Revista Brasileira de Geografia Física

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

Manejo de Bacias Hidrográficas e sua influência sobre os Recursos Hídricos: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Rio Benfica, Região Metropolitana de Belém/PA

Claudio Santos da Silva Filho¹; Suzana Romeiro Araújo²; Silvana do Socorro Veloso Sodré³; Joyse Tatiane Souza dos Santos⁴

¹Engenheiro Ambiental e de Energias Renováveis, pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém/PA, Brasil. Email: claudio-gg@hotmail.com (Autor correspondente). ²Profª Doutora da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém/PA, Brasil. Email: suzana.araujo@ufra.edu.br. ³Profª Doutora da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém/PA, Brasil. Email: silvana.veloso@ufra.edu.br. ⁴Doutora em Ciências Ambientais, pela Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém/PA, Brasil. Email: joysetaty@hotmail.com.

Artigo recebido em 25/10/2020 e aceito em 25/04/2021

RESUMO

Bacias hidrográficas são unidades de estudo para o gerenciamento dos recursos hídricos, bem como para o planejamento adequado de diferentes usos e ocupação do solo. A Bacia Hidrográfica do Rio Benfica - BHRB, localizada na Região Metropolitana de Belém (RMB), apresenta uma urbanização desordenada às margens dos cursos d'água, suprimindo áreas verdes e potencializando processos erosivos e o assoreamento de rios. Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de diferentes usos e ocupação do solo associados à declividade e ao escoamento superficial sobre os recursos hídricos da BHRB, através de técnicas de geoprocessamento. Imagens e arquivos vetoriais disponibilizados por diferentes Instituições foram obtidos e processados no software ArcGis versão 10.1. Os resultados demonstraram que a área da BHRB é predominantemente urbanizada e plana e, a maioria das direções de fluxo do escoamento superficial convergem para a sua foz (sentido Norte-Noroeste). Os índices físicos apontam que a bacia apresenta tendência a enchentes e suscetibilidade a inundações. Verificou-se também, com a composição uso do solo, declividade e escoamento superficial que, sobre as áreas urbanizadas há o predomínio de pontos de concentração do fluxo de escoamento, nos quais há ocorrência de inundação. Mediante os resultados, verificou-se necessidade da reconstituição de áreas verdes e da criação e implementação de um Plano de Recursos Hídricos (PRH) para a bacia estudada. Faz-se necessária a implementação de políticas públicas voltadas para o saneamento básico e fiscalização das áreas de preservação ambiental na área da BHRB. Palavras-chave: Geoprocessamento. Características morfométricas. Uso e ocupação do solo. Hidrologia.

Management of Hydrographic Basins and their influence on Water Resources: Case Study in the Hydrographic Basin of the Benfica River, Metropolitan Region of Belém/PA

ABSTRACT

River basins are study units for the management of water resources, as well as for the proper planning of different land uses and occupations. The Benfica River Basin - BRB, located in the Metropolitan Region of Belém (MRB), Pará, Brazil, has a disorderly urbanization on the banks of the watercourses, suppressing green areas and intensifying erosive processes and siltation of rivers. The objective of this study was to evaluate the influence of different land uses and occupations associated with slope and surface runoff on the water resources of BRB through geoprocessing techniques. Vector images and files made available by different institutions were obtained and processed in ArcGis software version 10.1. The results showed that the BRB area is predominantly urbanized and flat, and most surface runoff directions converge to its mouth (North-Northwest direction). The physical indices indicate that the basin is prone to flood and susceptible to inundation. It was also verified with the composition of land use, slope and surface runoff that, over urbanized areas, there is a predominance of points of flow concentration, where flooding occurs. The results pointed to the need for reconstitution of green areas and creation and implementation of a Water Resources Plan (WRP) for the studied basin. It is necessary to implement public policies aimed at basic sanitation and supervision of environmental preservation areas in the BRB area. Keywords: Geoprocessing. Morphometric characteristics. Land use and occupation. Hydrology.

Introdução

A importância do estudo de bacias hidrográficas está na busca constante do equilíbrio entre a exploração dos recursos naturais e a sustentabilidade do meio ambiente (Vasco et al., 2011; Alves et al., 2016). Uma das formas mais comuns de estudos em bacias hidrográficas ocorre por meio de caracterização ambiental, como os diferentes usos e ocupação do solo e morfometria (Barbosa e Furrier, 2012; Benatti et al., 2015; Gonçalves et al., 2015; Almeida, Bayer e Júnior, 2016; Alves et al., 2016).

No Brasil, a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece em seu Art. 1º que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997). Diante disso, a bacia hidrográfica torna-se unidade de estudo para o gerenciamento dos recursos hídricos, bem como para o planejamento adequado de diferentes usos e ocupação do solo, visto a necessidade de acesso à água (Tucci, 2005; Tundisi, 2006; Erol e Randhir, 2013; Silva e Medeiros, 2017).

Para a realização da caracterização física de uma bacia hidrográfica, tem sido utilizado o uso de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto, através de imagens de satélite tornando-se possível elaborar mapas que permitem avaliar e diagnosticar alterações na bacia (Gonçalves et al., 2015; Almeida, Bayer e Júnior, 2016). De fato, o estudo de bacias hidrográficas através de suas características físicas permite identificar áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais, interferência antrópica e a dinâmica da evolução natural da paisagem (Barbosa e Furrier, 2012).

Dentre as características nos estudos de bacias hidrográficas destaca-se a classificação dos diferentes usos e ocupação do solo em sua área de abrangência. As ações antrópicas como o desmatamento, manejo inadequado de áreas de pastagem, agricultura e crescimento urbano desordenado modificam as condições da bacia hidrográfica, tais como o escoamento superficial, a infiltração e a evapotranspiração, podendo resultar em inundações, erosões, alta carga de transporte de sedimentos e eutrofização dos cursos d'água. (Fengler et al., 2015; Agaton, Setiawan e Effendi, 2016; Leal e Tonello, 2016; Silva e Medeiros, 2017).

A Bacia Hidrográfica do Rio Benfica - BHRB, objeto deste estudo, está inserida na Região Metropolitana de Belém (RMB), estado do Pará. O estado do Pará possui desde 2001 uma Política

Estadual de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Estadual Nº 6.381 de 25 de julho de 2001 (PARÁ, 2001). Entretanto, a ausência de um Comitê de Bacias para o Estado desfavorece a criação de planos para a gestão dos recursos hídricos. O rio Benfica, é considerado um dos mais importantes da RMB, devido ao seu potencial turístico, hidroviário e ter potencialidade de uso para abastecimento público (SETUR, 2012; Júnior, Azevedo e Oliveira, 2013), evidenciando a necessidade de práticas de manejo adequada para a sua conservação.

Devido à inexistência de planejamento, a urbanização acelerada e desordenada avança sobre uma considerável área da BHRB, suprimindo áreas verdes e as margens de seus recursos hídricos, potencializando processos erosivos e assoreamentos dos rios. Além disso, a precariedade de um sistema de esgotamento sanitário prevaiente na área da bacia (Paungarten, Bordalo e Lima, 2015), tornam os canais de drenagem alvos do indevido lançamento de efluentes, que podem causar a depreciação da qualidade das águas.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de diferentes usos e ocupação do solo, associada à declividade e ao escoamento superficial, sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Benfica, através de técnicas de geoprocessamento, que possibilitem diagnosticar e propor práticas ambientais adequadas para o manejo dessa bacia.

Material e métodos

Localização da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Benfica (BHRB), localizada na Região Metropolitana de Belém – RMB, no estado do Pará, entre 01°17'22.71" e 01°24'24.14" de latitude sul, e 48°23'15.42" e 48°13'44.76" de longitude oeste, abrangendo parte dos municípios de Benevides (50,34 %), Marituba (38,67 %), Ananindeua (10,96 %) e Belém (0,03 %) (Figura 1). É cortada pelas principais vias de acesso a RMB, BR316 e PA483 (Alça Viária). A área da BHRB é de aproximadamente 129,39 km², seu curso d'água principal (Rio Benfica) possui 17,62 km de extensão e, sua foz está localizada a leste do município de Ananindeua.

Paungarten, Bordalo e Lima (2015) descrevem que a área da BHRB possui um total de 260 setores censitários contendo 66.433 domicílios particulares permanentes, distribuídos em áreas urbanas e rurais dentro dos municípios Marituba, Ananindeua e Benevides. Do total de 260 setores, 110 estão localizados em Marituba, 106 em

Ananindeua e 44 em Benevides. Deste total, 19 são considerados rurais, sendo 15 localizados no município de Benevides, onde ainda predomina a agricultura familiar, pecuária e pesca como atividades de subsistência.

Quanto aos setores urbanos, os municípios de Marituba e Ananindeua destacam-se por apresentar 107 (41,15 %) e 105 (40,38 %) setores urbanos, respectivamente. Os autores ainda

destacam que, do número total de domicílios permanentes ocupados, ainda são abastecidos por poços ou nascentes ou por outras fontes na propriedade, que não sejam pela rede geral de abastecimento de água, 42.575 de 66.433, ou seja, 64,8% dos domicílios. Quanto ao acesso à rede geral de esgoto ou água pluvial, dos 66.433 domicílios, somente 4.346 (6,54 %) tem acesso.

Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica – BHRB.

Características físicas

A seguir, apresenta-se de forma breve a caracterização dos aspectos físicos da BHRB, tais como o clima, hidrografia, geologia, geomorfologia e pedologia.

Para o desenvolvimento da análise climática, foram utilizados dados climatológicos de precipitação e temperatura obtidos da estação Belém-PA 82191 (Lat.: -1,43; Long.: -48,43) operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O clima da RMB segundo a classificação de Köppen foi identificado como sendo do tipo A (tropical chuvoso, sem inverno, megatérmico com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C), pertence à categoria climática do tipo Af, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm (Alvares et al., 2013).

A distribuição de chuva na região é definida pelo período chuvoso, que vai do mês de dezembro até maio, com precipitações acima de

250 mm, com máximas precipitações nos meses de fevereiro, março e abril (trimestre chuvoso). Enquanto que, o período menos chuvoso estende-se de junho a novembro com valores mínimos registrados no mês de setembro, ficando abaixo de 200 mm. Cabe ressaltar que o trimestre de recessão na região ocorre nos meses de agosto, setembro e outubro, com chuvas abaixo de 150 mm (Figura 2a) (INMET, 2018).

A temperatura do ar, na área em estudo, apresenta pequenas amplitudes ao longo do ano, com temperatura média anual (TMd) em torno de 26,7 °C, as temperaturas máximas (TMx) ficam em torno de 32,1 °C com máximos valores no mês de setembro e novembro (acima de 33 °C). As temperaturas mínimas (TMn) apresentam uma média de 23 °C ao longo do ano, os mínimos valores ocorrem nos meses de setembro e outubro próximos a 22 °C (Figura 2b) (INMET, 2018).

Figura 2. Média da Precipitação Pluviométrica (a) e Temperatura (b), da Região Metropolitana de Belém, referente ao período de 1987 a 2017.

Fonte: INMET (2018).

A caracterização da rede hidrográfica da BHRB foi realizada com base nos dados vetoriais da Carta Topográfica Vetorial de Belém, SA-22-X-D-III, na escala 1:100.000, disponibilizados pelo Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx). De acordo com a hidrografia disponível na carta, a bacia hidrográfica em estudo, apresenta como rio principal o corpo d'água denominado Rio Benfica, que possui como afluentes, o Rio Mocajutuba, o Rio Uruboca, o Igarapé Santo Amaro e o Igarapé Itapecuru (BDGEx, 2018).

A foz da BHRB desagua no Rio Maguari, tornando a bacia em estudo uma sub-bacia que abastece um complexo hídrico denominado "Furo do Maguari", sendo este, parte integrante da Baía do Guajará.

Para caracterização geológica da BHRB, utilizou-se do Mapa Geológico do estudo "Geologia e Recursos Minerais da Folha Belém SA.22-XD-III", elaborado em escala de 1:100.000, no ano de 2011, pertencente ao Programa Geologia do Brasil (PGB), executado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. De acordo com a classificação presente no Mapa, a área de estudo é composta pelo Grupo Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e Depósitos Argilosos Flúvio Marinhos (CPRM, 2011).

O Grupo Barreiras é constituído por sedimentos de características argilosas, arenosas e conglomeráticos, apresentando, em baixa expressão, areníticos ferruginos e material fóssil de origem animal e vegetal (CPRM, 2002). Os litotipos pertencentes a este Grupo, tendem a formar terrenos colinosos, com cotas inferiores a 50 metros, e vales abertos (CPRM, 2011).

Os Sedimentos Pós-Barreiras incidem em sedimentos amarelados inconsolidados, compostos predominantemente de grãos muito finos de quartzo (areia), esbranquiçados, que se sobrepõem às camadas do Grupo Barreiras. Esta formação dos grãos é resultado do processo de lixiviação dos sedimentos amarelados, através da retirada das frações siltico-argilosas, carregadas com óxi-

hidróxidos de ferro, que lhe atribui a cor amarelada (CPRM, 2011).

Os Depósitos Argilosos Flúvio Marinhos encontram-se em contatos erosivos com falésias inativas do Grupo Barreiras ou com os Sedimentos Pós Barreiras (CPRM, 2011). Os depósitos consistem em sedimentos incoesos, lamosos, silticos argilosos compostos de fragmentos vegetais, impregnação de matéria orgânica fina e camada de turfa, dispostos nas planícies de inundações dos corpos hídricos que formam o sistema estuarino, e que sofrem influência de marés (CPRM, 2011).

A Geomorfologia da BHRB foi obtida através de dados vetoriais na escala de 1:250.000, retirados da base de dados disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em sua plataforma Geociências. De acordo com o IBGE, os domínios morfoestruturais presentes na bacia são: Litoral de mangues e rias e Tabuleiro paraense.

O Litoral de mangues e rias compreende as áreas de baixo relevo (planícies) e terraços de baixa declividade e, por ventura, depressões sobre depósitos de sedimentos de ambientes fluviais, marinhos, fluviomarinhos, lagunares e/ou eólicos, localizados no interior do continente ou na zona costeira (IBGE, 2009).

Já o Tabuleiro Paraense, envolve os Planaltos e chapadas, manifestados sobre rochas sedimentares horizontais a sub-horizontais, ocasionalmente dobradas e/ou falhadas, em locais de sedimentação diversos, encontrados no interior do continente e/ou nas bordas continentais (IBGE, 2009).

Para a obtenção da caracterização das classes de solo presentes na BHRB, utilizou-se da base de dados do IBGE, na escala 1:250.000, disponível na plataforma Geociências. De acordo com o Instituto, a área de estudo é predominada por três classes de solo, sendo: Latossolo Amarelo Distrófico; Gleissolo Háptico Tb Distrófico e; Plintossolo Pétrico Concrecionário.

No que diz respeito aos solos do tipo Latossolo Amarelo Distróficos, a coloração amarelada é em função dos constituintes minerais, como óxidos e hidróxidos de ferro, regimes hídricos e drenagem do solo, que varia de fortemente a bem drenados. São encontrados principalmente em locais de relevo plano e suave ondulado, podendo ocorrer em relevo montanhoso, áreas acidentadas, superfícies de erosão amplas e antigas, pedimentos ou terraços fluviais antigos, desenvolvendo-se em regiões equatoriais, tropicais e zonas subtropicais com menor frequência (EMBRAPA, 2014).

Os solos do tipo Gleissolo Háptico Tb Distrófico solos formados, comumente, em sedimentos próximos a cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições hidromórficas, em áreas de relevo plano ou depressões. Devido à proximidade de corpos hídricos, encontram-se periódica ou permanentemente saturados por água, isso faz com que haja a manifestação de cores acizentadas, azuladas ou esverdeadas, em consequência da redução e solubilização do ferro presente, permitindo o aparecimento de cores neutras dos minerais de argila ou a precipitação de compostos ferrosos. Em condições naturais, são solos mal drenados (EMBRAPA, 2014).

Quanto aos solos classificados como Plintossolo Pétrico Concrecionário, estes são caracterizados pela presença do horizonte B textural coincidente com o horizonte concrecionário. Acima deste horizonte, apresentam material de cor pálida com ou sem a presença de mosqueados de coloração alarajanda a vermelha, permitindo sua identificação. Outra característica predominante, é que apresentam alto teor de acidez, com baixo V% e baixa atividade da fração argila. Desenvolvem-se em áreas com relevo plano ou suave ondulado e apresentam relativamente boa capacidade de drenagem (EMBRAPA, 2014).

Processamento de dados

O Sistema de Informação Geográfica utilizado para o tratamento dos dados foi o software ArcGis versão 10.1, o qual é capaz de suportar grande volume de informações, integrando numa só estrutura, dados vetoriais (mapas), dados matriciais ou “raster” (geralmente imagens de satélite ou fotos) e dados tabulares (tabelas). Todos os mapas foram gerados no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando o Datum SIRGAS 2000, Zona 22S, exceto o de localização, que foi elaborado no sistema de coordenadas geográficas.

Para a caracterização topográfica da BHRB, os dados foram obtidos da plataforma

digital da Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa), a partir de imagem raster, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), em formato GEOTIFF (16 bits), com resolução espacial de 90 metros e sistema de coordenadas geográfica Datum WGS-84.

Posteriormente, com o uso do software supracitado, através da ferramenta contour, foram extraídas as curvas de nível com equidistância de 5 m. A partir destas e da ferramenta creat TIN, foi possível gerar o Mapa de Altimetria/Modelo Digital de Elevação (MDE), onde foi delimitado o limite da BHRB a partir da seção fluvial do exutório (ponto de cota mais baixa), seguindo pelas cotas mais elevadas do terreno (divisores de água).

Para a realização da análise de Declividade, foi utilizada a imagem Raster e através das ferramentas conversion, slope e reclassify, obteve-se o mapa de declividade com as suas respectivas classes de relevo, classificadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2014) (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de declividade.

Declividade (%)	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suave ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo forte ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (2014).

Análise morfométrica

As análises morfométricas da BHRB foram feitas considerando os dados disponíveis das características físicas. A partir da delimitação, topografia (MDE) e das características hidrográficas da bacia, foram calculadas variáveis morfométricas de forma (área, perímetro, fator de forma, índice de circularidade, coeficiente de compacidade e padrão de drenagem), relevo (altitude mínima, máxima e média, declividade mínima, máxima e média e índices de sinuosidade e rugosidade) e drenagem (comprimento total dos canais e densidade de drenagem). Através da ferramenta Aspect, foi feito o processamento de orientação da declividade, o qual gera o direcionamento do fluxo de escoamento superficial da bacia.

Diante dos dados obtidos a partir do SIG, foi possível, através do uso de equações, a obtenção de outros parâmetros morfométricos. As equações foram baseadas nas metodologias propostas por Horton (1932), Strahler (1957) e Vilela e Matos (1975), conforme apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Descrição dos parâmetros morfométricos e seus respectivos métodos de obtenção.

Parâmetros	Equação	Descrição	Fonte
Geometria da bacia			
Fator de forma (F)	$F = \frac{A}{L^2}$	A = Área da bacia (km ²) L = Comprimento da bacia (km)	Horton (1932)
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$	A = Área da bacia (km ²) P = Perímetro (km)	Strahler (1957)
Coeficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	P = Perímetro (km) A = Área da bacia (km ²)	Vilela e Matos (1975)
Rede de drenagem			
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Lt = Comprimento total de todos os canais de drenagem (km) A = Área da bacia (km ²)	Horton (1932)
Ordem da bacia	-	Rank hierárquico	Strahler (1957)
Relevo			
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = \frac{Lp}{dv}$	Lp = Comprimento do canal principal (m) dv = distância vetorial entre os extremos do canal principal (m)	Horton (1945)
Índice de rugosidade (Ir)	$Ir = Hm \times Dd$	Hm = Amplitude Altimétrica (m) Dd = Densidade de drenagem	Strahler (1958)
Amplitude altimétrica (Hm)	$Hm = P. Max - P. Min$	P. Max = Altitude máxima da bacia (m) P. Min = Altitude mínima da bacia (m)	Strahler (1952)
Declividade	-	%	Embrapa (2014)

Tabela 2. Valores de Fator de forma (F), Índice de circularidade (Ic) e Coeficiente de compacidade (Kc) e suas influências na bacia hidrográfica.

Influência na bacia	Valores
Bacia sujeita a enchentes	1,00 – 1,75
Tendência mediana a enchentes	F 0,75 – 0,50
Não sujeito a enchentes	< 0,50
Escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas	= 0,51
Bacia circular favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas)	Ic > 0,51
Bacia mais alongada favorecendo o escoamento	< 0,51
Bacia com alta propensão a grandes enchentes	1,00 – 1,25
Tendência mediana a enchentes	Kc 1,25 – 1,50
Não sujeito enchentes	> 1,50

Fonte: Adaptado de Alves e Castro (2003).

Os parâmetros F, Ic e Kc estão diretamente relacionados a forma da bacia hidrográfica, ou seja, relacionam-se às suas características geométricas, como a área, o perímetro, e o comprimento. A área de uma bacia hidrográfica relaciona-se a toda área que é drenada pelo sistema fluvial, dentro de seus divisores de água, projetada em plano horizontal.

Enquanto o perímetro, é o comprimento do divisor de águas (Tonello, 2006).

O fator de forma, segundo Alves e Castro (2003), relaciona-se à indicação da suscetibilidade da bacia hidrográfica a maiores ou menores enchentes. Com relação ao Ic, de acordo com Villela e Matos (1975) e Alves e Castro (2003), valores próximos a 1 indicam que a bacia apresenta

geometria circular, o que representa maior possibilidade de enchentes. Já o K_c , está relacionado a irregularidade da bacia, quanto mais irregular for, maior será o valor de K_c (Villela e Matos, 1975; Alves et al., 2016). Na Tabela 2 é possível verificar as classificações dos valores de F , I_c e K_c e suas influências na suscetibilidade da bacia hidrográfica a enchentes.

Os parâmetros ordem da bacia, padrão de drenagem e D_d estão relacionados com as características da rede de drenagem da bacia, sendo este último obtido a partir de uma equação. A ordem da bacia é obtida a partir da hierarquização da rede de drenagem (Strahler, 1957), no qual canais sem a presença de tributários são considerados de primeira ordem, e na união de dois canais de primeira ordem há a formação de um canal de segunda ordem, bem como na união de dois canais de segunda ordem, formam um de terceira ordem, e assim sucessivamente (Almeida, Bayer e Júnior, 2016).

O padrão de drenagem é uma classificação sobre a bacia utilizando critérios geométricos, as classes são: dendrítico; treliça; retangular; paralelo; radial e anelar (Horton, 1945; Silva e Medeiros, 2017). Já a D_d expressa a quantidade de canais disponíveis para o escoamento, além da influência exercida pelas estruturas geológicas. (Alves et al., 2016). Sousa e Rodrigues (2012) classificaram, de acordo com Villela e Mattos (1975), os valores da D_d em qualificações, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos valores de Densidade de drenagens (D_d).

Valor da D_d (km/km ²)	Qualificação
< 0,5	Baixa
0,5 – 2,0	Média
2 – 3,5	Alta
> 3,5	Muito Alta

Fonte: Adaptado de Sousa e Rodrigues (2012)

Quanto as características do relevo da bacia hidrográfica, estudou-se os parâmetros I_s e I_r , amplitude altimétrica e declividade. Para valores de I_s próximos a 1, indicam que os canais de drenagem apresentam tendência retilínea (elevado controle estrutural), enquanto que valores acima de 2 indicam canais sinuosos. Valores intermediários a estes apresentados, indicam formas transitórias (Horton, 1945; Silva e Medeiros, 2017).

A amplitude altimétrica é dada pela diferença altimétrica entre o ponto mais baixo da bacia (exutório) e ponto mais alto (divisor de água). Ressalta-se a importância deste parâmetro neste estudo, uma vez que tem forte influência sobre a quantidade de radiação solar que incide sobre a área da bacia. Nesse sentido, influencia alguns

componentes do ciclo hidrológico, como a evapotranspiração e precipitação, devido a variação ocasionada na temperatura (Tonello et al., 2006; Teodoro et al., 2007; Gonçalves et al., 2015).

O índice de rugosidade está diretamente relacionado com a infiltração e o escoamento superficial, sendo estes condicionados a forma de relevo preponderante. Valores elevados de I_r indicam bom escoamento superficial na bacia hidrográfica, enquanto baixos valores indicam o favorecimento à infiltração (Sousa e Rodrigues, 2012). A Tabela 4 apresenta a classificação do I_r e sua relação com o relevo.

Tabela 4. Classificação do índice de rugosidade e sua relação com a forma de relevo

Classe	Valor (m)	Forma de relevo
Fraco	0 – 150	Plano
Médio	151 – 550	Suave ondulado
Forte	551 – 950	Ondulado
Muito Forte	> 950	Forte ondulado a montanhoso, a escarpado

Fonte: Adaptado de Sousa e Rodrigues (2012).

Além do I_r , a declividade da bacia hidrográfica interfere diretamente no escoamento superficial, mais precisamente na velocidade em que isto ocorre, o que influencia no tempo de concentração. Quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido será o escoamento superficial, o tempo de concentração será menor e os picos de enchentes maiores.

Uso e ocupação do solo

A caracterização dos diferentes usos e ocupação do solo na BHRB foi realizada com base no Projeto TerraClass (Almeida et al., 2016). O Projeto disponibiliza, na plataforma digital do INPE, arquivos vetoriais de diferentes anos, na escala cartográfica 1:100.000, referente à classificação do uso e ocupação do solo na Amazônia Legal. Para este estudo, buscou-se a base de dados mais recente, a qual refere-se ao ano de 2014 (INPE, 2018).

Na BHRB foram identificadas as seguintes classes: Área não observada; Área urbana; Floresta, Hidrografia; Mosaico de ocupações; Pasto limpo; Pasto sujo; Regeneração com pasto e; Vegetação secundária. Posteriormente, foi realizado o tratamento dos pixels, e com a utilização do Google Earth, foi identificado o que seria a “Área não observada”, e com isso foram incorporados às classes existentes e outros foram inseridos a uma nova classe, denominados de “Solo exposto”.

Houve também, a união das classes, como, pasto sujo, pasto limpo e regeneração com pasto, para uma única classe, denominada de “Pasto”, e a classe mosaico urbano foi incorporado à classe “Área urbana”. Nesse sentido, foram geradas seis

classes, distribuídas em: Área Urbana; Floresta; Vegetação Secundária; Pasto; Hidrografia e; Solo Exposto. Cujas definições estão descritas no Quadro 2.

Quadro 2. Descrição das classes temáticas do Projeto TerraClass.

Classes do Projeto TerraClass	Descrição
Área urbana	Manchas urbanas decorrente de concentração populacional humana
Floresta	Cobertura florestal com dossel dominante
Hidrografia	Águas superficiais
Pasto	Estrato arbustivo, estrato herbáceo e regeneração da vegetação nativa em estado inicial após corte raso da vegetação natural e desenvolvimento de atividade agropastoril
Vegetação secundária	Áreas de regeneração avançada da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente
Solo Exposto	Áreas que apresentam a superfície do solo livre de qualquer cobertura, seja natural ou por intervenção antrópica

Fonte: Adaptado de Coutinho et al. (2013).

Depois de calculados os dados morfométricos, estes foram relacionados com as características físicas e as classes de uso e ocupação do solo da BHRB, utilizando ferramentas de geoprocessamento para sobreposição de arquivos e vetores, obtendo-se um mapa de composição de diferentes classes com essas características.

Resultados e discussão

Análise da bacia hidrográfica do rio Benfica

Em relação às características geométricas (Tabela 5), os cálculos mostram que a BHRB apresenta uma área de 129,39 km² e um perímetro de 53 km, possuindo um padrão de drenagem dendrítico, resultante da predominância de rochas sedimentares na bacia, conforme a caracterização física (Fonseca e Augustin, 2014). Considerando os valores obtidos para os parâmetros Fator de forma (0,57) e Coeficiente de compacidade (1,30), de acordo com Vilela e Matos (1975) e Alves e Castro (2003), a BHRB apresenta tendência mediana a enchentes (elevação do nível da água até a cota máxima do canal de drenagem, devido ao aumento da vazão) (Correia, Ribeiro e Baptista, 2015).

Enquanto que o resultado obtido para o índice de circularidade (0,58), indica que a bacia apresenta “formato” circular, portanto, com menor tempo de concentração e elevada vazão em relação a bacias alongadas, o que a deixa suscetível a processos de inundação (extravasamento das águas do canal de drenagem) (Correia, Ribeiro e Baptista, 2015).

Moraes, Lima e Ferrarez (2018) ao realizarem o estudo da caracterização fisiográfica e do uso e ocupação do solo das microbacias urbanas da cidade de Cuiabá-MT, encontraram, na bacia Mané Pinto, valores próximos aos obtidos para a BHRB. Os autores obtiveram o Fator de forma de 0,62, Índice de circularidade de 0,64 e Coeficiente de compacidade de 1,24, concluindo que a bacia estudada apresenta formato circular favorecendo os processos de enchentes.

Já em relação às características de relevo (Tabela 6 e Figura 3), a BHRB apresentou uma declividade máxima de 14,84% e média de 2,09%, indicando a predominância de relevo plano (97,5 km² - 75,35% do total da bacia), conforme a classificação da Embrapa (2014). Este tipo de relevo desfavorece o fluxo de escoamento superficial na bacia, o que, dependendo das condições físicas do solo em determinada área, pode levar a focos de alagamentos (Correia, Ribeiro e Baptista, 2015).

Já em relação às altitudes, a BHRB apresenta uma máxima de 55 m, mínima de 5 m e média de 24 m (Figura 4). A altitude média da bacia tem influência direta nos componentes precipitação e evaporação do ciclo hidrológico. Quanto mais elevada a altitude, maior será a quantidade de energia solar recebida, aumentando a quantidade de água evaporada na bacia e por consequência a precipitação (Gonçalves et al., 2015).

Tabela 5. Índices morfométricos da BHRB.

Características	Índices Morfométricos	Valores Mensurados
Geometria da bacia	Área (km ²)	129,39
	Perímetro (km)	53,01
	Fator de forma	0,57
	Índice de circularidade	0,58
	Coefficiente de compacidade	1,30
	Padrão de drenagem	Dendrítico
Relevo	Altitude mínima (m)	5
	Altitude máxima (m)	55
	Altitude média (m)	24
	Amplitude Altimétrica (m)	50
	Declividade mínima (%)	0
	Declividade máxima (%)	14,84
	Declividade média (%)	2,09
Rede de drenagem	Índice de rugosidade	28,54
	Comprimento do Rio Principal (km)	17,62
	Comprimento total dos canais da bacia (km)	73,86
	Densidade de drenagem (km/km ²)	0,57
	Índice de sinuosidade	1,46
	Ordem da bacia	4 ^a

Figura 3. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica.

Tabela 6. Classes de declividade na BHRB e áreas correspondentes.

Classe Relevo Encontrado	Área (km ²)	Área (%)
Plano	97,50	75,35
Suave Ondulado	30,77	23,78
Ondulado	1,12	0,87
Total	129,39	100,00

Figura 4. Mapa Altimétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica.

A partir dos resultados dos pontos mais baixo e mais alto da bacia, obteve-se a amplitude altimétrica (50 m), a qual está diretamente relacionada com o índice de rugosidade que apresentou o valor de 28,54, sendo classificado como um valor fraco (Sousa e Rodrigues, 2012). Ainda segundo os autores, este resultado está dentro da faixa (0 – 150) de rugosidade para áreas onde prevalecem relevos planos, o que ocorre na bacia hidrográfica do rio Benfica.

Moreira et al. (2017) caracterizando a morfometria da BH do rio Alegre (ES) e Araújo et al. (2017) analisando a morfometria de sub-bacias hidrográficas do Rio Gurupi (MA), obtiveram valores de 1,709 e 23,73, respectivamente, dentro da mesma classe de rugosidade da BHRB. Os autores concordam que baixos valores indicam que devido a predominância do relevo plano, com ausência ou baixa concentração de vertentes íngremes e longas, ocorre concentrações pontuais do fluxo do escoamento superficial, favorecendo a infiltração.

Quando analisada a rede de drenagem da BHRB é possível perceber que o fluxo de água se dá na direção N-NO (Norte-Noroeste) da bacia que apresenta um comprimento total dos canais de drenagem de 73,86 km, sendo que deste total, 17,62 km refere-se ao comprimento do rio principal. Além disso, conforme o método de classificação proposto por Strahler (1957), a BHRB possui ordem máxima de drenagem 4º, composta por 18 canais distribuídos da seguinte forma: 12 canais de 1ª ordem; 4 de 2ª ordem e; 2 de 3ª ordem (Figura 5). A bacia apresenta a densidade de drenagem de 0,57 km.km-2, ou seja, de acordo com Sousa e Rodrigues (2012), é considerada uma bacia de média drenagem.

Carvalho et al. (2009) afirmam que valores médios de Densidade de drenagem resultam da ausência de rochas permeáveis, favorecendo dessa forma o escoamento superficial, e da boa distribuição de chuvas durante o ano, o que, para a região em que se localiza a BHRB, é muito comum, onde não há um período chuvoso bem definido.

Figura 5. Mapa de ordem dos cursos de água da BHRB, de acordo com Strahler (1957).

Já o índice de sinuosidade obtido (1,46), indica que a BHRB apresenta canais transicionais ou irregulares, ou seja, valores intermediários, entre 1,0 (indicam que o canal tende a ser retilíneo) e 2,0 (canais tortuosos/sinuosos). De acordo com Cucolo et al. (2016), a sinuosidade é uma característica morfométrica que influencia na velocidade do rio. Esses autores, estudando a morfometria e o uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão, obtiveram valores próximos (1,31) ao mensurado na BHRB e diante disso concluíram que a bacia apresenta canais transicionais e, portanto, apresentam maior probabilidade para a ocorrência de enchentes e inundações, devido a maior velocidade do escoamento das águas.

Em relação ao uso e ocupação do solo da BHRB, conforme apresentado na Figura 6, a bacia apresenta uma área de 129,39 km², sendo, deste total, 90,01 km² (69,57%) predominado por área urbana. Em seguida, as grandes ocupações são pelas classes floresta e vegetação secundária, que ocupam 12,98% e 11,79%, respectivamente. Em menores proporções, as classes pastagem, hidrografia e solo exposto, completam a composição do uso e ocupação do solo da bacia, com suas respectivas áreas descritas na Tabela 7.

Tabela 7. Classes de Uso e Ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Área Urbana	90,01	69,57
Floresta	16,80	12,98
Vegetação Secundária	15,26	11,79
Pasto	4,98	3,85
Hidrografia	1,55	1,20
Solo Exposto	0,79	0,61
Total	129,39	100

Caracterização geoambiental

A partir do cruzamento das características físicas (Relevo e Uso e ocupação do solo) da BHRB, obtiveram-se como resultados 15 classes descritas no Quadro 3. É possível observar a espacialização e a quantificação destas classes na área da bacia (Figura 7 e Tabela 8). Foram escolhidos seis pontos (I, II, III, IV, V e VI) aleatórios, porém com características diferentes, para uma melhor visualização das características e discussão, e em cada ponto foi adicionado à direção do fluxo do escoamento da chuva que serão discutidos separadamente.

Figura 6. Classes de Uso e Ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica.

Quadro 3. Descrição da composição de classes a partir do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB.

Classe	Composição	Descrição
1	A	Plano + Floresta
2	B	Suave ondulado + Floresta
3	C	Ondulado + Floresta
4	D	Plano + Pasto
5	E	Suave ondulado + Pasto
6	F	Ondulado + Pasto
7	G	Plano + Solo exposto
8	H	Suave ondulado + Solo exposto
9	I	Ondulado + Solo exposto
10	J	Plano + Área urbana
11	K	Suave ondulado + Área urbana
12	L	Ondulado + Área urbana
13	M	Plano + Vegetação secundária
14	N	Suave ondulado + Vegetação secundária
15	O	Ondulado + Vegetação secundária

Figura 7. Mapa de composição do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB, com os pontos analisados (I, II, III, IV, V e VI).

Tabela 8. Espacialização da composição de classes na área da BHRB.

Classe	Composição	Área (km ²)	Área (%) em relação à bacia
1	A	11,15	8,61
2	B	5,30	4,10
3	C	0,28	0,22
4	D	4,08	3,16
5	E	0,84	0,65
6	F	0,02	0,02
7	G	0,58	0,45
8	H	0,18	0,14
9	I	0,02	0,02
10	J	70,09	54,17
11	K	19,52	15,08
12	L	0,59	0,46
13	M	10,16	7,85
14	N	4,82	3,73
15	O	0,20	0,16
-	Hidrografia	1,55	1,20
	Total	129,39	100,00

Como observado na Tabela 8, as classes 10, 11, 12, compostas por J, K e L, respectivamente, são predominantes em relação às demais. Contudo, nota-se que na medida em que o terreno se torna mais íngreme, as classes 1, 2 e 3, compostas por A, B e C, ganham mais espaço.

Apesar da grande urbanização que ocupa a BHRB (54,17%), é positivo quando se relaciona à prevenção de processos erosivos e o transporte de sedimentos, visto que terrenos inclinados com cobertura verde são menos propensos à erosão do

que aqueles sem cobertura (Calderano Filho et al., 2018).

As classes 2 e 3 da BHRB concentradas a Leste-Nordeste, onde estão localizados os Pontos I e II, são compostas por áreas de floresta e solos do tipo Plintossolo Pétrico Concrecionário, que apresentam relativamente boa drenagem. Isto faz com que esta porção da bacia seja menos suscetível a processos erosivos e transporte de sedimentos, ou seja, boa parte da água que precipita nesta localidade é interceptada pela vegetação e infiltrada no solo, impedindo o impacto da gota da chuva sobre o solo, o que ocasionaria na sua perda.

É possível observar também (Figura 8), que os pontos de concentração de fluxo de escoamento (simbolizado pelas setas) são predominantes sobre as classes 10, 11 e 12. Os poucos pontos que se observam nas classes 1, 2 e 3 concentram-se próximos à rede de drenagem. Seu ponto positivo é que o fluxo de escoamento superficial converge para os cursos d'água. Por

outro lado, devido à baixa sinuosidade observada nos canais no Ponto I da bacia, somada à impermeabilização do solo, devido à urbanização, pode vir a causar transtornos à comunidade que residem pelas margens, devido ao alto transporte de sedimentos, o que, com o tempo, tendem a diminuir a seção do canal, alterando a sua capacidade de vazão e aumentando o seu nível (altura), podendo vir a ocorrer transbordamentos.

Aparecido et al. (2016) ao estudarem o manejo de 4 bacias hidrográficas na região do Triângulo Mineiro (MG), associando o uso e ocupação do solo, a declividade e o escoamento superficial, obtiveram resultados semelhantes em uma das bacias com os obtidos na BHRB. Segundo os autores, a bacia hidrográfica que apresentou 65,3% de urbanização, é a que tem maior potencial de escoamento superficial e alta produção de sedimentos.

Figura 8. Mapa de composição do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB, com ênfase no Ponto I.

Pode-se observar também, no Ponto I, a presença das classes 4, 5 e 6, compostas por áreas de uso para pastagem, ao Norte e a Oeste. Contudo, apesar do problema da supressão vegetal para a criação desta área, com base no aspecto físico

(relevo e direção de fluxo), observa-se que há a presença das classes 1 e 2, entre a classe 5 e a drenagem superior, o que impede o transporte de sedimentos e resíduos, dispostos sobre o solo, para o curso d'água. Esta “barreira”, somado ao tipo do

solo (Latossolo Amarelo Distrófico) em que as classes 4, 5 e 6 estão instaladas, torna a área favorável ao desenvolvimento de culturas agrícolas (Ramos et al., 2018).

Em contrapartida, ao observar o quadrante que se localiza o Ponto II (Figura 9), nota-se que grande parte do fluxo do escoamento superficial converge para os tributários e à drenagem principal

(Rio Benfica), não existindo pontos de concentração de água. Assim, além de ser uma localização de improvável perda de solo, pode-se também descartar a “hipótese” de alagamentos e/ou inundações, o que faz da área, de forma qualitativa, boa no quesito urbanização, desde que respeitada as áreas de preservação ambiental.

Figura 9. Mapa de composição do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB, com ênfase no Ponto II.

Percebe-se que apesar da grande concentração das classes 1, 2 e 3, localizadas nos pontos I e II (Figura 8 e Figura 9, respectivamente), estas não cumprem as leis que se dispõem das Áreas de Preservação Permanente (APP), pois não levam em consideração as delimitações propostas no Art. 4º do Código Florestal Brasileiro – CFB (Lei Federal Nº 12.651) de 25 de maio de 2012. De acordo com o CFB, as áreas de APP são “área protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.” (BRASIL, 2012).

Nesse sentido, nesta porção da bacia (100% inserida em Benevides) prevalece

características rurais (agricultura familiar, pecuária e pesca), onde a comunidade necessita de áreas preservadas para o desenvolvimento de suas atividades de subsistência (Paungarten, Bordalo e Lima, 2015).

Além disso, para o desenvolvimento de culturas agrícolas e pastagem, em sistema de integração agroecossistêmico ou não, faz-se necessário a presença de solos com boa aptidão agrícola. Contudo, não é o que se observa no Ponto II da bacia, onde predomina o Plintossolo, e uma de suas características principais é a alta concentração de petroplintitas (fragmentos rochosos), a qual proporciona um baixo volume de solo a ser explorado pelo sistema radicular das plantas (Ramos et al., 2018).

É importante enfatizar a grande relevância de áreas vegetadas para o equilíbrio ambiental de uma bacia hidrográfica, especialmente sobre a porção Leste da BHRB. Destacam-se a regulação microclimática, através da elevação da umidade do ar e áreas sombreadas, melhoramento da qualidade do ar (captação de gás carbônico e produção de oxigênio), conservação do solo e manutenção do regime hidrológico, através da proteção dos recursos hídricos (APP).

Os Ponto I e II, também apresentam uma barreira geomorfológica que impede a interação por fluxo superficial entre as classes 4, 5 e 6 e a drenagem. Contudo, há uma pequena presença das classes 8 e 9, onde 100% das direções do fluxo de escoamento da água da chuva convergem para a drenagem. A partir disso, pode-se aferir que neste ponto pode estar ocorrendo o processo de assoreamento do rio. Este processo é definido pela

alta carga de sedimentação sobre o curso d'água, originado a partir dos processos erosivos, que geram consequências como, a diminuição da qualidade de água e a elevação de custos para a manutenção de reservatórios de água para irrigação (Aparecido et al., 2016).

Outra problemática encontrada na área de estudo, está na questão da ocupação urbana irregular em detrimento das áreas de preservação das nascentes que compõem a BHRB. Para tanto, foi utilizado para discussão, a nascente principal da bacia, a do Rio Benfica, a qual está inserida no Ponto III (Figura 10). É possível verificar que a nascente se encontra sem o devido perímetro de APP, o qual é estabelecido pela Lei Federal N° 12.651/2012 que não deve ser inferior a 50 m (BRASIL, 2012).

Figura 10. Mapa de composição do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB, com ênfase no Ponto III.

A ocupação irregular nestas áreas é ainda mais agravada quando se leva em consideração o fato de que apenas 6,54% da população ocupante da bacia tem atendimento de esgotamento sanitário (Paungarten, Bordalo e Lima, 2015). A falta da rede de esgoto faz com que a comunidade procure

as formas mais simples e práticas para lançar o efluente gerado, ou seja, a proximidade das residências com a rede hídrica, torna este alvo da “praticidade” para o lançamento do efluente.

O lançamento de efluentes in natura, sem o devido tratamento, nos recursos hídricos é um

grande causador do fenômeno eutrofização. Segundo Von Sperling (2005), este fenômeno é definido como sendo o crescimento excessivo de plantas aquáticas (algas), devido à alta carga de matéria orgânica em decomposição, a níveis que comprometam a garantia dos usos múltiplos da água.

As consequências da ocupação irregular ao entorno das nascentes são graves, além da poluição pelo lançamento de resíduos, até mesmo sólidos, com a alocação de residências, estas vão “afunilando” a área (nascente/canal de drenagem), o que causa a redução da vazão, diminuindo a capacidade de autodepuração do rio e por consequência a qualidade da água ao longo de toda

drenagem, podendo ocorrer até o seu desaparecimento.

Quanto ao Ponto IV, o enfoque da análise está na Rodovia BR 316 no perímetro entre os Rios Mocajatuba e Uriboça, onde, em meados de abril de 2018, após chuva intensa a área ficou inundada (Figura 11). E não foi a primeira ocorrência, no ano de 2016 também foi registrado inundação neste mesmo local (Figura 11). Inicialmente, antes de apontar as causas antrópicas para tal fato, é necessário atentar às características morfométricas da BHRB (Figura 12). A interação entre os índices Fator de forma, Índice de circularidade e Coeficiente de compacidade, mostra que a bacia é suscetível a enchentes e inundações.

(a)

(b)

Fonte: <https://www.leijaja.com/noticias/2018/04/07/canal-transborda-e-inunda-rodovia-br-316-em-marituba/>

(c)

(d)

Fonte: <https://www2.mppa.mp.br/sistemas/intranet/framework/view/upload/ATUALIDADES.pdf>.

Figura 11. Foco de inundação na BR 316 no perímetro entres os rios Mocajatuba e Uriboça, nos anos de 2018 (a;b) e 2016 (c;d) – Perímetro situado no Ponto IV.

Figura 12. Mapa de composição do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB, com ênfase no Ponto IV.

Naturalmente, a geometria da bacia já corrobora para possíveis eventos de inundação. Mas ao se atentar à preservação dos dois rios, percebe-se de acordo com a classificação do uso e ocupação do solo da bacia, a predominância de áreas urbanas nas margens dos canais em detrimento das áreas de APP. A falta de áreas verdes nas margens de cursos d'água, aumenta a velocidade do fluxo de escoamento superficial das áreas adjacentes para o interior do canal, deixa as linhas de drenagem livres para o recebimento de sedimentos, e consequentemente o assoreamento das calhas naturais do rio, o que leva à elevação do leito do canal e consequentemente o nível da lâmina d'água, ocasionando o transbordamento.

As causas das inundações nesta área vão além da falta de APP e impermeabilização do solo. Como observado na Figura 12, o perímetro da BR 316, entre os rios, é cercado pelo relevo do tipo suave ondulado, o que faz com que grande parte do fluxo de escoamento superficial concentre-se para a Rodovia.

Diante das causas elencadas, algumas formas de reverter esta situação, sem comprometer o funcionamento das atividades de entrada e saída de transporte na Região Metropolitana de Belém, está na reconstituição das áreas de APP e na criação de áreas verdes, como bosques, ainda que pequenas, mas estas seriam de grande contribuição para a bacia favorecendo a infiltração, diminuindo o escoamento de água advindo dos relevos mais elevados.

Em meio a tantas drenagens carentes de proteção por cobertura florestal, de modo diferente, apresenta-se a foz da BHRB, situada no Ponto V (Figura 13). Neste Ponto é presente a maior espacialização das classes 4, 5 e 6 de toda a bacia avaliada. Apesar de tal fato, observa-se que este não avançou tanto quanto a urbanização na margem esquerda da foz. Entretanto, ainda com estas controversas ambientais, da perspectiva física da bacia, a foz encontra-se relativamente com uma boa Área de Preservação Permanente, quando comparada com os trechos à montante.

Figura 13. Mapa de composição do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB, com ênfase no Ponto V.

O ponto VI (Figura 14), é visto como um contraponto à discussão do Ponto IV, visto que apresenta uma considerável espacialização das classes 1, 2 e 3 e não foi encontrado registros de focos de inundação ou alagamentos. Desta forma, apesar de se observar diversos pontos de concentração do fluxo de escoamento ao longo da

BR 316 no perímetro, as áreas verdes espalhadas promovem a infiltração necessária para que o excedente de água, após o solo atingir a sua capacidade de saturação, seja insuficiente para a criação de focos de alagamentos ou transbordamento dos canais de drenagem próximos.

Figura 14. Mapa de composição do Relevo e Uso e Ocupação do Solo da BHRB, com ênfase no Ponto VI.

Diante das potencialidades observadas na porção Leste – Nordeste, com base nas características físicas da BHRB, e por outro lado a avançada urbanização (porção Sul – Sudoeste), faz-se necessário a criação e implementação de um Plano de Recursos Hídricos (PRH) para a bacia. Integrado ao PRH, faz-se necessário a implementação de políticas públicas voltadas para o melhoramento do saneamento básico, principalmente.

O PRH deve ter como objetivo principal “frear” o avanço urbano sobre as áreas vegetadas, principalmente APP, sendo este imprescindível para a manutenção da qualidade dos recursos hídricos e garantia de seus usos múltiplos. Para a sua implementação, além das características físicas da BHRB levantadas neste trabalho, é necessário um sistema de informações específico para a determinação de seu balanço hídrico e a caracterização físico-química e bacteriológica de suas águas, a fim de determinar o grau de deterioração qualitativa que se encontram.

Por outro lado, já existe uma política vigente que prevê a manutenção de áreas

vegetadas, como citada anteriormente (Código Florestal Brasileiro), ou seja, observa-se a negligência por parte dos setores de controle e monitoramento do meio ambiente (Secretarias Municipais de Meio Ambiente - SEMMA) municipais em que a BHRB está inserida. A partir dos resultados levantados neste estudo, é possível a proposição de planos de imediata recuperação das margens dos cursos d’água e ao entorno das nascentes em uma faixa de no mínimo 50 m de cobertura vegetal. Além disso, as SEMMAs devem desempenhar uma função importante de monitoramento da regeneração das áreas suprimidas, a fim de se impedir novas intervenções antrópicas.

Conclusão

A aplicação da metodologia e as técnicas de geoprocessamento possibilitaram compreender a dinâmica da rede de drenagem da BHRB. A caracterização morfométrica demonstrou que a bacia apresenta tendência a enchentes e suscetibilidade a inundações, devido seu fator de forma e fator de compacidade possuir tendências

medianas (0,57 e 1,30, respectivamente) e ainda possui baixo tempo de concentração e elevada vazão, que é explicada pela sua forma circular.

Foi identificado através dos pontos (I, II, III, IV, V e VI) que a BHRB possui um predomínio de pontos de concentração do fluxo de escoamento, onde há a ocorrência de focos de inundação, isso pode estar relacionado com as diversas nascentes existentes, as quais alimentam o Rio Benfica, e grande parte dos cursos d'água encontrarem-se em desconformidade com o previsto no Código Florestal Brasileiro, no quesito Área de Preservação Permanente.

Esta situação é ainda mais agravada quando se observa a alta concentração de áreas urbanas nas adjacências dos cursos d'água e nascentes. Isto, somado à situação precária de esgotamento sanitário, indica que pode estar ocorrendo o despejo de efluentes domésticos, sem tratamento, na água, comprometendo a sua qualidade e garantia de seus usos múltiplos. Nesse sentido, a população local que depende da bacia para sua subsistência, seja ela a pesca ou a agricultura, tende a ser prejudicada.

Mediante os resultados e análise geral do trabalho, sugere-se a realização de novos estudos que possam aferir sobre a qualidade físico-química e bacteriológica das águas da BHRB. Estes poderão determinar, dentre outros, os teores de materiais sedimentáveis e matéria orgânica presente na água, reflexo dos processos erosivos, transporte de sedimentos e lançamento de efluentes. Além disso, a implementação de pontos de coleta de informações pluviométricas e de temperatura, a fim de formar um banco de dados, somado às características físicas, para o cálculo do balanço hídrico da bacia, de forma a subsidiar a criação de um Plano de Recursos Hídricos.

Nesse contexto, medidas de correção e recuperação imediatas são necessárias para a BHRB. A fim de combater os processos erosivos e transporte de sedimentos para os cursos d'água, sugere-se o plantio de espécies vegetais nas margens das vias que irão favorecer o agregamento do solo, retenção de partículas e a infiltração de água, o que também irá contribuir para a diminuição do escoamento superficial e consequentemente a suscetibilidade à inundação.

Além disso, nas margens das nascentes e cursos d'água ocupadas pela urbanização e consequentemente desprovidos de APP, o que compromete a qualidade dos recursos hídricos, sugere-se a realocação da população para áreas apropriadas para habitação e a promoção do reflorestamento em um raio mínimo de 50 m. Para tanto, faz-se necessário mais comprometimento por parte do poder público, tanto para a oferta de locais

apropriados para habitação com condições dignas de saneamento básico, quanto para a fiscalização das áreas de APP e aquelas destinadas ao reflorestamento, a fim de que as intervenções antrópicas só possam ocorrer novamente mediante o cumprimento das leis ambientais.

Referências

- Agaton, M., Setiawan, Y., Effendi, H., 2016. Land use/land cover change detection in an urban watershed: a case study of upper Citarum Watershed, West Java Province, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 33, 654-660.
- Almeida, R. F. B., Bayer, M., Júnior, L. G. F., 2016. Compartimentação morfométrica da bacia do rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. *Mercator - Revista de Geografia da UFC* 15, 83-94.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C. Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728.
- Alves, J. M. D. P., Castro, P. D. T. A., 2003. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências* 33, 117-124.
- Alves, W. S., Scopel, I., Martins, A. P., Morais, W. A., 2016. Análise morfométrica da bacia do Ribeirão das Abóboras – Rio Verde (GO). *Geociências* 35, 652-667.
- Aparecido, C. F. F., Vanzela, L. S., Vazquez, G. H., Lima, R. C., 2016. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. *Irriga* 21, 239-239.
- Araújo, A. N., Pinho, D. M., Lobato, A. A. C., Trzeciack, L. S., 2017. Análise morfométrica de quatro sub-bacias hidrográficas do Rio Gurupi na Amazônia Oriental. *Ciência e Sustentabilidade* 3, 83-99.
- Barbosa, T. S., Furrier, M., 2012. Avaliação morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Marés – PB, para verificação de influência neotectônica. *Cadernos de Geociências* 9, 112-120.
- BDGEx. Banco de Dados Geográficos do Exército, 2018. Carta Topográfica Vetorial

- de Belém - SA-22-X-D-III. Escala 1:100.000. Disponível: <https://bdgex.eb.mil.br/mediador/>. Acesso: 03 out. 2018.
- Benatti, D. P., Tonello, K. C., Faria, L. C., Leite, E. C., 2015. Morfometria e uso e cobertura de uma microbacia no município de Sete Barras, São Paulo. *Irriga* 20, 21-32.
- BRASIL, 2012. Lei nº 12.651, de 25 de maio.
- BRASIL, 1997. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro.
- Calderano Filho, B., Polivanov, H., Carvalho Junior, W. D., Chagas, C. D. S., Calderano, S., 2018. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de regiões tropicais montanhosas com suporte de SIG. *Revista de Geografia* 35, 269-288.
- Carvalho, W. M., de Oliveira Vieira, E., Rocha, J. M. J., dos Santos Pereira, A. K., Carmo, T. V. B., 2009. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do córrego do Malheiro, no município de Sabará – MG. *Irriga* 14, 398-412.
- Correia, E. F. G., Ribeiro, G. P., Baptista, A. C., 2015. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundação. *Revista Brasileira de Cartografia* 67, 1183-1202.
- Coutinho, A. C., Almeida, C., Venturieri, A., Esquerdo, J. C. D. M., Silva, M., 2013. Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008. Disponível: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/960817>. Acesso: 02 nov. 2018
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2002. Projeto estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências. Belém.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2011. Geologia e recursos minerais da folha Belém SA.22-XD-III, estado do Pará, escala 1: 100.000. Belém.
- Cucolo, M. C., Tomoike, M. H., Schmidt Filho, E., Emanuelli, I. P., Velho, L. F. M., 2016. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 3, 217-226.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília.
- Erol, A., Randhir, T. O., 2013. Modelagem de ecossistemas de bacias hidrográficas dos impactos do uso da terra na qualidade da água. *Modelagem ecológica* 270, 54-63.
- Fengler, F. H., de Moraes, J. F., Ribeiro, A. I., Peche Filho, A., Storino, M., Medeiros, G. A. D., 2015. Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí-Mirim entre 1972 e 2013. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 402-408.
- Fonseca, B. M., Augustin, C. H. R. R., 2014. Análise morfométrica de bacias de drenagem e sua relação com a estrutura geológica na serra do Espinhaço Meridional - MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 15, 153-172.
- Gonçalves, E. D., Santos, M. D. L. S., Soares, J. A. C., de Souza, P. H. N., Mourão, F. V., Castro, K. F., Sousa, A. C. S. R., 2015. Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). *Boletim Técnico Científico do CEPNOR* 15, 43-50.
- Horton, R. E., 1932. Drainage Basin Characteristics, Transactions, American Geophysical Union, 13, 350-361.
- Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56, 275-370.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. Manual técnico de geomorfologia. Rio de Janeiro.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso: 12 nov. 2018.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Projetos e Pesquisas (TerraClass). Disponível: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php. Acesso: 29 out. 2018.
- Júnior, A. C. R. A., de Azevedo, A. K. A., Oliveira, I., 2013. Water problem in the

- Metropolitan Region of Belém (RMB) – Pará: historical and geographical aspects. *Acta Geográfica* 7, 117-131.
- Leal, M. S., Tonello, K. C., 2016. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de Baixo, Sorocaba/SP. *Floresta* 46, 439-446.
- Moraes, G. F., Lima, E. B. N. R., Ferrarez, E. M., 2018. Caracterização Fisiográfica e do uso e Ocupação do Solo das Microbacias Urbanas da Cidade de Cuiabá-MT. *E&S Engineering and Science* 7, 42-53.
- Moreira, G. L., Araújo, E. A., de Andrade, M. S. S., Cynthia, M., Lima, D., Oliveira, F. R., 2017. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, Brasil. *Agropecuária Científica no Semiárido* 12, 403-409.
- PARÁ, 2001. Lei nº 6.381, de 25 de julho.
- Paungarten, S. P. L., Bordalo, C. A. L., Lima, A. M. M., 2015. Saneamento e condições socioeconômicas de bacias hidrográficas: um estudo de caso na região metropolitana de Belém-PA. *Revista GeoAmazônia* 3, 83-95.
- Ramos, M. R., Guizzo, J. V. M., Lima, L. F. A., Santos, D. M. A., Uhlmann, A., 2018. Potencial de uso dos solos da fazenda agroecológica de Palmas-TO. *Revista de Ciências Agrônômicas* 27, 366-377.
- SETUR. Secretaria de Estado de Turismo, 2012. Inventário de oferta turística de Benevides. 2012. Disponível: http://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/pdf/inventario_benevides_2012.pdf. Acesso: 23 nov. 2018.
- Silva, C. D. O. F., Medeiros, G. A., 2017. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiá-Mirim: diagnósticos e subsídios para gestão ambiental. *Boletim Campineiro de Geografia* 7, 441-454.
- Sousa, F. A., Rodrigues, S. C., 2012. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. *Mercator - Revista de Geografia da UFC* 11, 141-151.
- Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142.
- Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology: *Transactions American Geophysical Union*, 38, 913-920.
- Strahler, A. N., 1958. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Geological Society of America Bulletin* 69, 279-300.
- Teodoro, V. L. I., Teixeira, D., Costa, D. J. L., Fuller, B. B., 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar* 11, 137-156.
- Tonello, K. C., Dias, H. C. T., Souza, A. L. D., Ribeiro, C. A. A. S., Leite, F. P., 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhanes - MG. *Revista Árvore* 30, 849-857.
- Tucci, C. E., 2005. Desenvolvimento institucional dos recursos hídricos no Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina* 2, 81-93.
- Tundisi, J. G., 2006. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. *Revista USP* 70, 24-35.
- Vasco, A. N. D., Britto, F. B., Pereira, A. P. S., Garcia, C. A. B., Mello Júnior, A. V., Nogueira, L. C., 2011. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Ambiente & Água* 6, 118-130.
- Villela, S. M., Mattos, A., 1975. Hidrologia aplicada. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- Von Sperling, M., 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, Belo Horizonte.