

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICA SUSTENTÁVEL PARA MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS EM PONTO CRÍTICO DE ALAGAMENTO DO MUNICÍPIO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE

Amaury Gouveia Pessoa Neto¹
Evele Mayara Barros da Silva²
Luciana Cássia Lima da Silva³
Simone Rosa da Silva⁴
Kalinny Patrícia Vaz Lafayette⁵

RESUMO

O presente estudo buscou identificar as classes de uso e ocupação do solo de uma área de adensamento urbano do município de Jaboatão dos Guararapes - PE, bem como propor a implantação de jardins de chuva como técnica compensatória nessa região, a fim de mitigar a ocorrência de episódios de alagamentos. Para isso, foi delimitada uma bacia de contribuição como área de estudo, a partir de um ponto crítico de alagamento localizado na Estrada da Batalha, a qual foi submetida a uma análise visual fotointerpretativa, baseada em ortomagens com escala de 1:1.000, que permitiu demonstrar que as áreas impermeabilizadas prevalecem no local, representando 73,43% da região em estudo. Foi considerada a instalação dos jardins de chuva no canteiro central da via e em parte de seu passeio, os quais foram dimensionados com larguras de 6,00 m e 7,50 m e comprimentos de 110,00 m e 70,00 m, respectivamente, sendo capazes de armazenar 245,10 m³ e 287,44 m³ das águas precipitadas. A partir dos resultados obtidos, destaca-se a eficiência dessa técnica compensatória na contribuição para mitigação de episódios de alagamento em ambientes urbanos.

Palavras-chave: Áreas Impermeabilizadas. Jardins de Chuva. Uso e Ocupação do solo.

PROPOSAL FOR IMPLEMENTATION OF A SUSTAINABLE TECHNIQUE FOR MANAGEMENT OF URBAN RAINWATER IN A CRITICAL FLOODING POINT IN THE MUNICIPALITY OF JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE

ABSTRACT

The present study sought to identify the classes of land use and occupation of an area of urban densification in the municipality of Jaboatão dos Guararapes - PE, as well as to propose the

¹ Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

E-mail: agpn@poli.br

² Especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Universidade Estácio de Sá.

E-mail: evelebarros123@gmail.com

³ Mestra em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: lcls@poli.br

⁴ Professora Associada da Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: simonerosa@poli.br

⁵ Professora Associada da Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: klafayette@poli.br

implementation of rain gardens as a compensatory technique in this region, in order to mitigate the occurrence of flooding episodes. For this, a contribution basin was delimited as a study area, from a critical point of flooding located on Estrada da Batalha, which was submitted to a photointerpretive visual analysis, based on orthoimages with a scale of 1:1,000, which allowed demonstrate that the waterproofed areas prevail in the place, representing 73.43% of the region under study. The installation of rain gardens in the central bed of the road and in part of its sidewalk was considered, which were dimensioned with widths of 6.00 m and 7.50 m and lengths of 110.00 m and 70.00 m, respectively, being able to store 245.10 m³ and 287.44 m³ of precipitated water. Based on the results obtained, the efficiency of this compensatory technique in contributing to the mitigation of flooding episodes in urban environments is highlighted.

Key-words: Waterproofed areas. Rain Gardens. Land use and occupation.

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TÉCNICA SOSTENIBLE PARA LA GESTIÓN URBANA DE AGUAS PLUVIALES EN EL PUNTO CRÍTICO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE

RESUMEN

El presente estudio buscó identificar las clases de uso y ocupación del suelo en un área de densidad urbana en el municipio de Jaboatão dos Guararapes - PE, así como proponer la implementación de jardines de lluvia como técnica compensatoria en esta región, con el fin de mitigar la ocurrencia de episodios de inundaciones. Para ello, se delimitó una cuenca como área de estudio, a partir de un punto crítico de inundación ubicado en la Estrada da Batalha, que fue sometida a un análisis visual fotointerpretativo, basado en ortoimágenes con escala de 1:1.000, que permitió demostrar que prevalecen las áreas impermeables. en la localidad, representando el 73,43% de la región en estudio. Se consideró la instalación de jardines de lluvia en el camellón central de la calzada y en parte de su vereda, los cuales fueron dimensionados con anchos de 6.00 m y 7.50 m y largos de 110.00 m y 70.00 m, respectivamente, pudiendo almacenar 245.10 m³ y 287,44 m³ de agua precipitada. En base a los resultados obtenidos, se destaca la eficiencia de esta técnica compensatoria para contribuir a la mitigación de episodios de inundación en entornos urbanos.

Palabras Clave: Áreas Impermeabilizadas. Jardines de lluvia. Uso y ocupación del suelo.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil ocorreu com maior intensidade a partir da segunda metade do século XX, quando houve um movimento significativo de pessoas do campo em direção à cidade, impulsionado pelas alternativas geradas pela industrialização (ALVES et al., 2018; LIMA et al., 2021). Entretanto, esse fenômeno foi acontecendo de maneira acelerada e não planejada, acarretando problemas sociais, econômicos, culturais e, sobretudo, ambientais

que interferem diretamente no cotidiano da população (SANTOS et al., 2017; COSTA et al., 2020; SILVA JUNIOR et al., 2020a).

Além das referidas consequências, a urbanização desordenada resulta em mudanças significativas no ciclo hidrológico natural em decorrência do desmatamento, modificação da topografia natural do terreno e ampliação das áreas impermeabilizadas, condicionando o aumento do escoamento superficial e da vazão dos cursos d'água, a redução da infiltração da água precipitada e da evapotranspiração (BEGA et al., 2019; FONSECA NETO et al., 2020; FRUTOSO et al., 2020; HOLANDA et al., 2020). Conforme Souza e Amorim (2018), o reflexo dessas intervenções se tornou um dos principais problemas enfrentados pela cidade, que é o aumento da ocorrência de inundações, alagamentos e enxurradas, gerando riscos e vulnerabilizando grupos sociais específicos.

Os alagamentos se caracterizam pelo acúmulo de águas nas ruas, calçadas ou outro tipo de infraestrutura urbana, decorrentes de elevados índices pluviométricos, em locais onde os sistemas de drenagem são deficientes, seja por subdimensionamento ou ausência de manutenção, podendo ser agravados por processos de natureza fluvial (LICCO; MACDOWELL, 2015; SALES; ALMEIDA, 2019; SILVA JUNIOR et al., 2020b). Para o Ministério da Saúde do Brasil, esse tipo de desastre provoca danos humanos, patrimoniais e ambientais, fazendo com que, todos os anos, milhares de famílias saiam de suas casas (temporária ou definitivamente) e tenham sua saúde física e mental exposta a diversos tipos de agravos e doenças (BRASIL, 2017).

De acordo com Mantis e Vaz (2019), o estudo e caracterização do comportamento de uma área é de suma importância para garantir o bem-estar da população e evitar impactos e desastres, bem como a detecção e prevenção de áreas de risco de acidentes hidrológicos. Para os autores, atualmente existe uma diversidade de métodos que auxiliam na identificação das áreas de risco e de seu mapeamento, sendo estes alinhados com a tecnologia do geoprocessamento, que representa uma ferramenta indispensável e essencial para esse tipo de análise. Além disso, essa tecnologia ainda possibilita a execução do planejamento dos procedimentos de evacuação, monitoramento de desastres, implementação de sistemas de alerta e, inventário e avaliação de danos dos eventos extremos (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019).

A identificação das áreas impermeabilizadas de uma região e a consequente suscetibilidade a alagamentos é importante para que se criem estratégias para controle e

prevenção desse tipo de acidente. As técnicas compensatórias são consideradas soluções urbanísticas ambientalmente mais adequadas para o manejo das águas pluviais em áreas urbanizadas, tendo o objetivo de controlar a quantidade de água escoada superficialmente para as galerias e rios, seja pela infiltração ou retenção, seja pela diminuição da velocidade de escoamento e do aumento da taxa de evapotranspiração, possibilitando a proteção da qualidade da água e a implantação de paisagens ambientalmente agradáveis (GONÇALVES et al., 2016; VASCONCELOS et al., 2016). Pavimentos permeáveis, telhados verdes, microrreservatórios individuais, poços de infiltração, bacias de retenção, trincheiras de infiltração, valas vegetadas e jardins de chuvas são alguns exemplos das técnicas compensatórias mais conhecidas, sendo algumas já previstas em legislações específicas (REIS; ILHA, 2019; RODRIGUES; SANTINI JUNIOR, 2021; RODRIGUEZ; TEIXEIRA, 2021).

Dentre as referidas técnicas compensatórias, Silva et al. (2020a) ressaltam que os jardins de chuva purificam e absorvem o escoamento superficial minimizando o volume escoado e preservando os lençóis freáticos. Melo et al. (2014) retratam essa técnica como um útil sistema hídrico de biorretenção, de baixo custo e conservação simples, que é composto por material granular de alta permeabilidade, auxiliando nos processos de infiltração, retenção e absorção.

Nesse sentido, Moura e Silva (2018) apresentaram a evolução da impermeabilização da superfície ocorrida em um trecho da zona sul da cidade de Recife/PE para os anos de 1975 e 2007. As autoras constataram um aumento de 96,74% da área impermeabilizada e propuseram, a partir da temática da drenagem urbana sustentável, a implantação da técnica dos jardins de chuva e dos pavimentos permeáveis no referido local.

De maneira semelhante, Holanda et al. (2020) analisaram a viabilidade da implementação do pavimento permeável nas estradas que margeiam ou dão acesso ao túnel Chico Science, localizado na cidade de Recife/PE, para auxiliar na drenagem de áreas não pavimentadas do entorno. Os autores verificaram que o solo da região é majoritariamente arenoso e capaz de permitir a infiltração da água precipitada, comprovando a viabilidade de se utilizar a referida técnica compensatória, uma vez que com a implantação, os alagamentos seriam minimizados, como também os custos de manutenção das bombas de recalque do atual sistema de drenagem seriam reduzidos.

Silva et al. (2020b) avaliaram, a partir de modelagem computacional, a implantação de um reservatório de retenção sob logradouro para controle de alagamentos em área de urbanização consolidada localizada no bairro Jiquiá, na cidade de Recife/PE. Para isso, os

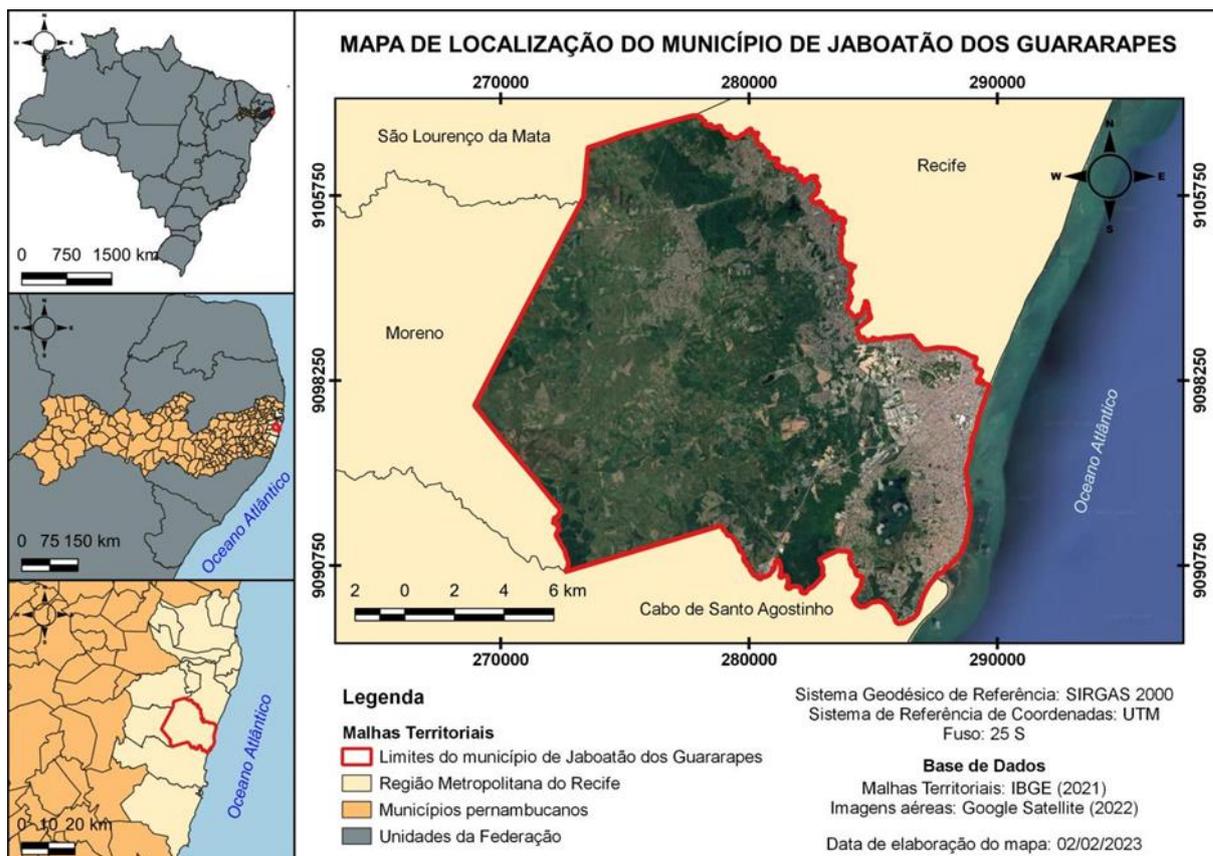
autores obtiveram os dados físicos da área e os integraram ao modelo SWMM (Storm Water Management Model). Os resultados do estudo mostraram que houve significativa redução dos picos de cheia, em torno de 64%, e conseqüentemente a diminuição da área de alagamento.

Devido às características físico-naturais e ao considerável índice de urbanização apresentados no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, o presente estudo teve como objetivo identificar as classes de uso e ocupação do solo de uma bacia de contribuição de um ponto crítico de alagamento localizado em um trecho da Estrada da Batalha, bem como sugerir a implantação do jardim de chuva como técnica compensatória de manejo sustentável de águas pluviais urbanas nessa região, com a finalidade de mitigar a ocorrência de episódios de alagamentos.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

O município de Jaboatão dos Guararapes está situado na região litorânea do estado de Pernambuco e faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR), estando definido entre as coordenadas UTM (Fuso 25 S) 289.903,952 mE e 267.017,111 mE, e 9.110.053,672 mN e 9.088.338,009 mN, como mostra a Figura 01. Limita-se com Recife ao norte, Moreno a oeste, São Lourenço da Mata a noroeste, Cabo de Santo Agostinho ao sul e com o Oceano Atlântico a leste, ocupando uma área de, aproximadamente, 258,70 km², conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022). O município comporta uma população estimada de 711.330 habitantes, resultando numa densidade demográfica de 2.750 hab/km².

Figura 1: Localização do município de Jaboatão dos Guararapes



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O município de Jaboatão dos Guararapes está localizado numa região que, segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical úmido (AMS'), possuindo temperatura média anual de 26 °C, mínima de 18 °C e máxima de 32 °C (COSTA, 2019; NÓBREGA; FARIAS, 2016). Conforme dados históricos de precipitação disponibilizados por meio de 15 estações pluviométricas monitoradas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (quatro estações) e pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden) (11 estações), o município apresentou índices pluviométricos médios máximo e mínimo mensais de 311,99 mm e 29,00 mm, respectivamente, e média anual de 1.754,84 mm para um período de 18 anos, compreendido entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2021.

Em Jaboatão dos Guararapes, a precipitação máxima mensal ocorre durante o período de inverno, geralmente, ao longo do mês de junho, podendo atingir, sobretudo em eventos críticos, valores acima do índice pluviométrico médio máximo. Conforme Nóbrega e Farias (2016), o fato de a média máxima mensal de precipitação ocorrer nesse período é devido a

influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os ventos úmidos dos alísios de sudeste, com gênese na alta pressão semipermanente do Atlântico Sul.

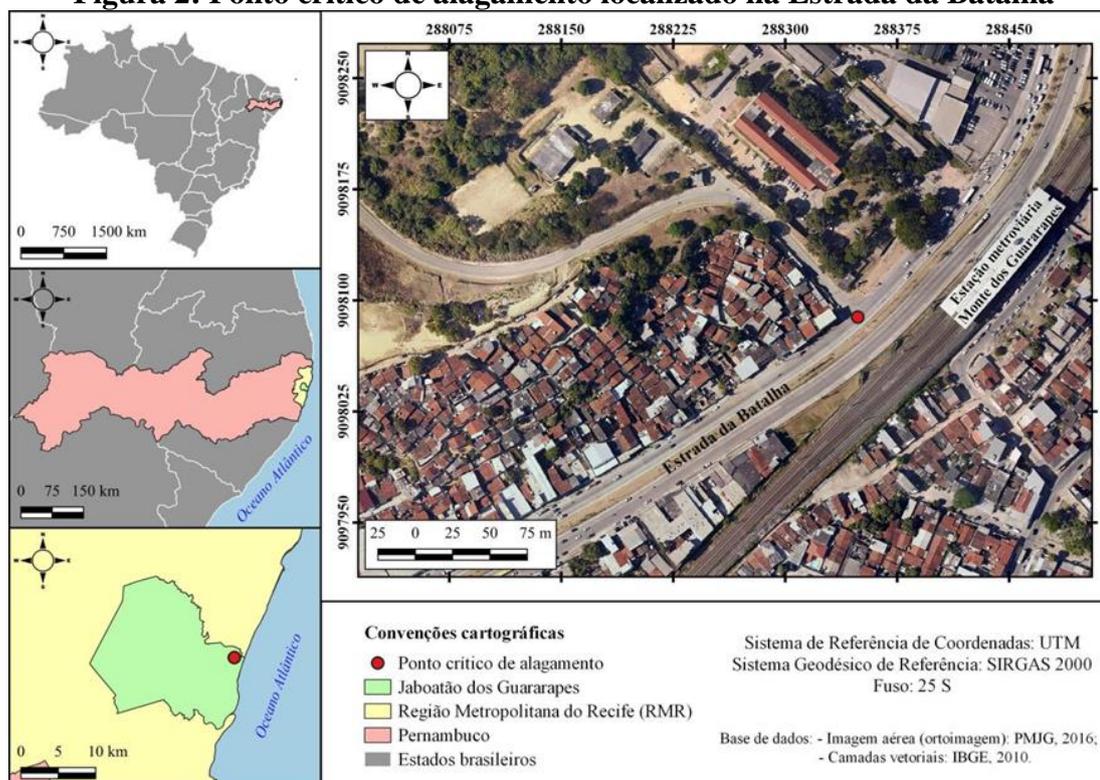
Quanto à geomorfologia, Jaboatão dos Guararapes possui três unidades de relevo: planície costeira, onde são encontrados vários trechos, periódica ou permanentemente, inundados; terraços marinhos, com altitudes variando de 1 a 8 metros, aproximadamente; e por colinas, que apresentam uma área com altitudes mais elevadas, podendo atingir até 100 metros, constituída por rochas cristalinas recobertas ou não por sedimentos terciário-quaternários da Formação Barreiras, ou sedimentos cretácicos da Formação Cabo (FARIAS, 2015).

Acerca da hidrografia, o município compreende as bacias dos rios Jaboatão, Pirapama e Tejipió, os quais integram a Unidade de Planejamento Hídrico 04 - UP04, denominada Metropolitana Sul (Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco [Seinfra], 2022). A bacia do rio Jaboatão, que representa a principal do município, é constituída do canal principal, o rio Jaboatão, com 75,00 km de extensão.

O processo de urbanização do município ocorreu intensamente e de modo desordenado, sem o suporte e fiscalização do Poder Público (PEREIRA; FERREIRA, 2013). Conforme os autores, problemas, em vários aspectos, como os de controle da disposição de resíduos sólidos e ocupação de moradias em áreas inapropriadas se acentuaram. Outros problemas decorrentes desse processo são as inundações urbanas e alagamentos, que se agravam durante eventos de precipitação extrema.

Alguns desses pontos estão situados no eixo viário da cidade e, em alguns casos, abrange toda a extensão da via. Uma das principais vias da cidade que contempla um ponto crítico de alagamento é a Estrada da Batalha (Figura 02). A referida via se configura como um importante instrumento de acessibilidade urbana, uma vez que articula os espaços periféricos a grandes centros urbanos por meio da circulação cotidiana de pessoas e veículos de pequeno e grande portes. Além disso, essa via é interligada à rodovia federal BR 101, que se configura como o principal acesso aos municípios da Zona da Mata Sul pernambucana.

Figura 2: Ponto crítico de alagamento localizado na Estrada da Batalha



Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

A escolha da Estrada da Batalha como local de estudo se deu pela mesma ser uma via de grande importância para o município de Jaboatão dos Guararapes, a qual está situada numa região que apresenta características físico-naturais e considerável índice de intervenção antrópica que a condiciona a compreender áreas suscetíveis ao risco de alagamento.

A Figura 03 apresenta episódios de alagamentos ocorridos na Estrada da Batalha para datas distintas, sendo uma das ocorrências registrada nas proximidades do Viaduto Henrique Dias (Figuras 05-A e 05-B) e a outra nas adjacências da Estação metroviária Monte dos Guararapes (Figura 05-C).

Figura 3: Registros de alagamento na Estrada da Batalha ocorridos nos dias 08 de março de 2015 (A), 29 de junho de 2017 (B) e 08 de abril de 2022 (C).



Fonte: G1 PE (2015); TV Guararapes (2017); Autores (2023)

Visando mitigar os alagamentos ocorridos na região do estudo, foram escolhidos como técnica compensatória os jardins de chuva, por se constituírem como uma das soluções mais simples para o controle de escoamento na fonte (REIS; ILHA, 2014). Além disso, de acordo com Melo et al. (2014), essas estruturas valorizam a desconexão de áreas impermeáveis, dirigindo as águas para si, de forma a contribuir no manejo das águas pluviais em meio urbano e a proporcionar benefícios ambientais, ecológicos, paisagísticos e econômicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Buscando atingir os objetivos propostos, o presente estudo foi estruturado em duas etapas principais: tratamento de dados espaciais com auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e dimensionamento dos jardins de chuva. Essas etapas estão descritas a seguir.

Tratamento de dados espaciais com auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Coleta dos dados espaciais

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram adquiridos pela Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes (PMJG) elementos da cartografia básica municipal, tais como: delimitação de edificações, lotes e quadras e malha viária, no formato vetorial. Também foram obtidos pela PMJG Modelos Digitais de Elevação (MDE), no formato matricial e em grade regular, numa resolução de 0,10 metros, oriundos de Perfilamento a Laser Aerotransportado; e imagens aéreas (ortoimagens), na escala de 1:1.000, advindas de cobertura aerofotogramétrica realizada no ano de 2016. Todos esses dados foram manipulados no SIG livre QGIS (Versão 3.10.9) em coordenadas UTM (Fuso 25 S) no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Delimitação da região do estudo

A partir da identificação do ponto crítico de alagamento, localizado na Estrada da Batalha, no bairro Guararapes, foi determinada uma bacia de contribuição com área total de, aproximadamente, 2,34ha, definindo a região do estudo. Para delimitação dessa bacia, inicialmente, o MDE foi submetido, no QGIS (Versão 3.10.9), à função *r.watershed*, que definiu os segmentos de fluxo (*stream*), direção de drenagem (*drainage*) e as vertentes (*half-*

basin) da região. Em seguida, por meio da função *r.water.outlet* e com a identificação de uma seção de controle, foi determinada a bacia. A área da região de estudo foi calculada de forma automatizada com auxílio da calculadora de campo, disponibilizada pela tabela de atributos da camada.

Identificação do uso e ocupação do solo

Para esta etapa, foi realizada uma análise visual fotointerpretativa na configuração do uso e ocupação do solo da região do estudo baseada nas ortoimagens disponibilizadas pela PMJG, o que possibilitou definir as seguintes classes: edificações, rede viária, solo exposto e áreas vegetadas. Para cada classe foi criada, no QGIS, uma camada, no formato vetorial *shapefile*, do tipo polígono, das quais foi possível calcular suas referidas áreas. Então, quantificar as taxas de ocupação de cada classe na região de estudo.

Dimensionamento dos jardins de chuva

O jardim de chuva é uma técnica utilizada como biorretenção que contribui para a infiltração e retenção dos volumes de água precipitados a partir de uma depreciação sendo (natural ou artificial) com a finalidade reter e diminuir os alagamentos que são mais evidentes em áreas urbanas. Além do jardim de chuva, existem outras técnicas que podem ser utilizadas para contenção das águas superficiais, tais como: trincheiras de infiltração, vala de infiltração, poço de infiltração e micro reservatórios. Entretanto, o jardim de chuva foi escolhido como técnica compensatória para este estudo, uma vez que consegue reter o efluente e atribui caráter paisagista as áreas de implantação.

Conforme Melo et al. (2014), o dimensionamento dos jardins de chuva compreende o cálculo dos seguintes elementos: a intensidade de precipitação, altura da precipitação efetiva, volume de entrada, volume de saída e altura da brita. Para determinar a intensidade de precipitação, foi utilizada a equação de intensidade – duração – frequência (IDF) para o município de Jaboatão dos Guararapes, apresentada na Equação 01, definida pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2014), a qual foi baseada em dados históricos relativos ao período compreendido entre 1968 e 2007, totalizando 40 anos.

$$i = \frac{1423,97 \times Tr^{0,1124}}{(t+21)^{0,7721}} \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

i = intensidade de precipitação (mm/h);

Tr = tempo de retorno (em anos);

t = duração do evento (min.).

Por se tratar de uma microdrenagem e de uma zona mista, ou seja, de usos residencial e comercial, foi considerado um tempo de retorno (Tr) de cinco anos e uma duração de chuva (t) de 15 minutos, valores estes adotados em obras de microdrenagem (MELO et al., 2014). Por meio do produto entre as intensidades de precipitação (i) e o tempo de duração do evento (t), foram determinadas as alturas de precipitação (P) (SALES, 2018). As vazões (Q) foram definidas pelo Método Racional (Equação 2) (MELO et al., 2014; SALES, 2018; BARROS, 2021) e o volume de entrada (VE) foi obtido pelo produto da vazão (Q) e o tempo de duração do evento (t) (Equação 3) (MELO et al., 2014).

$$Q = \frac{C \times i \times A \times 10^{-3}}{3600} \quad (\text{Eq. 02})$$

$$V_E = Q \times t \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde:

Q = vazão de projeto (m³/s);

C = coeficiente de escoamento (adimensional);

i = intensidade de precipitação (mm/h);

A = área de contribuição (m²);

VE = volume de entrada (m³);

t = duração do evento (s).

Para o valor do coeficiente de escoamento, foi adotado 0,85, devido ao tipo de zona que configura a bacia de contribuição. Conforme Melo et al. (2014), o volume de saída (VS) de uma estrutura de infiltração é definido por meio da superfície de infiltração. Para este trabalho, foi adotado que a infiltração deverá ocorrer pelo fundo e pelas laterais da camada de armazenamento do jardim de chuva. De modo geral, o volume de saída (VS) é definido pelo produto entre a lâmina infiltrada acumulada no tempo t (Iac) pela área de infiltração da estrutura (Ai) (Equação 4) (MELO et al., 2014).

$$V_S = A_i \times I_{ac} \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde:

VS = volume de saída (m³);

Ai = área de infiltração (m²);

Iac = infiltração acumulada (m).

A infiltração acumulada (Iac) foi determinada a partir do produto entre a taxa de infiltração de água no solo (Ti) e o tempo de duração do evento (t) (Equação 5). Os valores das taxas de infiltração podem ser verificadas no Quadro 01, onde foi constatado que para as características da região do estudo deverão ser adotados valores menores que 3,00 mm/h.

$$I_{ac} = T_i \times t \times 10^{-3} \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde:

Iac = infiltração acumulada (m);

Ti = taxa de infiltração de água no solo (mm/h);

t = tempo de duração do evento (h).

Quadro 1: Taxas de infiltração de água no solo para diferentes grupos de solos

Grupo de Solo	Taxa de Infiltração (mm/h)	Características
A	> 190,00	Solo arenoso e profundo.
B	40,00 - 190,00	Solo arenoso e apresenta profundidade moderada.
C	3,00 - 40,00	Solo pouco profundo e com baixa permeabilidade.
D	> 3,00	Solo argiloso, raso e impermeável.

Fonte: Adaptado de Beskow (2009).

Por fim, a camada de brita (Hb) foi determinada a partir da Equação 06 (MELO et al., 2014). Foi considerado para a altura da areia o valor de 0,30 m e para as porosidades da areia e da brita os valores respectivos a 0,25 (MEDEIROS, 2019) e 0,52 (MELO et al., 2014).

$$H_b = \frac{C \times i \times A \times t \times \frac{10^{-3}}{3600} - I_{ac} \times B \times L - I_{ac} \times L \times h_a - I_{ac} \times B \times h_a - h_a \times B \times L \times \eta_a}{B \times L \times \eta_b + I_{ac} \times L + I_{ac} \times B} \quad (\text{Eq. 06})$$

06)

Onde:

Hb = altura da brita (m);

C = coeficiente de escoamento (adimensional);

i = intensidade de precipitação (mm/h);

A = área de contribuição (m²);

t = duração do evento (s);

Iac = infiltração acumulada (m);

B e L = largura e comprimento da base do jardim de chuva (m);

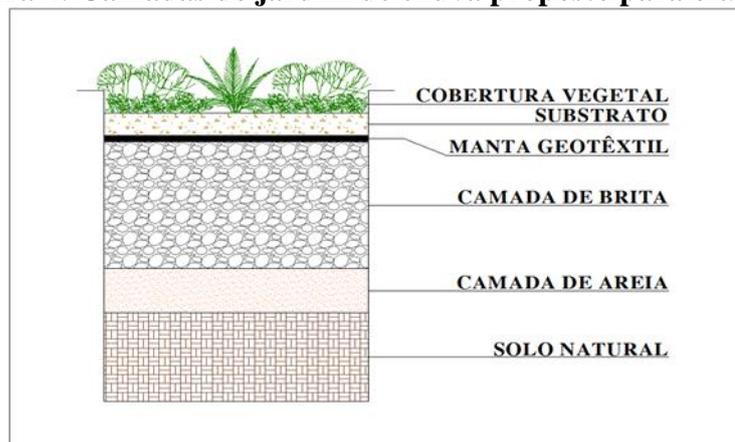
H_a = altura da camada de areia (m);

η_a = porosidade da areia (adimensional);

η_b = porosidade da brita (adimensional).

O jardim de chuva proposto para implantação deverá ser constituído por cinco camadas, como apresenta a Figura 04. São elas: cobertura vegetal: a qual é recomendada a utilização de vegetação rasteira, gramíneas e plantas de pequeno porte nativas; substrato: camada que contém os nutrientes que darão suporte à cobertura vegetal; manta geotêxtil: necessária para a retenção de finos, além da filtração preliminar das águas; camada de brita: possui a função de armazenar as águas infiltradas no sistema; e camada de areia: distribui a água infiltrada para o solo natural, contribuindo para a recarga dos lençóis freáticos.

Figura 4: Camadas do jardim de chuva proposto para o estudo



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das técnicas realizadas no SIG, foi possível definir a região do estudo, que é configurada pela delimitação da bacia de contribuição do ponto crítico de alagamento localizado na Estrada da Batalha, como apresenta a Figura 05.

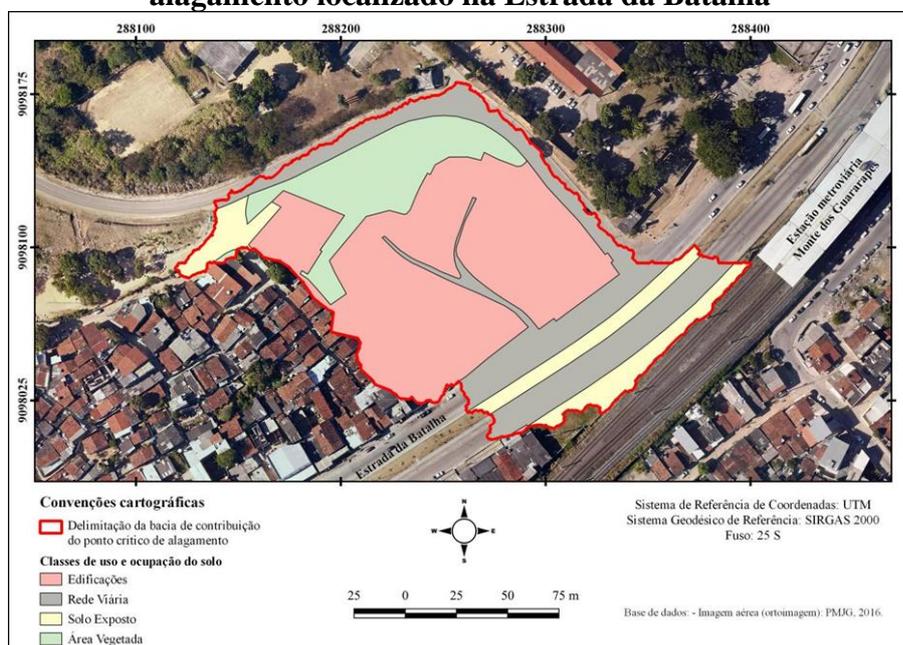
Figura 5: Delimitação da bacia de contribuição do ponto crítico de alagamento localizado na Estrada da Batalha



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A partir da delimitação da área de estudo, foi elaborado um mapa temático, conforme retrata a Figura 06, evidenciando a configuração do uso e ocupação do solo da região. Conforme a classificação dos usos identificados nesse mapeamento, foi constatado que a região é composta por formações de vegetação, solo exposto e uma quantidade significativa de área urbanizada, representada por vias e edificações. A expressiva quantidade de edificações representa o produto de uma ocupação irregular e desordenada que, de acordo com Montenegro (2014), se deve aos seguintes fatores: a facilidade aos modais viário e metroviário; a grande proximidade com o Aeroporto Internacional dos Guararapes; a ampliação dos polos industrial e comercial localizados no entorno da BR-101 e da Estrada da Batalha, respectivamente; e a localização no território estratégico do Porto de Suape.

Figura 6: Uso e ocupação do solo da bacia de contribuição do ponto crítico de alagamento localizado na Estrada da Batalha



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Os dados presentes na Tabela 1 revelam, em termos de medida de superfície e taxa de ocupação, o comportamento das classes de uso e ocupação do solo da bacia de contribuição do ponto crítico de alagamento localizado na Estrada da Batalha. Foi possível verificar que a região estudada apresenta a classe de área vegetada ocupa 3.469,07 m², representando 14,83% da região. A pequena representação dessa classe está diretamente relacionada, principalmente, ao desmatamento e outras formas de supressões, os quais são ocasionados pelo avanço da urbanização na região.

As porções representadas pelo solo exposto apresentaram 11,74% da região estudada, correspondendo a uma área de 2.748,43 m². Essa classe corresponde aos acessos não pavimentados às edificações do local e ao canteiro central da Estrada da Batalha. As edificações e a rede viária ocupam uma área de 11.240,98 m² e 5.944,16 m², respectivamente, equivalendo a 48,03 % e 25,40% da bacia. Somadas, as classes que constituem as áreas impermeabilizadas da bacia representam 73,43% do local, prevalecendo na região.

Tabela 1: Classificação do uso e ocupação do solo da bacia de contribuição do ponto crítico de alagamento localizados na Estrada da Batalha.

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Área (m ²)	Taxa de Ocupação (%)
Área Vegetada	3.469,07	14,83
Solo Exposto	2.748,43	11,74
Edificações	11.240,98	48,03
Rede Viária	5.944,16	25,40
Total	23.402,64	100,00

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Os locais propostos para implantação dos jardins de chuva foram o canteiro central da Estrada da Batalha e o espaço compreendido entre o passeio da referida via e o muro de delimitação do sistema metroviário existente no local, como pode ser observado na Figura 07.

Figura 07: Locais propostos para implantação dos jardins de chuva



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Para o dimensionamento dos mesmos, foram considerados os parâmetros apresentados na Tabela 2, resultando nos volumes de entrada (VE) de 245,60 m³ e 287,83 m³ e volumes de nos saída (VS) de 0,50 m³ e 0,39 m³, sendo ambos os volumes correspondentes à vertente direita e à vertente esquerda, respectivamente. Devido à configuração dos locais em que os jardins de chuva estão propostos a ser instalados, as larguras médias das bases foram definidas em 6,00 m e 7,50 m e o comprimento em 100,00 m e 70,00 m, respectivos às vertentes direita e esquerda. Assim, as alturas da camada da brita foram definidas em 0,57 m e 0,91 m, proporcionando o movimento da água no sistema, bem como o armazenamento das águas infiltradas.

Tabela 2: Parâmetros adotados para o dimensionamento dos jardins de chuva

Parâmetros	Vertente Direita	Vertente Esquerda
C (coeficiente de escoamento)	0,85	0,85
i (intensidade de precipitação)	107,26 mm/h	107,26 mm/h
A (área de contribuição)	10.775,14 m ²	12.627,90 m ²
t (duração do evento)	900 s	900 s
I _{ac} (infiltração acumulada)	0,00075 m	0,00075 m
B (largura da base do jardim de chuva)	6,00 m	7,50 m
L (comprimento da base do jardim de chuva)	110,00 m	70,00 m
H _a (altura da camada de areia)	0,30 m	0,30 m
η _a (porosidade da areia)	0,25	0,25
η _b (porosidade da brita)	0,52	0,52
H _b (altura da camada da brita)	0,57 m	0,91 m

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Buscando verificar a eficácia de um jardim de chuva experimental como dispositivo de infiltração de água pluvial no solo e como elemento amortecedor de volumes pluviométricos nas redes de drenagem urbana, Barros (2021) encontrou resultados semelhantes aos deste trabalho. A autora foi responsável por instalar esse tipo de sistema nas dependências da Escola Politécnica de Pernambuco, o qual apresentou a camada de brita com altura de 0,90 m. Para isso, o jardim foi executado num formato retangular, apresentando dimensões de 2,00 m de largura e 3,00 m de profundidade, e foram utilizados como parâmetros uma intensidade de precipitação de 130,94 mm/h, uma área de contribuição de 56,00 m² e uma duração de chuva de 10 minutos. Através da implantação desse dispositivo, foi constatado um alívio no sistema de drenagem para chuvas de intensidade 198,40 mm/h, ocorridas num intervalo de 27 minutos, a qual é classificada como bastante extrema.

Saatkamp (2019), propôs a instalação da técnica do jardim de chuva em um condomínio residencial no município de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, a fim de permitir a infiltração e a percolação da água no solo e analisar a eficácia desse dispositivo quando comparado ao reservatório de retenção, estrutura de drenagem adotada no local analisado. Foi prevista a implantação de 13 jardins de chuva com áreas variando de 20,00 m² a 100,00 m² suprimindo áreas de contribuição de 160,64 m² a 830,96 m², respectivamente. As estruturas foram dimensionadas para camadas de brita com alturas mínima de 0,54 m e máxima de 0,74 m, capazes de armazenar volumes de água de chuva compreendidos entre 10,63 m³ e 55,05 m³.

CONCLUSÃO

Mediante a realização de análise espacial foi possível obter dados de uso e ocupação do solo da bacia de contribuição de um ponto crítico de alagamento localizado na Estrada da Batalha, no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. Os resultados apresentados neste trabalho indicaram que as classes de uso de edificações e de rede viária, as quais se constituem como áreas impermeabilizadas, prevalecem na região, representando 73,43% da área total em estudo.

Através do dimensionamento, espera-se que a técnica compensatória do jardim de chuva, proposta neste estudo, seja eficiente para atenuar o escoamento superficial, bem como consequentes episódios de alagamento, na região ocasionada pelo processo excessivo de impermeabilização do solo. Essa técnica caracteriza uma solução em potencial para o desenvolvimento de cidades que buscam ser sustentáveis, contribuindo para a restauração de ecossistemas urbanos.

Por fim, destaca-se a importância da elaboração desse tipo de estudo com o intuito de subsidiar um planejamento urbano adequado, visando o uso ordenado da terra de forma a realizar a intensificação da implantação desse tipo de técnica compensatória a fim de minimizar transtornos provocados por eventos extremos de precipitação

REFERÊNCIAS

ALVES, P. B. R.; MELO FILHO, H.; TSUYUGUCHI, B. B., RUFINO, I. A. A.; FEITOSA, P. H. C. Mapping of flood susceptibility in Campina Grande county – PB: A spatial multicriteria approach. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 24, n. 1, p. 28-43, 2018.

BARROS, E. N. **Jardim de chuva**: técnica em manejo de águas pluviais urbanas, alternativa mitigatória de alagamentos no espaço interno da Poli. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica de Pernambuco, UPE, Recife - PE.

BEGA, J. M. M.; RIBEIRO, N. U. F.; LIMA, C. G. R. Suscetibilidade a enchentes: estudo de caso na microbacia hidrográfica do Córrego da Onça em Três Lagoas - MS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 3, p. 33-44, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Cartilha de orientação à população no período de alerta de chuvas intensas**. Brasília, 2017.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do risco a inundação na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019.

COSTA, H. B. **Perspectivas de rearranjo socioespacial a partir da produção imobiliária de alto padrão no bairro de Barra de Jangada - Jaboatão dos Guararapes - PE.** 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, UFPE, Recife - PE.

COSTA, S. T. L.; FARIAS, L. J. S.; LOUREIRO, G. E. Aspectos geoambientais como subsídio ao planejamento urbano da cidade de Marabá (PA). **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 9, n. 2, p. 257-284, 2020.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; COELHO, G.; SILVA, A. M.; VIOLA, M. R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 169-178, 2009.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil.** Porto Alegre: CPRM, 2014. 10 p.

FARIAS, R. F. L. **Climatologia de ocorrência de eventos extremos pluviais no município de Jaboatão dos Guararapes/PE e a repercussão dos transtornos provocados na sociedade.** 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, UFPE, Recife - PE.

FONSECA NETO, G. C.; SILVA JUNIOR, M. A. B.; RODRIGUES, A. B.; RIBEIRO NETO, A.; CABRAL, J. J. S. P. Modelagem bidimensional para a verificação hidráulica da canalização de um trecho do rio Fragoso em Olinda (Pernambuco, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2963-2977, 2020.

FRUTUOSO, G. K. C.; GRIGIO, A. M.; BARROS, T. C. A. N. Inundações urbanas: um olhar para o planejamento urbano na revisão do plano diretor de Assú – RN, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 61, p. 118-134, 2020.

G1 PE. **Chuvas no Grande Recife causam transtornos para a população.** G1 PE, Recife, 08 de mar. de 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2015/03/chuvas-no-grande-recife-causam-transtornos-para-populacao.html>>. Acesso em: 21 de ago. de 2022.

GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R. A. O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 1, p. 92-106, 2016.

HOLANDA, M. A. C. R.; OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; SILVA, S. R. Analysis of the viability of implementing sustainable proposals to reduce tunnel flooding in Recife, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1904-1913, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades: Jaboatão dos Guararapes.** 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama>>. Acesso em: 21 ago. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Downloads**. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 21 ago. 2022.

LICCO, E. A.; MACDOWELL, S. F. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Iniciação**, v. 5, n. 3, p. 160-174, 2015.

LIMA, D. F.; SOUSA JUNIOR, A. M.; LIMA JUNIOR, F. O.; QUEIROZ, J. H. M.; Expansão urbana de São Miguel/RN: Análise no recorte temporal de 2000 a 2017. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 182-200, 2021.

MEDEIROS, I. R. **Análise comparativa de sistemas de drenagem compensatória: vala de infiltração e jardim de chuva**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana-PR.

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá – SP utilizando Método de Análise Hierárquica. **Leopoldianum**, v. 45, n. 126, p. 69-85, 2019.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 147-165, 2014.

MONTENEGRO, G. A. A. **A Gestão do Parque Histórico Nacional dos Guararapes: Análise e proposições**. 2014. Dissertação (Mestrado em Gestão Pública) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, UFPE, Recife-PE.

MOURA, E. F. S.; SILVA, S. R. “Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife”. In: OTTONI, A. B. et al. (Orgs.). **Drenagem urbana: Soluções alternativas sustentáveis**. Tupã: Editora ANAP, 2018. p. 31-42.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L. Eventos extremos pluviais em Jaboatão dos Guararapes: Climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, v. especial, p. 70-82, 2016.

PEREIRA, A.; FERREIRA, R. Educação ambiental e a importância da utilização dos resíduos urbanos no Município de Jaboatão dos Guararapes/PE. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 66-80, 2013.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente construído**, v. 14, n. 2, p. 79-90, 2014.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O. Influência das condições de instalação do sistema predial de água pluvial nas soluções de drenagem na fonte. **Ambiente construído**, v. 19, n. 1, p. 129-141, 2019.

RODRIGUES, G. C.; SANTINI JUNIOR, M. A. Avaliação do emprego de técnicas compensatórias na sub-bacia urbana Ribeirão do Santa Rita do município de Fernandópolis, São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 231-237, 2021.

RODRIGUEZ, C. A. M.; TEIXEIRA, B. A. N. Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 143-150, 2021.

SAATKAMP, G. **Jardim de chuva**: Estudo comparativo de um sistema de biorretenção e uma bacia de amortecimento pluvial. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre-RS.

SALES, A. C. M. N. **Metodologia para definição de projeto para um sistema de drenagem pluvial urbana sustentável com estudo de caso**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília-DF.

SALES, C. B.; ALMEIDA, L. Q. Diagnóstico da exposição aos riscos de movimento de massa e alagamento em comunidades do município de Alagoa Nova, Paraíba / Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 7, p. 2537-2549, 2019.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SEINFRA - Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – PERH/PE**. 2022. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em: 06 abr. 2024.

SILVA, R. C.; TEIXEIRA, K. O.; SANTOS, V. A. Elaboração de projeto de jardins de chuvas para minimização das enchentes. **Construindo**, v. 12, n. 01, p. 56-66, 2020a.

SILVA, S. R.; SILVA JÚNIOR, M. A. B.; OLIVEIRA, R. L. M. Modelagem computacional de reservatório de retenção sob logradouro: uma alternativa para controle de alagamentos em área densamente urbanizada do Recife/PE. **Revista DAE**, v. 68, n. 226, p. 196-212, 2020b.

SILVA JÚNIOR, M. A. B.; CABRAL, J. J. S. P.; FONSECA NETO, G. C.; SILVA, P. O.; GUERRA, C. M. F.; SILVA, S. R. Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 03, p. 302-318, 2020b.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, J. J. S. P. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 1, p. 222-240, 2020a.

SOUZA, M. C. C.; AMORIM, M. C. C. T. Risco e vulnerabilidade socioespacial: O exemplo da bacia Córrego do Veado em Presidente Prudente (SP). **Boletim de Geografia**, v. 36, n. 1, p. 17-29, 2018.

TV GUARARAPES OFICIAL. **Alagamento em Prazeres [Balanço Geral – 29.06.17]**. Jaboatão dos Guararapes, 29 jun. 2017. YouTube: Tv Guararapes Oficial. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dT-XTf7RNRI>>. Acesso em: 21 de ago. de 2022

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2016.

Recebido em Junho de 2023

Aprovado em Junho de 2024

Publicado em Agosto de 2024