrográfica, pois

indica uma maior ou menor susceptibilidade para ocorrência de enchentes em uma determinada bacia hidrográfica (Villela & Mattos, 1975).

A partir do cálculo dos índices supracitados, foi possível constatar se a bacia em estudo possui uma forma alongada, menos propícia à ocorrência de enchentes em decorrência do melhor escoamento de águas pluviais, ou se a bacia possui uma forma circular, o que facilita o acúmulo de águas e a consequente ocorrência de enchentes. Todos os resultados obtidos acerca dos parâmetros geométricos da bacia hidrográfica do Rio Beberibe estão apresentados na Tabela 1.

Segundo Dias (2020) os resultados obtidos a partir da caracterização fisiográfica de uma bacia hidrográfica pode proporcionar uma compreensão aprofundada dos inúmeros parâmetros que influenciam na vazão e na drenagem de um determinado corpo hídrico. Portanto, a caracterização destes ambientes se trata de uma importante ferramenta, que pode ser utilizada na comparação entre bacias hidrográficas distintas ou semelhantes, para a compreensão de eventos passados e previsão de eventos futuros, baseados no histórico dos fenômenos e na fisiografia da bacia.

Tabela 1. Parâmetros Geométricos da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

Parâmetros Geométricos	Resultados
Área	71 km ²
Perímetro	56 km
Comprimento Axial	19 km
Coefficiente de Compacidade	1,86
Fator de Forma	0,18
Índice de Circularidade	0,28

Os resultados obtidos acerca da geometria da bacia a partir da aplicação das fórmulas morfométricas, demonstraram que a bacia hidrográfica do Rio Beberibe não é naturalmente propensa à ocorrência de enchentes. O valor para o coeficiente de compacidade obtido foi o de 1,86, portanto, segundo Villela e Mattos (1975), a bacia do Rio Beberibe é pouco suscetível à ocorrência de enchentes, tendo em vista que quanto maior o valor em relação à unidade, mais alongada é a bacia. Ainda segundo classificação de Oliveira (1997), bacias com coeficiente de compacidade superiores à 1,5, não estão sujeitas a enchentes, o que reforça a conclusão de que naturalmente a bacia do Beberibe não está sujeita a enchentes.

O fator de forma obtido para a bacia foi de 0,18, um valor consideravelmente baixo e que indica uma forma alongada para bacia, o que por sua vez apresenta um baixo risco para ocorrência de enchentes, principalmente pela baixa probabilidade da precipitação recobrir todo seu território, e de seus tributários atingirem o curso d'água principal em vários pontos ao longo da bacia (Villela & Mattos, 1975). Para Wisler e Brater (1964) valores baixos para esse parâmetro, indicam que as bacias hidrográficas são pouco propensas a inundações, quando comparadas a

bacias hidrográficas que possuem o mesmo tamanho, porém que apresentem um Kf mais elevado.

Por fim, o último parâmetro geométrico obtido para a bacia do Rio Beberibe foi o índice de circularidade, que resultou no valor de 0,28. Considerando-se que o valor tende para a unidade quando a bacia se aproxima da forma circular, e se afasta conforme a mesma se torna mais alongada, o índice de circularidade da bacia do Beberibe confirma os resultados do coeficiente de compacidade e do fator de forma, de que a bacia é pouco propensa à inundações e enchentes, por possuir uma forma mais alongada (Cardoso et al., 2006).

Além dos padrões geométricos da bacia, é importante para o conhecimento aprofundado de suas características, caracterizar seus padrões de drenagem, pois as características da drenagem definem seus padrões hídricos, e o conhecimento destes fatores é essencial para o desenvolvimento e planejamento destas unidades. Os resultados sobre os padrões da rede de drenagem foram obtidos a partir da definição das direções de fluxos de água na bacia.

A direção de fluxos (Figura 2) é o resultado que define as relações hidrológicas entre

pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica. Para a representação precisa e realista da rede de drenagem é necessário que haja uma continuidade topográfica para as direções de fluxo, por isso a precisão e fidedignidade dos dados é de suma

importância para a obtenção de bons resultados. Os cursos são agrupados de acordo com a direção que percorrem, no caso indicada pelos pontos cardeais e colaterais.

Figura 2. Direção de fluxos na bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

A partir dos resultados sobre a direção dos fluxos na bacia, foi possível obter a rede de drenagem, e calcular os seus parâmetros. Os resultados sobre a drenagem, apontam a bacia hidrográfica do Rio Beberibe como uma bacia bem drenada, com uma grande quantidade de canais

ramificados por toda sua extensão, como é possível observar na rede de drenagem (Figura 3). O padrão de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Beberibe foi identificado como um padrão dendrítico, por apresentar uma grande quantidade de afluentes e subafluentes para seus cursos.

Figura 3. Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

A obtenção da rede de drenagem da bacia, possibilitou o levantamento dos parâmetros fisiográficos necessários para sua caracterização, como o comprimento do rio principal, para o qual foi obtido o valor de 17 km. A delimitação da drenagem possibilitou também, a obtenção do

comprimento total dos canais, a partir do somatório dos comprimentos de todos os cursos d'água presentes na bacia, soma que resultou em 380,56 km de comprimento. Todos os resultados obtidos acerca dos parâmetros da drenagem da bacia, estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros da drenagem da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

Parâmetros da Drenagem	Resultados
Comprimento do Rio Principal	17 km
Comprimento total dos canais	380,56 km
Ordem da Bacia	6ª Ordem
Índice de Sinuosidade	0,89
Densidade de Drenagem	5,36 km/km ²
Densidade Hidrográfica	28,9 rios/km ²
Extensão média do escoamento Superficial	1,04 km

A ordem dos canais corresponde ao nível de ramificação presente em uma bacia, e a ordem da bacia é apresentada pela maior ordem de ramificação presente. A bacia hidrográfica do Rio

Beberibe foi classificada de acordo com classificação de Strahler (1957) como uma bacia de 6ª ordem. Os rios de 1ª ordem da bacia hidrográfica do Rio Beberibe possuem somados um

comprimento total de cerca de 248 km. A grande quantidade de ramificações presentes (Figura 4), indica que a bacia do Beberibe apresenta um o

sistema de drenagem bastante ramificado, e expressa o padrão de drenagem dendrítico presente na bacia.

Figura 4. Ordem dos rios da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

O índice de sinuosidade expressa a velocidade do escoamento do canal principal. O índice de sinuosidade (I_s) encontrado para a bacia hidrográfica do Rio Beberibe foi no valor de 0,89. Seguindo a classificação de Freitas (1952), que aponta índices com valores próximos de 1, como indicadores de canais com perfis retilíneos, e índices com valores superiores a 2, como indicadores de canais sinuosos, é possível constatar com base no índice obtido para o Rio Beberibe, que o mesmo possui um perfil retilíneo, o que intensifica a velocidade do escoamento.

A densidade de drenagem obtida para a bacia hidrográfica do Rio Beberibe foi de 5,36 km/km². Segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem pode variar de 0,5 km/km² em bacias de drenagem pobre a 3,5 km/km² em bacias de drenagem ricas, logo a bacia do Beberibe pode ser considerada como bem drenada. A densidade de drenagem se trata de uma variável de extrema importância para a caracterização morfométrica da bacia, pois ela representa o grau de dissecação topográfica, em paisagens elaboradas pela atuação fluvial, e apresentam a

quantidade de canais disponíveis para o escoamento (Christofolletti, 1981).

A densidade hidrográfica indica a frequência da ocorrência dos cursos d'água na área da bacia. Strahler (1952) apontou em seu estudo, que em bacias onde a densidade hidrográfica for inferior a 3 rios por km², a densidade é baixa; onde estiver entre 3 e 7 por km², a densidade hidrográfica é média; e onde estiver entre 7 a 15 km², a densidade por ser considerada como alta; e onde for superior a 15 rios por km², a densidade hidrográfica é extremamente alta. A densidade hidrográfica obtida para a bacia hidrográfica do Rio Beberibe foi no valor de 28,9 rios/km², o que expressa que a bacia possui uma densidade hidrográfica extremamente alta, e a ocorrência de rios no território é frequente. Alguns dos fatores que podem influenciar diretamente neste resultado são comprimento do canal principal e o comprimento total dos canais presentes na bacia, que estão intrinsecamente associados à grande frequência de canais ocorrentes na bacia. Fatores como a proximidade do litoral, e a forte atividade pluviométrica na área da bacia, também se

apresentam como fatores influenciadores no surgimento e manutenção de canais em uma bacia.

A extensão média do escoamento superficial é o parâmetro de drenagem que calcula a distância que a água precipitada vai percorrer até desaguar em um curso d'água qualquer da bacia, após o início do escoamento superficial (Villela & Mattos, 1975). Para a bacia hidrográfica do Rio Beberibe, a extensão média do escoamento superficial foi de 1,04 km, um valor consideravelmente alto, especialmente para uma bacia com uma drenagem tão rica quanto a do Rio Beberibe, o que indica que apesar de bem

distribuídos os cursos ainda se encontram consideravelmente distantes uns dos outros.

Um outro fator que influi diretamente sobre o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, é o relevo. A bacia hidrográfica do Rio Beberibe se encontra em uma área de planície costeira, onde terrenos mais rebaixados e com altitudes mais próximas do nível do mar predominam, especialmente nas áreas mais próximas do litoral. No interior da bacia, altitudes um pouco mais elevadas são constatadas, por se tratar de uma área onde predominam os morros e encostas. Todos os parâmetros acerca do relevo estão listados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros do relevo da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

Parâmetros do Relevo	Resultados
Altitude Mínima	0 m
Altitude Máxima	171 m
Altitude da Nascente	133,9 m
Altitude da Foz	5 m
Amplitude Altimétrica	166 m
Relação de Relevo	9,76 m/km
Gradiente de Canais	10,05 %

Segundo Trentin e Robaina (2005) o mapa hipsométrico é de suma importância para uma análise efetiva da energia do relevo em bacias hidrográficas, pois ele indica condições mais propícias à dissecação nas áreas de maior altitude, e à acumulação nas áreas de menor altitude. Sobre a hipsometria da bacia (Figura 5), foi registrada altitude máxima de 171 m, na região da cabeceira da bacia; foi registrada a altitude de 133,9 m de altitude para a nascente do rio. Em contrapartida, foi registrada a altitude mínima de 0 m em relação ao nível do mar, justamente na área da costa; para a foz do Rio Beberibe, em seu encontro com o

Capibaribe e desembocadura conjunta no Oceano Atlântico, foi identificada a altitude de 5 m. A amplitude altimétrica calculada para a área da bacia, resultou em um total de 166 m de altitude, o que identifica que apesar de a altitude máxima presente na bacia não apresentar altos picos de elevação, há uma grande diferença entre as altitudes da foz da bacia e sua nascente, justamente pelo fato de a bacia hidrográfica do Rio Beberibe se encontrar em área onde o relevo alterna entre a predominância das planícies costeiras, e os morros e encostas.

Figura 5. Hipsometria da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

A relação de relevo se apresenta no presente trabalho, como o parâmetro final para a análise das características do relevo da bacia. O resultado obtido para a bacia hidrográfica do Rio Beberibe foi o de valor 9,76 m/km, o que significa dizer que em relação à amplitude altimétrica da bacia e o comprimento de seu canal principal, ocorre um desnível de 9,76 m no relevo a cada 1 km. Evidenciando novamente o quão rebaixado é o relevo da bacia, e a possível ocorrência de depressões, o que pode propiciar o acúmulo de águas pluviais advindas do escoamento superficial.

O gradiente de canais para bacia, foi de um valor relativamente baixo, 10,05% de declividade. Este índice demonstra que o relevo presente na área da bacia é predominantemente plano, sem muitas ondulações e elevações, exceto em algumas áreas de morros. O gradiente médio dos canais presentes na bacia reflete o comportamento do potencial erosivo e de transporte de sedimentos de uma bacia hidrográfica (Chorley, 1995). No mapa de declividade desenvolvido para a bacia hidrográfica

do Rio Beberibe (Figura 6), é possível visualizar uma certa heterogeneidade das áreas mais declivosas e as áreas menos declivosas, justamente por se tratar de uma área de planície costeira, com a presença de tabuleiros costeiros no litoral; e de uma área de morros e encostas na região mais interiorana da bacia. Ainda assim, é possível identificar no litoral, a predominância de uma declividade relativamente baixa, e na medida que se adentra a bacia a presença de uma declividade mediana e alta se faz mais presente.

A declividade impacta diretamente no padrão de escoamento dos rios, que encontram em terrenos fortemente declivosos dificuldade para seguir o curso natural e atingir os rios de forma rápida, acumulando muitas vezes essa água escoada em depressões. Uma vez que a bacia do Beberibe, não possui elevações bruscas nos índices de declividade e seus canais se apresentam com perfis mais retilíneos, o escoamento superficial flui de forma tranquila em maior parte de seu terreno.

Figura 6. Declividade da bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

Apesar de todos os seus índices indicarem que a bacia do Rio Beberibe não é uma área propensa fisicamente à ocorrência de enchentes, periodicamente os moradores sofrem transtornos ocasionados por enchentes e inundações provocados por altos índices pluviométricos. O maior exemplo de enchente na área da bacia foi a ocorrida em 1975, onde os rios Beberibe e Capibaribe transbordaram e deixaram Recife e sua Região Metropolitana submersa. Porém, os impactos das fortes chuvas sobre a vida dos residentes na área da bacia ainda perduram atualmente (G1, 2012; JC, 2016).

A forte urbanização das áreas costeiras impacta diretamente sobre as dinâmicas das áreas litorâneas, pois a partir da impermeabilização do solo, os padrões de escoamento e infiltração do solo são drasticamente alterados, o que acaba por ocasionar inundações urbanas (Tucci, 2000). Áreas como a da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, que se encontra na Região Metropolitana do Recife, são fortemente urbanizadas, e por conseguinte, enfrentam uma diversidade de problemáticas urbanas relacionadas a eventos extremos de natureza hidrológica. A problemática das inundações urbanas ou alagamentos, é recorrente na área da bacia hidrográfica do Rio Beberibe,

justamente por se tratar de uma área de forte atuação antrópica, o que culmina em uma maior alteração nas formas de uso e ocupação do solo, e consequentemente na modificação e interrupção dos padrões hídricos naturais.

A partir da necessidade de compreender o comportamento hidrológico da água superficial na bacia hidrográfica do Rio Beberibe, foi elaborado o mapa de Acúmulo de Fluxos (Figura 7). O acúmulo de fluxo é um resultado que aponta o grau da confluência do escoamento superficial em uma determinada área. Podendo também ser chamado de área de captação, o acúmulo de fluxo apresenta as características de conexão com divisores de água a montante, e de confluência e divergência das linhas de fluxo. O acúmulo de fluxo possibilita ainda extrair a drenagem de uma determinada área, com os valores de acúmulo de água em cada curso d'água presente. Os maiores níveis de acúmulo estão localizados sobre os corpos hídricos, à exemplo o Rio Beberibe para onde conflui a maior parte do escoamento; nas áreas mais baixas e menos declivosas da bacia, especialmente região costeira da bacia, área onde o adensamento populacional é maior; e nas áreas remanescentes de Mata Atlântica, onde o escoamento segue seu curso

e infiltra no solo (Mendes & Cirilo, 2001; Valeriano, 2008).

Figura 7. Acúmulo de fluxo na bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

Conclusões

A associação dos resultados obtidos sobre os parâmetros da rede de drenagem com os parâmetros do relevo, possibilitou um melhor entendimento do comportamento hidrológico nos terrenos da bacia, onde o escoamento é fluído e rápido, em decorrência de o canal possuir um perfil topográfico pouco sinuoso e mais retilíneo, o que culmina em uma maior fluidez do escoamento superficial. Esses resultados são inovadores uma vez que foram obtidos de uma base de dados de alta resolução espacial (sensor lidar) que é capaz de obter informações detalhadas e precisas da superfície da terra.

Com base nos resultados obtidos, foi possível observar a influência que cada um dos processos, seja de natureza geométrica, de drenagem ou do relevo, exercem respectivamente uns sobre os outros, definindo assim o comportamento hidrológico da bacia. Logo, o estudo integrado das variáveis físicas de uma bacia fisiográfica, é um meio eficaz de compreender como se dão os processos hídricos, e se tratam de informações extremamente necessárias para

mitigação de problemáticas referentes à relação estabelecida com a água, especialmente no meio urbano.

Sabe-se que para realizar planejamento de uma bacia com alta complexidade, devido a existência de grandes cidades no seu âmbito, se faz necessário um detalhamento das características fisiográficas da superfície da bacia. Assim, este estudo por se utilizar dados obtidos pelo perfilamento a laser da superfície com o sensor lidar, proporciona um alto detalhamento dessas características. Esse detalhamento proporciona tomar decisões específicas e pontuais na bacia em estudo. Este estudo é um dos primeiros a utilizar os dados provenientes do sensor lidar para a caracterização de bacias hidrográficas em Pernambuco.

Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC). E dedico ainda meus agradecimentos à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Laboratório de

Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) do Departamento de Ciências Geográficas (DCG), por todo o suporte técnico e científico.

Referências

- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas, 2014. Bacias Hidrográficas. Recife.
- Ayoade, J. O., 1996. Introdução à climatologia para os trópicos, 4ª. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Barrella, W., Petre Junior, M., Smith, W. S. & Montag, L. F. de A., 2001. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes, in: Rodrigues, R. R. & Leitão Filho H. de F. (Eds.), Matas ciliares: conservação e recuperação. Editora da USP, São Paulo, pp. 187-207.
- BRASIL, 1997. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro.
- Brown, J. D., Spencer, T., & Moeller, I., 2007. Modeling storm surge flooding of an urban area with particular reference to modeling uncertainties: A case study of Canvey Island, United Kingdom. *Water Resources Research* [Online] 43(6). Disponível: doi.org/10.1029/2005WR004597. Acesso: 10 dez. 2019.
- Campos, H. L., 2008. O Rio Beberibe e sua importância para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife – RMR: uma perspectiva histórica. *Clio - Série de Revista de Pesquisa Histórica* [Online] 26(1). Disponível: revistaclio/article/view/24203. Acesso: 20 jan. 2020.
- Cardoso, C. A., Dias, H. C., Soares, C. P., & Martins, S. V., 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore* [Online] 30(2). Disponível: doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011. Acesso: 5 mar. 2020.
- Chorley, R., 1995. Horton, R. E. 1945: Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-3 70. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* [Online] 19(4). Disponível: doi.org/10.1177%2F030913339501900406. Acesso: 10 fev. 2020.
- Christofolletti, A., 1969. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, 8(9), 35-64.
- Christofolletti, A., 1981. *Geomorfologia fluvial*, 1ª ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- Costa, M. F. & Souza, S. T., 2002. A Zona Costeira Pernambucana e o caso especial da Praia da Boa Viagem: Usos e Conflitos, in: Yoshiya Nakagawara Ferreira. (Org.), *Construção do Saber Urbano Ambiental: a caminho da transdisciplinaridade*. Editora Humanidades, Londrina, pp. 1-20.
- Dias, A. A., Aquino, C. M., & Santos, F. D., 2020. Caracterização Ambiental e Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itaueira, Piauí, Brasil. *Geosaberes* [Online], 11. Disponível: doi.org/10.26895/geosaberes.v11i0.853. Acesso: 22 abr. 2020.
- Fewtrell, T. J., Duncan, A., Sampson, C. C., Neal, J. C., & Bates, P. D., 2011. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(7-8), 281-291. Disponível: doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.011. Acesso: 08 dez. 2019.
- Freitas, R. O., 1952. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. *Boletim Paulista de Geografia* [Online] 11. Disponível: agb.org.br/1366.
- G1 PE. Globo Nordeste, 2012. Cobertura da cheia de 1975 no Recife foi marcante nos últimos 40 anos. Recife. 16 abr. 2012.
- Galvêncio, J., & Sousa, F., 2004. Uso do Modelo TOPAZ para a Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Açude Eptácio Pessoa. *Revista Brasileira De Recursos Hídricos* [Online] 9(4). Disponível: doi.org/10.21168/rbrh.v9n4.p69-75
- Gallegos, H. A., Schubert, J. E., & Sanders, B. F., 2009. Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. *Advances in Water Resources* [Online] 32(8). Disponível: doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.05.008
- Hsu, M., Chen, S., & Chang, T., 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. *Journal of Hydrology* [Online] 234(1-2). Disponível: https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00237-7. Acesso: 14 dez. 2019.
- JC. Jornal do Comércio, 2016. Rio Beberibe transborda e alaga casas na Zona Norte do Recife. Recife. 09 mai. 2016.
- Mason, D. C., Horritt, M. S., Hunter, N. M., & Bates, P. D., 2007. Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. *Hydrological Processes* [Online] 21(11). Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.6343. Acesso: 05 jan. 2020.

- Mendes, C. A. B. & Cirilo, J. A., 2001. Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação, 2ª ed. ABRH, Porto Alegre.
- Oliveira, J. N., 1997. Classificação de características fisiográficas. Texto básico para a disciplina “Hidrologia Básica”. UNESP, São Paulo.
- Ozdemir, H., Sampson, C. C., Almeida, G. A., & Bates, P. D., 2013. Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. *Hydrology and Earth System Sciences* [Online] 17(10). Disponível: doi.org/10.5194/hess-17-4015-2013. Acesso: 18 dez. 2019.
- Rodriguez, L. C. E., Polizel, J. L., Ferraz, S. F. de B., Zonete, M. F. & Ferreira, M. Z., 2010. Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp no Brasil. *Ambiência* [Online] 6. Disponível: https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/874. Acesso: 5 abr. 2020.
- Sampson, C. C., Fewtrell, T. J., Duncan, A., Shaad, K., Horritt, M. S., & Bates, P. D., 2012. Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. *Advances in Water Resources* [Online] 41. Disponível: doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.02.010. Acesso: 18 dez. 2019.
- Schumm, S. A., 1956. *Evolution Of Drainage Systems And Slopes In Badlands At Perth Amboy, New Jersey*. Geological Society of America Bulletin [Online] 67(5). Disponível: doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2. Acesso: 22 jan. 2020.
- SRHE/PE. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco, 2012. Projeto de dragagem do Rio Beberibe no trecho entre a BR-101 e a ponte da avenida Olinda (trechos 1 a 5). Recife.
- Strahler, A. N., 1952. *Hypsometric (Area-Altitude) Analysis Of Erosional Topography*. Geological Society of America Bulletin [Online] 63(11). Disponível: doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2.
- Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union* [Online] 38(6). Disponível: doi.org/10.1029/TR038i006p00913. Acesso: 08 dez. 2019.
- Tonello, K. C., 2005. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhanes, MG. Dissertação (Mestrado). Viçosa, UFV.
- Trentin, R. & Robaina, L. E., 2005. Metodologia para mapeamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul. XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada 1, 3606-3615.
- Tsubaki, R., & Fujita, I., 2010. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. *Hydrological Processes* [Online] 24(11). Disponível: doi.org/10.1002/hyp.7608. Acesso: 12 dez. 2019.
- Tucci, C. E. M., 2000. Água no meio urbano. in: Rebouças, A. C., Braga Jr., B. P. F., & Tundisi, J. G. (Eds.), *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escrituras Editora, São Paulo, pp. 475-508.
- Tucci, C. E. M., 2009. *Hidrologia ciência e aplicação*. Editora da UFRGS, Porto Alegre.
- Valeriano, M. M., 2008. Dados topográficos, in: Florenzano, T.G. (Org.), *Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais*. Oficina de Textos. São Paulo, 72-104.
- Villela, S. M. & Mattos A. 1975. *Hidrologia aplicada*, 1ª ed. McGraw-Hill, São Paulo.
- Wisler, C. O. & Brater, E.F., 1964. *Hidrologia*, 1ª ed. Ao Livro Técnico S.A, Rio de Janeiro.