ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Análise da suscetibilidade à ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB

Caio Lima dos Santos¹, Osvaldo Girão da Silva², Saulo Roberto de Oliveira Vital³, Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley⁴

¹Doutorando no Programa de Pós-graduação em geografia, Av. da Arquitetura, s/n, Universidade Federal de Pernambuco, CEP: 50740-550, Cidade Universitária, Recife-PE. (81) 2126-8277. caiolimageo@gmail.com (autor correspondente). ²Professor do Departamento de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. osgirao@gmail.com ³Professor do Departamento de Geografia do Centro de Ensino Superior do Seridó - DGC/CERES, R. Joaquim Gregório, s/n. Penedo. Caicó-RN, CEP: 59.300-000 - Brasil. srovital@gmail.com. ⁴Doutorando no Programa de Pós-graduação em geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. lucassaw.13@gmail.com

Artigo recebido em 17/11/2017 e aceito em 30/03/2018

RESUMO

Enchentes e inundações constituem um fenômeno geomorfológico que decorre do aumento da vazão das águas pluviais que escoam numa bacia hidrográfica. A suscetibilidade de ocorrência desses fenômenos na bacia do rio Jaguaribe foi analisada com base nos seguintes índices morfométricos: índice de circularidade, densidade de drenagem, fator forma e o coeficiente de compactidade. Os valores encontrados para os índices adotados nessa pesquisa indicaram uma bacia com baixa suscetibilidade à ocorrência de enchentes. Tal proposição foi reforçada pelas características físicas da área, a qual apresenta um relevo esculpido sobre rochas sedimentares, de aspecto semiplano e tabular, pouco dissecado, havendo poucas áreas de declives acentuados, a não ser em determinadas porções dos vales fluviais. Os canais fluviais apresentam poucas variações altimétricas, o que garante um fluxo laminar, de baixo poder erosivo. Essa relativa estabilidade encontrada na caracterização física da referida bacia, é perturbada pelo processo de urbanização observado nos últimos 35 anos, que tem se refletido na formação de acentuados processos erosivos que se desenvolvem na porção interfluvial da bacia, causando o assoreamento dos canais fluviais. Além disso, o aumento do escoamento superficial causado pela impermeabilização do solo e a construção de residências dentro da planície e do canal fluvial, constitui-se como outro fator preponderante. A conjugação desses fatores resulta na formação de áreas de risco de enchentes e inundação, além do risco de movimentos de massa, que por sua vez, surgem como produto do modo como ocorre o uso e ocupação das terras.

Palavras-chave: Morfometria; Enchentes; Inundações; Bacia do Rio Jaguaribe.

Analysis of the susceptibility to the occurrence of floods and inundations in the Jaguaribe river basin - João Pessoa / PB

ABSTRACT

Floods and inundations constitute a geomorphological phenomenon that results from the increase in the water flow in a river basin. The susceptibility of occurrence of these phenomena in the Jaguaribe river basin was analyzed based on the following morphometric indices: circularity index, drainage density, form factor and the coefficient of compactness. The values found for the indices adopted in the research indicated a basin with low susceptibility to the occurrence of floods. This proposition was reinforced by the physical characteristics of the area, which presents a carved relief on sedimentary rocks, of semiplaning and tabular aspect, little dissected, with few areas of steep slopes, except in certain portions of the river valleys. The river channels have a few altimetry variations, which guarantees a laminar flow, with low erosive power. This relative stability found in the physical characterization of this basin is disturbed by the process of urbanization observed in the last 35 years, which has been reflected in the formation of marked erosive processes that develop in the interfluvial portion of the basin, causing the sedimentation of the fluvial channels. Moreover, the increase in surface runoff caused by soil sealing and the construction of residences within the plain and fluvial channel constitutes another preponderant factor. The combination of these factors results in the formation of inundation and flood risk areas, and the risk of mass movements, which in turn, arise as a product of the way the use and occupation of land occurs

Keywords: Morphometric; Floods; Inundations; Jaguaribe River Basin.

Introdução

As cidades são ambientes de predomínio dos elementos humanos sobre os elementos naturais, que se encontram, sobremaneira, em situação adversa, em diferentes níveis de alteração em relação a sua forma e dinâmica natural. Essas transformações podem atingir de modo direto ou indireto o cotidiano das pessoas que residem nos espaços urbanos, resultando em diversos problemas para a dinâmica do ambiente natural, para a infraestrutura das cidades e para a saúde da população urbana.

A formação de um núcleo urbano em um ambiente fluvial irá influenciar diretamente a dinâmica hídrica local. Um dos primeiros reflexos será o aumento do escoamento superficial, pois, a impermeabilização do solo ocasionará redução do processo de infiltração, aumentando o fluxo superficial, o que promoverá um maior poder erosivo das áreas de solo exposto, e ocasionará o assoreamento do canal, diminuindo sua capacidade de armazenamento e transporte. Portanto, o aumento do escoamento superficial tornará o canal fluvial mais suscetível à ocorrência de enchentes e inundações (Cardoso, 2008).

A forma de ocupação da terra está diretamente relacionada aos impactos ocasionados pela dinâmica fluvial nas áreas urbanas. Nesse contexto, a desconsideração dos ritmos físicos ambientais, no planejamento urbano, resulta em situações de risco, quando da ocorrência de enchentes e inundações.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é uma importante ferramenta para a compreensão da dinâmica geomorfológica e para o planejamento e gestão territorial. Os índices morfométricos expressam quantitativamente as características de uma bacia, e seu cálculo permite conhecer as inter-relações que se estabelece entre seus elementos naturais. Nesse sentido, os índices morfométricos podem ser utilizados, por exemplo, para avaliar a susceptibilidade à ocorrência de enchentes, inundações (Christofoletti, 1980).

Christofoletti (1980) define a análise areal, linear e hipsométrica como parâmetros morfométricos para analisar uma bacia hidrográfica. O parâmetro areal engloba em sua análise vários índices, considerando em sua medição aspectos planimétricos e lineares. Na análise linear são englobados índices e relações dos canais fluviais e suas ações, uma vez que as medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento. No caso da análise hipsométrica, são consideradas as variações

altimétricas da área da bacia, indicando as relações existentes entre as unidades morfológicas.

Lima (1996) destaca a necessidade de compreender as características físicas da bacia, em termos quantitativos, no intuito de compreender as inter-relações existentes entre os processos que a caracterizam, sendo o estudo morfométrico de bacias hidrográficas um importante procedimento para explicar as interações que ocorrem entre os elementos que compõe a paisagem integrada dos domínios fluvial e interfluvial. Essa interação, segundo Feltran Filho et al., (2007), perpassa pela identificação dos elementos naturais e antrópicos, no intuito de melhor caracterizar a bacia hidrográfica em apreço.

Atualmente, diversas pesquisas desenvolvidas no campo de estudos de bacias hidrográficas, que tem como objetivo a análise de áreas sujeitas a eventos como as enchentes e inundações, têm aplicado como modelo metodológico a caracterização morfométrica, dentre elas destacam-se: (Cardoso, 2006; Feltran Filho et al., 2007; Silva et al., 2009; Oliveira et al., 2010; Leite et al., 2012; Santos e Morais, 2012; Braun, 2013; Bravo e Santil, 2013; Menezes et al., 2014; Monteiro et al., 2014). É evidente nesses estudos a utilização do geoprocessamento e do sensoriamento remoto como ferramentas para a obtenção, tratamento e mensuração dos dados, permitindo maior praticidade no desenvolvimento da pesquisa.

As características morfométricas descrevem os parâmetros morfológicos e expressam os indicadores físicos da bacia. As técnicas de análise morfométrica são muito importantes para analisar a morfogênese de uma área, sobretudo quando podem ser confrontadas com os dados obtidos em campo e tratadas com técnicas de geoprocessamento (Silva et al., 2009).

Contudo, algumas ponderações acerca da eficiência da análise morfométrica de bacias hidrográficas necessitam ser realizadas, pois, mesmo não apresentando parâmetros que indiquem uma susceptibilidade a enchentes, uma bacia hidrográfica pode não está totalmente isenta de sua ocorrência. A dinâmica climática e as ações antrópicas, como a urbanização, podem configurar como fatores potencializadores, ou até mesmo geradores de inundações e enchentes.

Monteiro et al. (2014) constatou que as enchentes ocorridas nos anos 2000, 2004 e 2010, na bacia hidrográfica do rio Una, cidade de Palmares/PE, estiveram associadas a eventos pluviométricos de grande magnitude, uma vez que a referida bacia não apresenta parâmetros

morfométricos que a coloque em situação susceptível a tal evento.

Esse fato representa a necessidade de considerar a dinâmica rítmica do clima como um importante fator condicionante de enchentes e inundação, que estando associado a fatores antrópicos, como a urbanização, que podem ser potencializados e, portanto, gerar situações de risco.

Assim, apesar da relevância e eficiência da análise dos dados morfométricos de uma bacia, como um importante método de pesquisa, que agora agrega o apoio das técnicas de geoprocessamento, que representa um método mais ágil, prático e menos oneroso para tais análises, há de se considerar os *inputs* energéticos derivados da dinâmica climática, bem como as intervenções antrópicas na avaliação de fenômenos que interferem sobre a dinâmica fluvial.

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar a suscetibilidade à ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe a partir de dados morfométricos e do uso e ocupação da terra.

Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudos corresponde à bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, que se encontra inserida na área urbana do município de João Pessoa, estado da Paraíba (Figura 1), localizado na mesorregião da Mata paraibana. Essa bacia hidrográfica possui sua dinâmica influenciada pelo clima tropical úmido, o qual é caracterizado por apresentar uma elevada média pluviométrica anual, com valor de 1800 mm/ano. Os meses de junho, julho e agosto são aqueles que concentram os maiores volumes médios de precipitação, sendo esse o período de maior vazão média dos cursos fluviais.

Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Organizada pelos autores.

No contexto geológico/geomorfológico, a área de estudo está inserida na bacia sedimentar marginal Paraíba, constituída pelas seguintes camadas litoestratigráficas: Formação Beberibe, Formação Itamaracá, Formação Gramame e a Formação Maria Farinha, recobertas pelos sedimentos da Formação Barreiras. A Formação Barreiras constitui a principal unidade litoestratigráfica presente na área de estudo, correspondendo a maior representação da cobertura sedimentar Fanerozóica que a compõe, sendo constituída de sedimentos areno-argilosos

mal consolidados de origem continental, dispondo-se em camadas areno-siltosos, arenosos, conglomeráticos e ferruginosos (Barbosa e Lima Filho, 2005; Barbosa, 2007).

É sobre a Formação Barreiras que se desenvolvem os Tabuleiros Costeiros ou Baixos Planaltos Costeiros, forma do relevo predominante na porção leste do estado da Paraíba. No sítio urbano da cidade de João Pessoa, os tabuleiros possuem cotas altimétricas máximas variando entre 49 e 77 metros, representando uma área de relativa baixa altitude na bacia da Paraíba (FURRIER et al.,

2006). Segundo o mesmo autor, a baixa energia do relevo, característico dessa área é resultado do forte controle estrutural atuante nos Tabuleiros Litorâneos do estado da Paraíba.

Material e métodos

Parâmetros Morfométricos

A análise morfométrica de bacias hidrográficas proposta por Christofolletti (1980), é realizada a partir da classificação da hierarquia fluvial, da análise zonal, da análise linear e da análise hipsométrica.

Tabela 1: Índices morfométricos adotados para a pesquisa.

PARÂMETRO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
ANÁLISE ZONAL		
DENSIDADE DE DRENAGEM	$Dd = Lt/A$	HORTON (1945)
COEFICIENTE DE COMPACIDADE	$Kc = 0,28 * P / \sqrt{P}$	CHRISTOFOLETTI (1980)
FATOR FORMA	$F = A / L^2$	HORTON (1945)
ÍNDICE DE CIRCULARIDADE	$IC = 12,57 * A / P^2$	CHRISTOFOLETTI (1980)
ANÁLISE HIPSOMÉTRICA		
ORDEM FLUVIAL	CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA	STRAHLER (1964)
ANÁLISE AREAL		
ÁREA DA BACIA		CHRISTOFOLETTI (1980)
PERÍMETRO		CHRISTOFOLETTI (1980)

Inicialmente foi realizada a vetorização de curvas de nível, a partir de cartas topográficas de escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros. A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada de modo automático, e as distorções geradas nesse processo foram corrigidas manualmente, tomando por base a disposição das curvas de nível nas cartas. Logo após esse processo foi realizado o cálculo da área e do perímetro da bacia. As drenagens foram extraídas de modo manual, com base nas curvas de nível.

Os índices morfométricos selecionados para o estudo estão descritos na Tabela 1.

Relevo

A classificação das formas do relevo partiu das informações altimétricas obtidas a partir das curvas de nível vetorizadas nas cartas topográficas e das observações de campo. Desse modo, as áreas onde as cotas altimétricas estavam acima de 45 metros foram definidas com tabuleiros costeiros. Essas áreas circundam toda a área de bacia, apresentando poucas variações e alcançando no máximo 55 metros. A delimitação das vertentes baseou-se na variação altimétrica entre 25 e 45 metros. Foi considerada também a distância entre as curvas de nível, que em alguns pontos encontram-se bastante próximas, denotando uma vertente bastante íngreme e, em outros pontos encontram-se relativamente afastadas, denotando uma vertente suave, pouco inclinada. A planície

fluvial foi definida a partir dos dados de declividade e da variação altimétrica entre 5 a 25 metros, uma vez que no alto curso fluvial, essa forma do relevo ocorre a 25 metros, porém, no baixo curso, chega à cota de 5 metros.

Declividade

O mapa de declividade foi elaborado com base no Modelo Numérico do Terreno (MNT) que, por sua vez, foi elaborado com base nas curvas de nível extraídas das cartas topográficas, em ambiente SIG. Foram definidas seis (06) classes de declividade, como base em Valladares et al., (2007) na Tabela 2.

Tabela 2: Classes de declividade. Fonte: Valladares et al., (2007).

Nome da Classe	Declividade (%)
Plano	0-3
Suave ondulado	3-8
Moderadamente ondulado	8-13
Ondulado	13-20
Forte ondulado	20-45
Montanhoso ou escarpado	>45

Perfil Longitudinal

A definição do perfil longitudinal foi realizada a partir da criação de um traçado sobre as curvas de nível que cruzam ao canal principal. Esse traçado considerou as cotas altimétricas das curvas de nível que cortam o leito fluvial. Desse modo foi possível observar o declive apresentado pelo rio Jaguaribe em toda a sua extensão.

Uso da terra

O mapeamento do uso e ocupação da terra foi realizado a partir da aplicação da classificação supervisionada de imagem de satélite referente ao ano de 2013. Para a classificação da imagem foram criadas cinco classes de uso: água; vegetação nativa; vegetação secundária; urbanização e; urbanização/solo exposto, como formas de ocupação da terra.

Resultados e discussão

Os dados obtidos a partir da análise morfométrica da bacia do rio Jaguaribe indicam que a drenagem é caracterizada como padrão dentrítico, formando em alguns casos ângulos retos, o que indica a atuação de fenômenos tectônicos, como ocorre na confluência do rio Jaguaribe e o rio Timbó.

A classificação hierárquica apresenta 29 canais de 1ª ordem, 3 canais de 2ª ordem e 2 canais de 3ª ordem. A baixa ordenação dos canais fluviais indica um relevo pouco dissecado, relativamente plano, de baixa densidade de drenagem. A referida bacia hidrográfica apresenta pequena extensão territorial, representando 37,30 Km² de área total, e 37,75 Km de perímetro.

A densidade de drenagem, segundo Cardoso et al. (2006), indica a eficiência da drenagem de uma bacia hidrográfica, representando a velocidade aproximada que a água escoar na bacia. Esse índice considera a relação entre o comprimento total dos canais de escoamento e a área da bacia, podendo variar de 0,5 Km/Km² numa bacia de drenagem pobre, até 3,5 Km/Km² ou mais em bacias bem drenadas (Villela e Mattos, 1975).

Para a bacia do rio Jaguaribe, o valor encontrado foi de 0,93, o que indica baixa densidade de drenagem, característica de uma área sedimentar, de relevo relativamente plano, pouco ondulado, o que favorece uma maior capacidade de infiltração da água no solo e a consequente diminuição do escoamento superficial. Para Granell-Pérez (2001), uma baixa densidade de drenagem, dentre outros fatores, é indicadora de um relevo suave.

Figura 2: Hierarquia fluvial da bacia do rio Jaguaribe.

Apesar da área em questão apresentar altos índices pluviométricos, aproximadamente 1800 mm anuais, as características geológico geomorfológicas indicam a possibilidade de serem mais determinantes à ocorrência de baixa densidade de drenagem. No entanto, a situação acima descrita torna-se relevante apenas num contexto natural da bacia. Mediante o processo de urbanização, essa dinâmica será amplamente alterada. Considerando a densidade de drenagem como um índice indicador da capacidade de

escoamento de uma bacia hidrográfica, estabelecido a partir de relação entre o comprimento dos canais de drenagem e a área da bacia, é possível afirmar que a veracidade do seu resultado estará comprometida, pois, este índice não considera a influência da área impermeabilizada sobre o ciclo hidrológico. Sendo assim, no contexto de uma bacia hidrográfica urbana, o cálculo desse índice figura apenas como um indicador das características físicas e naturais da bacia em apreço.

Tabela 3: Dados morfométricos da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe

Parâmetro	Valor obtido
Índice de circularidade	0,3290
Fator forma	0,5828
Coefficiente de compacidade	1,7327
Densidade de drenagem	0,9305
Ordem da bacia	3
Área da bacia	37,30 Km ²
Perímetro	37,75 Km

O valor obtido referente ao fator forma foi 0,5828, o que confere à bacia do rio Jaguaribe um formato alongado e pouco largo, próximo à forma de um retângulo. Esse formato indica a influência tectônica na dinâmica fluvial da referida bacia e a coloca numa situação de baixa probabilidade de ocorrência de enchentes. O fator forma é o índice que relaciona a forma da bacia com um retângulo, estabelecendo a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, podendo ser influenciada, principalmente pela geologia (Cardoso et al., 2006). O fator forma baixo indica baixa probabilidade à ocorrência de enchentes.

No caso do coeficiente de compacidade, valores significativamente superiores a 1, indicam uma bacia menos suscetível a enchentes. De modo inverso, quanto mais próximo a 1 for o valor referente a esse índice, mais circular será a bacia, tornando-a mais suscetível a ocorrência de enchentes, uma vez que bacias mais circulares tendem a concentrar maior fluxo em um único ponto (Cardoso et al., 2006). Para a área de estudo, o valor encontrado foi 1,7327, indicando uma bacia irregular e alongada, portanto, menos propensa a ocorrência de enchentes.

Assim como o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende a se aproximar da unidade 1 quanto mais circular for a bacia, e diminui à medida que se torna mais retangular (Cardoso et al., 2006). Para a bacia do rio Jaguaribe, foi encontrado o valor 0,3290, que

indica uma bacia retangular, logo, apresenta baixa probabilidade à ocorrência de enchentes.

Tomando por base as características morfométricas indicadas pelos índices selecionados para esse estudo, verifica-se que a bacia do rio Jaguaribe não apresenta suscetibilidade

à ocorrência de enchentes e inundações. No entanto, observa-se, sobretudo no período de atuação de eventos pluviométricos de alta magnitude, a ocorrência de tais fenômenos. Desse modo, é necessário analisar outros aspectos naturais e antrópicos que caracterizam a bacia, que possibilitem averiguar as situações de risco e os elementos deflagradores.

O perfil longitudinal do rio Jaguaribe demonstra que a variação de altitude apresentada pelo canal principal varia apenas entre 25m na cabeceira a até 5m no seu exutório, apresentando-se relativamente plano em todo o seu curso, com poucas variações do nível de base. Essa característica ocorre com maior evidência a partir do canal principal de 3º ordem até o momento em que desemboca, caracterizando uma drenagem de fluxo laminar. É exatamente sobre esse trecho, onde está localizado o bairro São José que ocorrem os maiores casos de enchentes na bacia do rio Jaguaribe, visto que esse canal recebe águas de todos os demais canais de drenagem da bacia. Esses dados atestam quão suave se apresenta o relevo na bacia, constituindo um fator importante para explicar a ocorrência de enchentes.

Figura 3: Perfil Longitudinal do rio Jaguaribe. Fonte: Organizado pelos autores.

A declividade na bacia do rio Jaguaribe apresenta-se, em geral, de modo suavizado, sendo mais expressiva nas seguintes áreas: nas bordas dos tabuleiros costeiros, onde são dissecados pelos vales fluviais; nas falésias inativas que se limitam com a planície costeira, no baixo curso fluvial, onde está localizado o bairro São José; bem como na cabeceira do rio Timbó, onde está localizada a comunidade do Timbó.

Com base na tabela 4 e no mapa de declividade, predomina a classe de declividade “plano”, evidenciando a baixa energia do relevo e o predomínio de um relevo plano, pouco ondulado, com declividade média variando entre 0 e 8% em mais da metade da área da bacia. A classe que varia entre 8 e 20% é representada por rampas suaves que intercedem o topo dos tabuleiros e as vertentes mais íngremes.

Figura 4: Mapa de declividade da bacia do rio Jaguaribe.

Tabela 4 - Classes de declividade da Bacia do rio Jaguaribe.

CLASSE DE DECLIVIDADE	PERCENTUAL %
Plano	75,5
Suave ondulado	14,5
Moderadamente ondulado	5,8
Ondulado	2,7
Forte ondulado	1,5
Montanhoso ou escarpado	0,05
TOTAL	100

Outro aspecto importante a ser considerado é o modo como ocorre o uso e ocupação da terra. A classificação de uma imagem de satélite referente a área onde está localizada a bacia do rio Jaguaribe (Figura 6) demonstra que há o predomínio de áreas urbanizadas que, nesse caso se refere as áreas onde

há um forte processo de impermeabilização do solo. Outro tipo de cobertura do solo são as porções da bacia que se encontram em “estágio inicial e intermediário de urbanização”. Esse tipo de ocupação ocorre tanto na porção leste da bacia, onde ocorre atualmente a abertura de novos

loteamentos, como também nas áreas de urbanização desordenada, formando núcleos habitacionais de baixo padrão ao longo das margens fluviais e das vertentes.

Conforme Sobreira (2006), entre os anos de 1974 e 1998 a área urbanizada na bacia cresceu

entorno de 51,81%. Atualmente, verificamos que conforme a classificação realizada, a área urbanizada equivale a 79% da área total da bacia, considerando as classes “Urbanização e Urbanização/solo exposto”.

Figura 5: Mapa dos tipos de cobertura da terra

Figura 6: Área urbanizada do município de João Pessoa no período de 1974 a 1998. Fonte: Sobreira (2006)

A *vegetação nativa* é representada pelos resquícios de Mata Atlântica presente na cidade de João Pessoa, estando sua maior área de ocorrência

exatamente inserida entre os limites da bacia do rio Jaguaribe, dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão.

Classe de uso	Área em Km ²	Porcentagem
Vegetação Nativa	3.924	10,9
Vegetação Secundária	3.250	9,0
Urbanização/Solo exposto	10.230	28,0
Água	0.368	1,1
Urbanização	18.258	51,0
Área total das classes	36.031	100%

Tabela 5: Área total e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra.

A distinção do modo de ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe pode ser realizada de modo associado à divisão das unidades do relevo. Tal procedimento se apresenta como um modo de compreensão de processos geomorfológicos relacionados a diferentes tipos de ocupação, bem como representa um importante fator para a elucidação de situações de risco. A ocupação urbana na bacia se dá de modo heterogêneo, ocorrendo áreas de alto e médio padrão imobiliário e valor comercial, e áreas de baixo padrão.

As áreas de alto e médio padrão imobiliário ocorrem, predominantemente, no topo dos tabuleiros, onde predomina forte processo de impermeabilização do solo. Nesse contexto, a infiltração da água no solo é demasiadamente reduzida, resultando no aumento do escoamento superficial e, por conseguinte, na ativação de processos erosivos. A pavimentação nas vias, apenas na porção interfluvial, localizada entre os divisores de águas e a porção somital da vertente favorece a ocorrência de processos erosivos e provoca o consequente assoreamento dos canais fluviais. O escoamento superficial é potencializado pela redução quase total da infiltração, aumentando o poder erosivo das águas pluviais que entram em contato com o solo desnudo nas vertentes, o que resulta na formação de diversas feições erosivas lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas, gerando uma maior carga sedimentar na calha fluvial.

Figura 6: feição erosiva em encosta do rio Jaguaribe. Fonte: Vital et al (2016).

Outro modo de ocupação da terra encontrada na bacia do rio Jaguaribe são as habitações subnormais, de baixo padrão imobiliário, inseridas nas bordas dos tabuleiros, nas encostas e na planície fluvial, que se caracteriza por ser um tipo de ocupação que normalmente apresenta infraestrutura inadequada, marcada pela construção de sistemas de drenagem clandestinos, lançamentos de esgotos e efluentes, bem como a construção de fossas negras. Essa situação favorece

a formação de pequenas incisões erosivas lineares no solo, como sulcos e ravinas, e até de incisões profundas e amplas como as voçorocas, o que resulta no aumento da carga de sedimentos carregada para a calha fluvial e o consequente assoreamento destas.

Na (tabela 6) estão descritas as comunidades localizadas na bacia do rio Jaguaribe vulneráveis ao risco de enchentes e inundação. Esse tipo de habitação se enquadra como subnormal de baixo padrão, como descrito anteriormente. É importante observar que a ocorrência de tais fenômenos não se restringe ao baixo curso fluvial, onde o rio apresenta baixo

poder erosivo e fluxo laminar, mas está suscetível a ocorrer em toda a extensão da bacia.

O risco de enchentes e inundação está relacionado a dois aspectos: construção de residências na planície fluvial, onde ocorrem as cheias sazonais do rio, no período de maior pluviosidade, e como resultado do processo de impermeabilização do solo, alterando o ciclo hidrológico e acentuando a erosão das margens fluviais e o consequente assoreamento da calha fluvial. Tais aspectos ganham maior representatividade no período mais chuvoso na área, notadamente os meses de junho, julho e agosto.

Comunidade	Quantidade de residências
Comunidade São José (Baixo curso fluvial)	438
Comunidade Tito Silva (Médio Curso Fluvial)	64
Comunidade São Rafael (Médio Curso Fluvial)	128
Comunidade Santa Clara (Médio Curso Fluvial)	67
Comunidade Padre Hildon Bandeira (Médio Curso Fluvial)	86
Comunidade Jardim Guaíba (Alto Curso Fluvial)	15
Total de residências vulneráveis ao risco de enchentes	798

Tabela 6: comunidades localizadas na bacia do rio Jaguaribe vulneráveis ao risco de enchentes e inundação. Fonte: Defesa Civil João Pessoa.

Dados climáticos referentes ao ano de 2013 foram destacados nessa pesquisa como uma forma de representação dos fenômenos abordados. Nesse mesmo ano, foi observada a ocorrência de casos de enchentes e inundações em toda a bacia do rio Jaguaribe, desde o alto até baixo curso fluvial,

predominantemente no mês de junho, que por sua vez representa o período de maior pluviosidade, alcançando 421,3 mm em todo o mês, segundo a AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba).

Figura 7: Inundação na bacia do rio Jaguaribe ocorrida entre os dias 01 e 03 de julho de 2013. a) Comunidade São José, baixo curso fluvial; b) Comunidade Tito Silva, médio curso fluvial; c) Comunidade Jardim Guaíba, alto curso fluvial. Fonte: Defesa Civil João Pessoa

Para além da ocupação do leito fluvial, o evento descrito acima deixou evidente que o risco de enchentes na referida bacia hidrográfica está relacionado também ao processo de assoreamento do canal fluvial, que por sua vez é resultado do desencadeamento de processo geomorfológicos a partir do modo como ocorre o uso da terra. Esse fator torna-se preponderante para que haja o extravasamento das águas fluviais para além do canal, principalmente no período de maior pluviosidade.

Portanto, os eventos de enchentes e inundações que ocorre na bacia do Jaguaribe estão relacionados aos efeitos consequentes das ações humanas sobre esse espaço, representadas pela impermeabilização do solo, pela ocupação desordenada e irregular de residências e pela retirada de vegetação ao longo das margens fluviais. Somasse a esses fatores à baixa variação altimétrica apresentada pelo canal fluvial principal, revelada pelo perfil longitudinal, resultando na geração de situações de risco.

Conclusões

O cenário construído na análise morfométrica de bacias hidrográficas tem apenas o caráter descritivo das características físico-naturais da área estudada, no intuito de compreender a dinâmica natural que a forma. A compreensão dos problemas ambientais abordados nessa pesquisa, notadamente as situações de riscos, exige também uma descrição das ações antrópicas sobre a natureza. O estudo morfométrico, por si só, não responde a todas as indagações referentes às situações de risco, uma vez que alguns aspectos são negligenciados, pois não são considerados os fatores humanos, como a forma de uso e ocupação da terra, que altera a configuração da dinâmica natural na bacia, seja numa dimensão rural agrícola, seja no contexto urbano.

A caracterização física da bacia do rio Jaguaribe a coloca numa situação de baixa probabilidade a ocorrência enchentes, tanto no que se refere a baixa ordenação dos canais fluviais, alcançando apenas a terceira ordem, quanto a baixa densidade de drenagem e a forma alongada e estreita da bacia, que favorecem uma melhor distribuição da pluviosidade, não concentrando a convergência do fluxo para um único ponto, indicando uma bacia com pouca vocação a enchentes.

Os fatores geradores de situações de risco de enchentes e inundações estão relacionados à associação das características do relevo aos eventos pluviométricos de alta magnitude; aos processos

erosivos, principalmente na porção interfluvial; ao assoreamento dos canais fluviais; e a impermeabilização do solo em quase toda a extensão da bacia.

Agradecimentos

Agradecemos a defesa civil de João Pessoa por disponibilizar os dados necessários para o desenvolvimento do trabalho e pelo apoio nas atividades de campo.

Referências

- Barbosa, J. A., Lima-Filho, M., 2005. Os domínios da Bacia da Paraíba. In: Anais do Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 3, Salvador, Anais em CD-ROM.
- Barbosa, J. A., 2007. A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos. Tese (Doutorado). Recife, UFPE.
- Braun, P. D. K., 2013. Proposta metodológica de análise para a gestão de bacias hidrográficas sujeitas a inundações. Tese (Doutorado). Florianópolis, UFSC.
- Bravo, J.V.M.; Santil, F.L.P., 2013. Avaliação dos índices morfométricos de informações extraídas de cartas topográficas e implicações para a leitura do risco a enchentes. Revista Brasileira de Cartografia. 65, 939 -949.
- Cardoso, C. A. DIAS, H. C. T. Soares, C. P. B. Martins, S. V., 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore 30, 241-248.
- Christofolletti, A., 1980. Geomorfologia. 2.ª edição. Edgard Blücher, São Paulo.
- COMPDEC. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil, 2014. Acervo Fotográfico da Instituição. João Pessoa.
- Feltran Filho, A.; Lima, E. F., 2007. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha – Minas Gerais. Sociedade & Natureza 19, 65-80.
- Furrier, M., Araújo, M. E., Meneses, L. F., 2006. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. Revista do Instituto de Geociências – USP 6, 2, 61-70.

- Granell-Pérez, M. C., 2001. *Trabalhando Geografia com as cartas topográficas*, 1º Edição. Editora Unijuí, Ijuí.
- Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysycal approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370.
- Leite, M. E. Almeida, L. W. L. Silva, R. F., 2012. Geotecnologias aplicadas à extração automática de dados morfométricos da bacia do rio Pacuí/MG. *Revista Brasileira de Cartografia*. 64/5: 677 – 691.
- Lima, W. P., 1996. *Introdução ao manejo de bacias hidrográficas*, 1º Edição. Editora IPEF, São Paulo.
- Menezes, J. P. C. Franco, C. S. Oliveira, L. F. C. Bittencourt, R. P. Farias, M. S. Fia, R., 2014. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma micro bacia urbana. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 15, 659-672.
- Monteiro, K. A. M. Barros, A. C. M. Melo, R. F. T. Ramos, D. A. M. C. Nóbrega, R. S. Girão, O., 2014. Parâmetros morfométricos aplicados à bacia do rio Una (Pernambuco – Brasil) para identificar susceptibilidade a enchentes. *Revista Geográfica de América Central* 52, 163-177.
- Oliveira, P. T. S. Sobrinho, T. A. Steffen, J. L. Rodrigues, D. B. B., 2010. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 819-825.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas, 2013. *Dados pluviométricos do Estado da Paraíba*, João Pessoa.
- Santos, D. A. R. Morais, F., 2012. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Lago Verde como subsídio á compartimentação do relevo da região de Lagoa da confusão – TO. *Revista Geonorte, Edição Especial*, 3, 617-629.
- Silva, D. G. Melo, R. F. T. Corrêa, A. C. B., 2009. A influência da densidade de drenagem na interpretação da evolução geomorfológica do complexo de tanques do município de Brejo de madre de Deus – Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia UFPE* 26, 294-306.
- Sobreira, L. C., 2006. Áreas susceptíveis a inundações na Baía do Rio Jaguaribe – PB. Monografia (Graduação). João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *New Halen: Transactions. American Geophysical Union* 38, 913-920.
- Valladares, G. S. Quartaroli, C. F. Hott, M. C. Miranda, E. E. Nunes, R. S. Kepcler, D. Lima, G. P., Embrapa, 2007. *Mapeamento da aptidão agrícola das terras do estado do Maranhão*. Disponível: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/470579>. Acesso: 19 de dezembro de 2015
- Villela, S.M.; Mattos, A., 1975. *Hidrologia aplicada*, 1º Edição. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- Vital, S. R. O.; Ferreira, B. Girão, O. Santos, C. L. Nunes, F. C.; Silveira, T. A., 2016. Base cartográfica digital como instrumento para a identificação de áreas suscetíveis à erosão e movimentos de massa em João Pessoa (PB), Brasil. *Revista Geográfica de América Central* 2, 261 - 287.