

**Análise de biovaleta como controle LID para retardar o escoamento superficial na cidade do Recife/PE**

*Biovalley analysis as a LID control to delay surface runoff in the city of Recife/PE*

*Análisis de biovalle como control LID para retardar la escorrentía superficial en la ciudad de Recife/PE*

***Kássia Carneiro da Silva Santana***<sup>1</sup>

Mestranda, UPE, Brasil

kcss@poli.br

**Willames de Albuquerque Soares**

Professor Doutor, UPE, Brasil

was@poli.br

**RESUMO**

O crescimento urbano trouxe consigo a formação de grandes áreas impermeabilizadas nas cidades, ocasionando a redução de infiltração de águas pluviais no solo e o aumento do volume de escoamento superficial, gerando contratempos nos dias de eventos extremos de precipitação. Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo analisar o uso de biovaleta como Desenvolvimento de Baixo Impacto - Low Impact Development (LID) para o retardo do escoamento superficial em áreas propensas a alagamentos na cidade do Recife/PE. Como metodologia foram utilizados o modelo QGIS, para extração de dados a partir de imagem raster, e o modelo *Storm Water Management Model* (SWMM) para simulação de cenários. Foram simulados três cenários com pluviosidades de 20,00mm, 39,00mm e 60,00mm. Os resultados mostraram que a implementação das biovaletas proporcionaram uma redução na vazão total da área de estudo em 0,50% e na vazão máxima da sub-bacia SB1 para os cenários 2 e 3 em 77,96% e 41,23% respectivamente. Além disso, houve redução quanto ao escoamento superficial de 11,15% em média e um acréscimo de área verde de 4,00%. O sistema de biorretenção apresentou infiltração que variaram de 29,83mm a 89,35mm entre os três cenários. Assim, por meio do modelo SWMM foi possível analisar que a implantação de biovaletas como controle para retardo escoamento superficial e aumento da infiltração no solo é válida, e a literatura recomendou que sejam implantados vários tipos de dispositivos sustentáveis e integrados à rede de drenagem existente e ao espaço urbano para que sejam possíveis resultados mais expressivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escoamento superficial. Biovaletas. SWMM.

**ABSTRACT**

*Urban growth brought with it the formation of large impermeable areas in cities, causing a reduction in the infiltration of rainwater into the soil and an increase in the volume of surface runoff, causing setbacks on days of extreme precipitation events. In this context, the present research aimed to analyze the use of a biovaleta as a Low Impact Development (LID) for delaying surface runoff in areas prone to flooding in the city of Recife/PE. As a methodology, the QGIS model was used to extract data from raster images, and the Storm Water Management Model (SWMM) for scenario simulation. Three scenarios were simulated with rainfall of 20.00mm, 39.00mm and 60.00mm. The results showed that the implementation of the biovaletas provided a reduction in the total flow of the study area by 0.50% and in the maximum flow of the SB1 sub-basin for scenarios 2 and 3 by 77.96% and 41.23% respectively. In addition, there was a reduction in surface runoff of 11.15% on average and an increase in green area of 4.00%. The bioretention system showed infiltration ranging from 29.83mm to 89.35mm between the three scenarios. Thus, through the SWMM model, it was possible to analyze that the implantation of biovaletas as a control for delaying surface runoff and increasing infiltration into the soil is valid, and the literature recommended that various types of sustainable devices be implemented and integrated into the existing drainage network and urban space so that more expressive results are possible.*

**KEYWORDS:** Surface runoff. Biovaletas. SWMM.

**RESUMEN**

*El crecimiento urbano trajo consigo la formación de grandes áreas impermeables en las ciudades, provocando una reducción en la infiltración de agua de lluvia en el suelo y un aumento en el volumen de escorrentía superficial, provocando retrocesos en los días de eventos extremos de precipitación. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo analizar el uso de un biovaleta como Desarrollo de Bajo Impacto (LID) para retardar la escorrentía superficial en áreas propensas a inundaciones en la ciudad de Recife/PE. Como metodología se utilizó el modelo QGIS para la extracción de datos de imágenes raster y el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM) para la simulación de escenarios. Se simularon tres escenarios con lluvia de 20,00 mm, 39,00 mm y 60,00 mm. Los resultados mostraron que la implementación de las biovaletas proporcionó una reducción del caudal total del área de estudio en un 0,50 % y en el caudal máximo de la subcuenca SB1 para los escenarios 2 y 3 en un 77,96 % y un 41,23 % respectivamente. Además, hubo una reducción de escorrentía superficial de 11,15% en promedio y un aumento de área verde de 4,00%. El sistema de bioretención mostró una infiltración que varió de 29,83 mm a 89,35 mm entre los tres escenarios. Así, a través del modelo SWMM, fue posible analizar que la implantación de biovaletas como control para retrasar la escorrentía superficial y aumentar la infiltración en el suelo es válida, y la literatura recomendó implementar varios tipos de dispositivos sostenibles e integrarlos a los existentes red de drenaje y espacio urbano para que sean posibles resultados más expresivos.*

**PALABRAS CLAVE:** Escorrentía superficial. Biovaletas. SWMM.

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana tem sido dinâmica e complexa nos grandes centros devido ao não planejamento. Decorrente do aumento de construções e infraestruturas e promovendo a ampliação de áreas impermeáveis quanto ao uso do solo, a expansão urbana tem alterado o ambiente construído e os espaços verdes existentes. Isso tem refletido na qualidade de vida dos usuários das cidades e ocasionado impactos ambientais, socioculturais e econômicos. Quanto maior o crescimento populacional de uma cidade, maior a área impermeável de seu solo e menor a sua qualidade ambiental (LI, *et al.*, 2019; LIU, W.; ENGEL, B. A.; FENG, Q., 2021; SAHANA, 2018).

O Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (DESA) afirmou que até o ano de 2050 mais de 2,5 bilhões da população mundial terá escolhido um centro urbano para moradia. Essa afirmação se deu em 2019, quando a Organização das Nações Unidas (ONU), em comemoração ao Dia Mundial das Cidades, noticiou que a urbanização das cidades é um fenômeno mundial e irreversível, e recomenda aos planejadores das cidades buscarem soluções sustentáveis e uso de tecnologias limpas para amenizar os problemas urbanísticos e climáticos existentes nos centros urbanos (ONU, 2019).

Assim, com o avanço da urbanização os fatores causadores dos alagamentos provindos de precipitações pluviométricas são potencializados e onde há áreas impermeabilizadas no solo, eles são predominante. Por sua vez, o crescimento de áreas impermeáveis do solo e a deficiência do sistema de drenagem urbana tradicional têm colaborado para formação de maiores regiões de áreas alagadas (ABASS, 2020).

Atualmente, países Europeus, Asiáticos e Americanos tem buscado técnicas ou métodos capazes de atenuar os alagamentos ou retardar o escoamento superficial a partir de estratégias que abordem o gerenciamento das águas pluviais no sistema de drenagem urbana local, como controle na fonte, e que seja de modo sustentável, com foco na infiltração dessas águas e na sua efetiva aplicação. Essas estratégias buscam assemelhar-se aos elementos do meio ambiente, promovendo o uso das características do solo e a conservação do meio (ADASA, 2018; SOUZA; GIELEN *et al.*, 2018; CRUZ; TUCCI, 2012).

A exemplo disso tem-se o Low Impact Development (LID) conhecido no Brasil como Desenvolvimento de Baixo Impacto, que por meio de dispositivos sustentáveis, conectados ou não à rede de drenagem existente, atuam como uma estratégia em busca de aprimorar o sistema de drenagem urbana existente e resgatar o ciclo e o fluxo naturais da água (ADASA, 2018; GIELEN *et al.*, 2018).

Além disso, as técnicas LID como poços de infiltração, biovaletas, telhados verdes, jardins de chuvas, trincheiras de infiltração, valas vegetadas, bacias de retenção, pavimentos permeáveis têm promovido adequações nas cidades capazes de mimizar os impactos provenientes das alterações climáticas, que contribuem para geração picos de chuvas e ocasionam alagamentos urbanos. Essas técnicas proporcionam (BAE; LEE, 2020).

E a fim de atenuar os impactos provocados pelos picos de pluviosidade diversos pesquisadores como Alves (2020), Ballard *et al.*, (2015) e Castro-Fresno *et al.*, (2013) vêm se

Buscando analisar, avaliar e simular, estratégias capazes de mitigar os alagamentos nas cidades.

A fim de compreender o comportamento das áreas alagadas nas bacias hidrográficas, muitos estudiosos fazem uso de modelos hidráulico-hidrológicos que retratam a realidade, de maneira simplificada, de uma bacia hidrográfica urbana, visando o entendimento dos processos que as envolvem e são capazes de simular hipóteses, fazendo previsão do futuro e auxiliando nas tomadas de decisões quanto ao gerenciamento das águas pluviais urbanas (ALMEIDA; SERRA, 2017; CLARKE, 1973; SANTOS, 2009).

Assim, o modelo SWMM é capaz de simular o desempenho hidráulico-hidrológico, possibilitando ser visualizado em vários formatos. A variabilidade espacial é alcançada, a partir da subdivisão da área de estudos em áreas menores e uniformes que são as sub-bacias, com seus parâmetros. Dessa forma, o deflúvio é carregado entre as subáreas e o sistema de drenagem urbana, por meio de redes de canais, tubulações e dispositivos (ROSSMAN, 2016).

## 2 OBJETIVOS

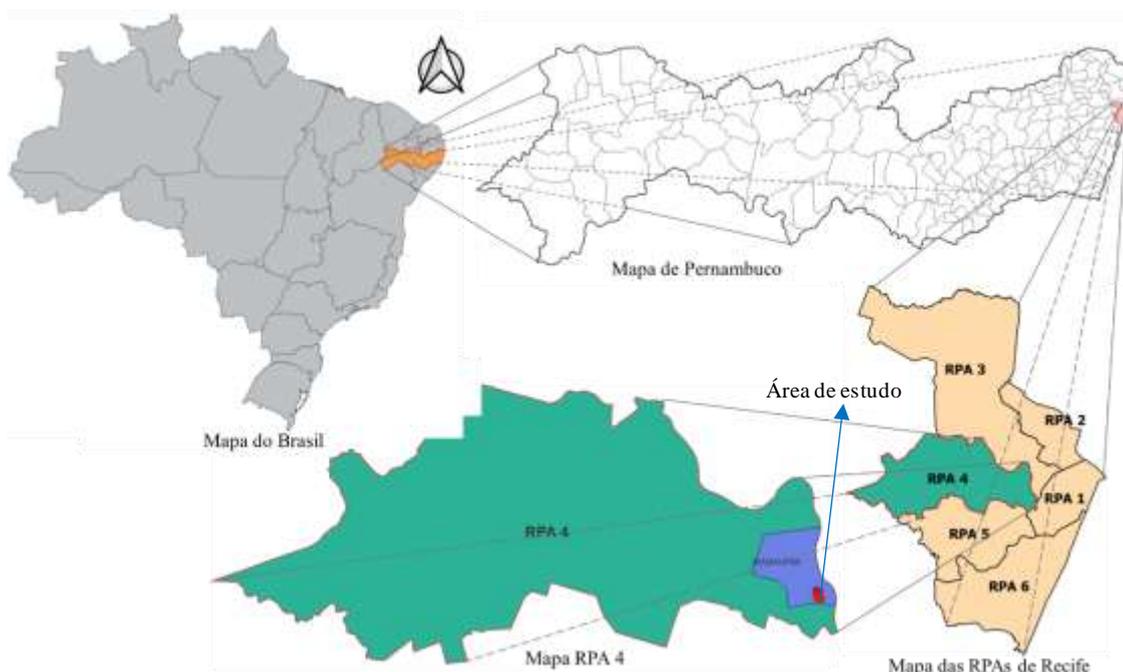
Nesse contexto, esse artigo buscou analisar a implementação de biovaletas como estratégia LID para retardar o escoamento superficial nas áreas alagadas na cidade do Recife/PE, fazendo uso do modelo hidráulico-hidrológico SWMM para simulação de cenários.

## 3 METODOLOGIA / MÉTODO DE ANÁLISE

### 3.1 Localização e área de estudo

A área de estudo encontra-se localizada na cidade do Recife, na Região Política Administrativa (RPA) 4, que possui noventa e quatro bairros em sua totalidade conforme Figura 1, incluindo o bairro da Madalena, na zona Oeste da cidade. A seleção da área se deu por ela ainda ser um dos pontos críticos de alagamentos existentes no centro urbano.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Autora (2022)

A área de estudo possui uma extensão de 65.733,83m<sup>2</sup>, sendo composta por cerca de 14,25% áreas verdes ou solo natural e 85,75% de áreas impermeáveis, o que corrobora para os muitos alagamentos ocorridos. A área é banhada pelo Rio Capibaribe e possui tipologia de construção de uso misto.

### 3.2 Modelo hidráulico-hidrológico

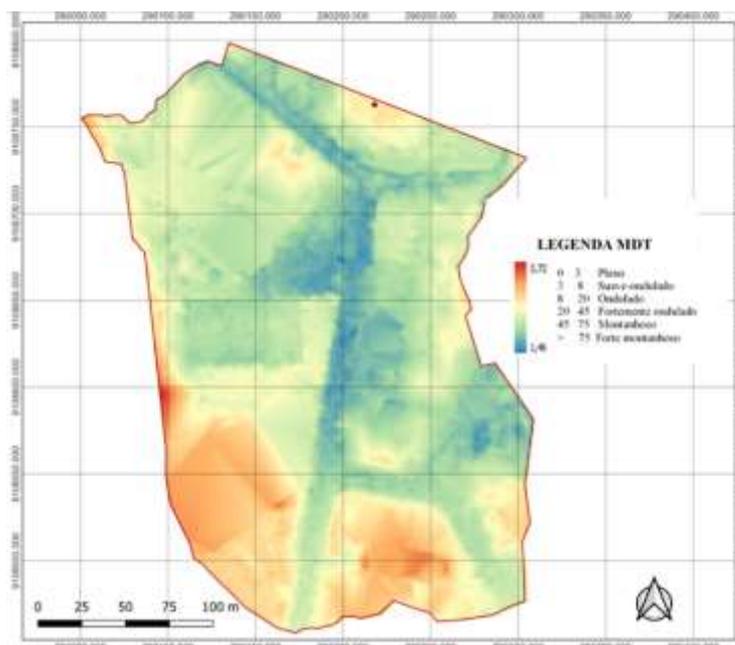
Para simulação dos cenários foi utilizado o SWMM, conhecido como um modelo hidráulico-hidrológico determinístico, conceitual e hidrodinâmico bastante empregado para o gerenciamento de águas pluviais, pois tem simulação de chuva-vazão que proporciona analisar a quantidade e qualidade do escoamento superficial, por meio de eventos contínuos ou únicos, levando em conta a variabilidade espacial. O modelo foi desenvolvido pelo *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos que é responsável pela preservação dos recursos hídricos e naturais e atua efetuando ações que resguardecam a disponibilidade hídrica e a proteção ao meio ambiente, a partir de programas de pesquisas realizados nos Estados Unidos (ROSSMAN, 2012).

Foi utilizado também o modelo QGIS de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que pertence à *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), *software* livre de multiplataforma, para modelagem e extração de alguns parâmetros físicos da área de estudo e para as demarcações das sub-bacias, necessários para alimentar o SWMM.

#### 3.2.1 Parâmetros físicos

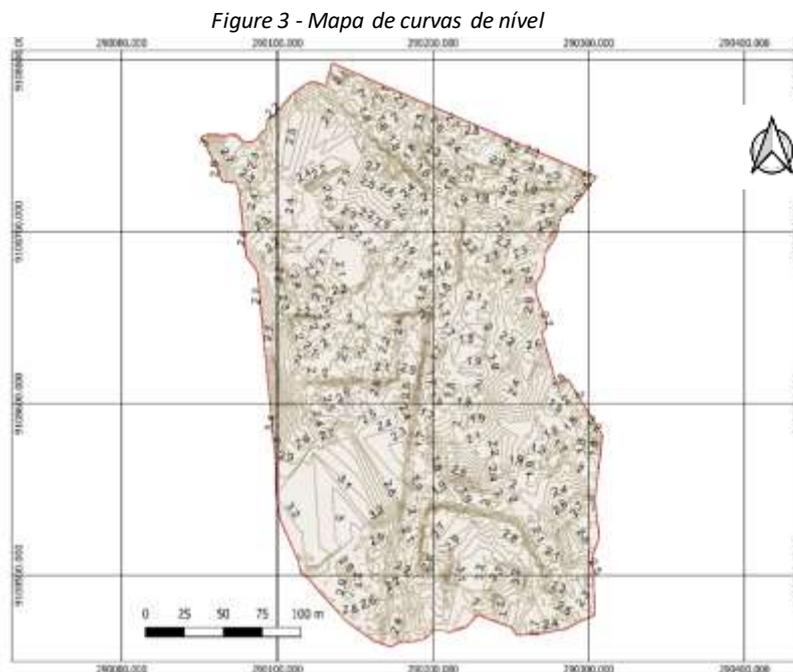
A obtenção dos dados dos parâmetros físicos se deu por meio da modelagem, no Qgis, a partir de imagem raster disponibilizada pelo portal Pernambuco 3D. Então, foi confeccionado o Modelo Digital do Terreno (MDT), conforme a Figura 2.

Figura 2 - Mapa do Modelo Digital do Terreno



Fonte: Elaborado a partir da imagem raster

Em seguida foi elaborado o Mapa de Curvas de Nível, considerando os contornos lançados a cada 0,10m, buscando representar com mais precisão a topografia da área de estudo, conforme Figura 3. A partir desse mapa e juntamente com a rede de drenagem foi possível realizar as delimitações das nove sub-bacias.



Fonte: Elaborado a partir do MDT

Os dados da rede de drenagem existente foram extraídos do sistema ESIG, disponibilizado pela Prefeitura da Cidade do Recife. Já as dimensões dos poços de visitas foram obtidas por meio da pesquisa de Silva (2018). Os coeficientes de rugosidade Manning adotados foram os mesmos utilizados por Silva Júnior (2015) e Silva (2018).

A largura média das sub-bacias foi calculada pelas Equações (1) e (2), que foram utilizadas por Collodel (2009) e Silva (2018), onde se considera que a bacia realista não possua forma retangular e assim relaciona o seu perímetro com a área.

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \times [1 - \sqrt{1 - (1,128/Kc)^2}] \quad (1)$$

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde:

L = largura média (m)

A = área da sub-bacia (km<sup>2</sup>)

Kc = coeficiente de compacidade

P = perímetro da sub-bacia (km)

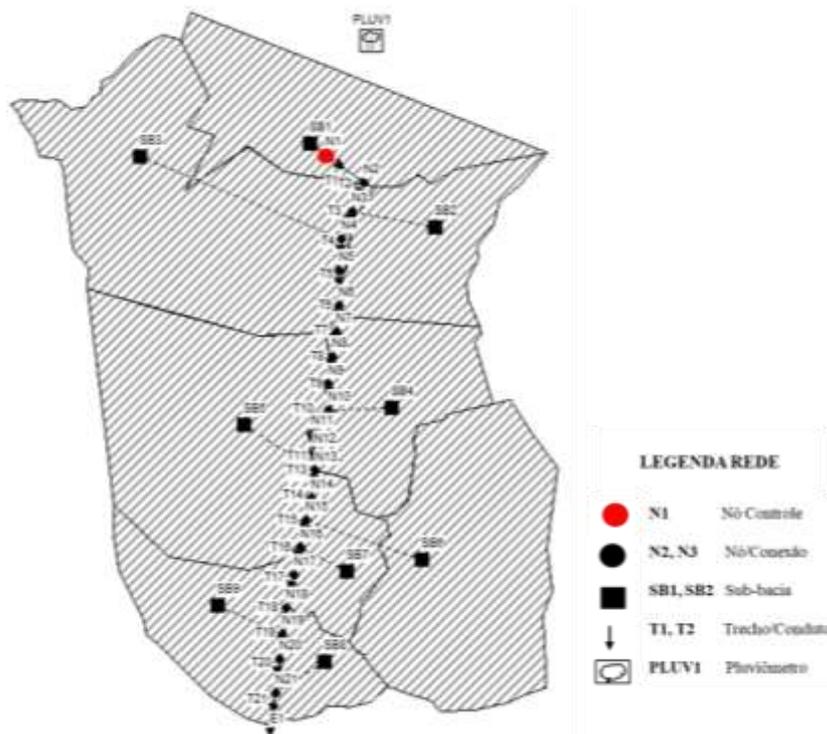
Esses dados foram obtidos por meio do QGIS. A taxa de infiltração utilizada foi a apresentada no estudo de Silva (2018) que resultou em taxas de infiltração mínima de 211,96 mm/h e máxima de 295,08 mm/h, com coeficiente de decaimento de 0,163, que serão lançados como parâmetro de infiltração no modelo. Os dados de precipitação e tábua de maré são as variáveis do modelo.

### 3.2.2 Rede de drenagem

Com os dados do ESIG e os dados obtidos da pesquisa de Silva (2018) foi confeccionado o mapa de rede de drenagem e as sub-bacias, no SWMM conforme mostrado na Figura 4.

Nas simulações foram consideradas que a rede de drenagem existente estava operando em 83,33% da sua capacidade total, pressupondo possíveis acúmulos de resíduos sólidos, além do carreamento de sedimentos. Foi definido como ponto de controle o nó N1 destacado.

Figura 4 - Rede de drenagem no modelo



Fonte: Autora (2022)

## 4 RESULTADOS

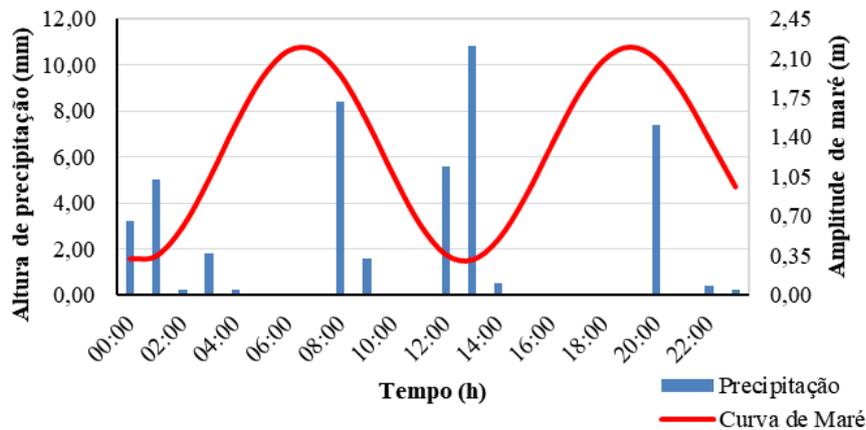
### 4.1 Calibração e Validação

Foi realizada calibração manual no modelo, que consistiu no método de tentativas e erros de ajustes dos parâmetros, também utilizados por Silva & Cabral (2014) e Silva Junior *et al.*, (2017). Nessa pesquisa optou-se em realizar o ajuste no coeficiente de rugosidade de Manning dos trechos, por ter se mostrado mais sensível.

A calibração foi realizada adotando o evento do dia 22 de março de 2022, onde apresentou uma tábua de maré com amplitude de 1,90m, como pode ser visto na Figura 5. A curva de maré foi elaborada com a interpolação das variações de marés, num intervalo de tempo para uma hora, levando em conta os eventos da pluviosidade.

Durante a maior pluviosidade a maré ainda estava em baixamar com cerca de 0,30m.

Figura 5 - Precipitação x curva de maré – calibração



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do CEMADEN e DHN (2022)

O evento do dia 22 de março de 2022 teve uma precipitação total de 101,60mm. A altura de lâmina observada no nó de controle foi de 0,23m (Figura 6) e o volume de inundação calculado foi de 241,00m<sup>3</sup>. Foi estimado para esse evento uma área de alagamento de 1.050,00m<sup>2</sup> para o nó N1, ponto de controle.

Figura 6 - Imagem do evento da calibração



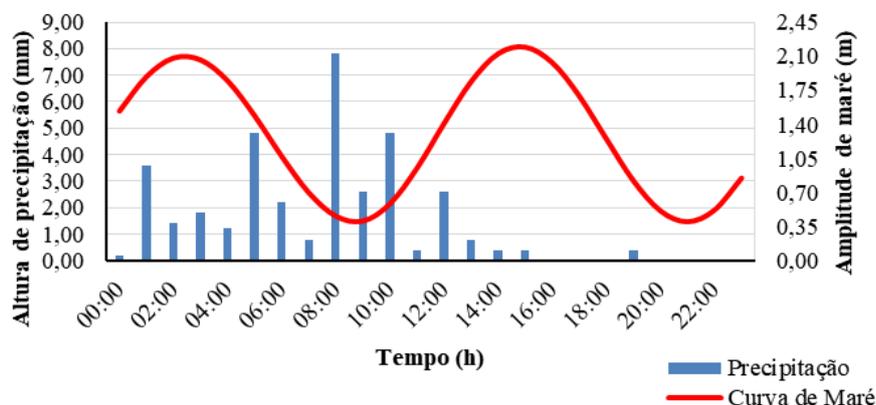
Fonte: Autora (2022)

Já a validação foi realizada com o evento ocorrido em 28 de maio de 2022, onde houve uma precipitação total de 192,60mm, que correspondeu à 26,54% da precipitação total processada do mês que foi de 725,50mm de acordo com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

A maior chuva desse evento ocorreu às 10:20h com 14,60mm de precipitação, ocasionando grandes transtornos pra cidade.

A maré para esse dia que teve uma amplitude de 1,80m, estando ainda em baixamar durante a maior precipitação com cerca de 0,60m Figura 7.

Figura 7 - Precipitação x curva de maré - validação



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do CEMADEN e DHN (2022)

Foi estimada uma lâmina de alagamento de 0,33m, no ponto de controle, referente a esse evento de acordo com Figura 8.

Figura 8 - Imagem do evento da validação



Fonte: Autora (2022)

E a fim de retardar o escoamento superficial e atenuar os alagamentos na área, foi proposto implantação de controle LID em módulos de biovaletas, nas calçadas da Praça Euclides da Cunha, do Clube Intenacional e da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco.

As intensidade das chuvas foram classificadas segundo Souza; Azevedo; Araújo (2008) e apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação da intensidade da chuva

Classificação da intensidade da chuva	
Tipo de Chuva	Valores
Chuva muito fraca (Cmf)	2,20 ≤ P < 4,20 mm
Chuva fraca (Cf)	4,20 ≤ P < 8,40 mm
Chuva Moderada (CM)	8,40 ≤ P < 18,60 mm
Chuva Forte (CF)	18,60 ≤ P < 55,30 mm
Chuva Muito Forte (CMF)	55,30 ≤ P < 100,00 mm
Chuva Extrema (CE)	100,00 ≤ P < 150,00 mm
Chuva Muito Extrema (CME)	≥ 150,00mm

Fonte: Souza; Azevedo; Araújo (2008) - Adaptado

### 4.2 Cenários

Foram realizadas simulações em três cenários distintos, considerando-os sem o controle LID e com o controle LID.

O controle LID se deu considerando a implementação de sistema de biorretenção por meio de biovaletas moduladas com dimensões de 4,80m de comprimento, 1,20m de largura e 1,45m de profundidade. Dessa forma, foram consideradas a implantação de 52 unidades no total, sendo o máximo possível para a área disponibilizada na sub-bacia da intervenção, SB1, como visto na Figura 09, a fim de verificar a diminuição do escoamento superficial e a capacidade de infiltração das biovaletas, que possivelmente seguirão para abastecer o nível freático.

Figura 09 - Vista esquemática da implantação da biovaleta



Fonte: Autora (2022)

Para cada um dos cenários foram lançadas as variáveis de pluviosidade e tábua de maré independentes, conforme Quadro 2. Os dados de pluviosidade foram obtidos pela CEMADEN, enquanto que os dados de tábuas de marés foram conseguidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

Quadro 2 - Dados de pluviosidade e Classificação da Chuva

Nome	Pluviosidade	Classificação da Intensidade da Chuva
Cenário 1	20,20mm	Chuva Forte (CF)
Cenário 2	39,00mm	Chuva Forte (CF)
Cenário 3	60,00mm	Chuva Muito Forte (CMF)

Fonte: Autora (2022) - Adaptado

No evento de calibração o balanço hídrico apresentou um escoamento superficial total de 85,03mm, escoando pela superfície 83,69 % do total precipitado na área de estudo.

A simulação representou a altura da lâmina de alagamento de 100% em relação ao valor observado e a vazão no nó N1 em 99,79%, respectivamente para o nó de controle, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Resultados da calibração

Aspectos - Calibração		
Síntese	Observado	Simulado
Lâmina de alagamento (m)	0,230	0,230
Volume máximo de inundação (m <sup>3</sup> )	241,500	242,000
Erros Continuidade Escoamento Superficial		0,000
Erros Continuidade Propagação de vazão		0,402

Fonte: Autora (2022)

Já no evento da validação, o balanço hídrico apresentou um escoamento superficial de 163,88mm, correspondendo a 85,17% do total precipitado, apresentando uma altura de lâmina de 0,38m com 13,15% maior do que a observada, e um volume de inundação de 371,00m<sup>3</sup> conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Resultados da validação

Aspectos - Validação		
Síntese	Observado	Simulado
Lâmina de alagamento (m)	0,330	0,380
Volume máximo de inundação (m <sup>3</sup> )	346,500	371,000
Erros Continuidade Escoamento Superficial		0,000
Erros Continuidade Propagação de vazão		0,079

Fonte: Autora (2022)

### *Cenário 1*

A classificação de intensidade da chuva para esse cenário, embora considerada como Chuva Forte, não houve influência significativa com relação às alturas da curva de maré.

### *Cenário 2*

A precipitação total do cenário 2 foi de 39,00mm ocorrida em 26 de maio de 2022, e apresentou um pico de chuva de 7,40mm. O evento possui classificação de intensidade da chuva também como Chuva Forte.

### *Cenário 3*

No cenário 3 a precipitação total foi de 60,00mm, ocorrida no dia 07 de junho de 2022, bem maior que as dos cenários anteriores, tendo como maior pluviosidade 3,60mm. Esse evento teve aproximadamente 15 horas de duração, sendo as primeiras horas de chuvas entre baixamar e preamar e possui classificação de intensidade de chuva como Chuva Muito Forte.

### *Análise dos cenários*

De início foi considerada a simulação dos três cenários sem o controle LID. O monitoramento se deu no nó N1 e na sub-bacia SB1, de sua localização. O cenário 1 não apresentou lâmina de alagamento. Os cenários 2 e 3 apresentaram as mesmas alturas de lâmina

de alagamento. Quanto ao escoamento superficial foram escoados 9,41mm, 18,8mm e 28,68 mm respectivamente, infiltrando 10,42mm, 20,11mm, 30,94mm do total precipitado em cada um dos cenários. Os Fluxos máximos no exutório foram os apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Simulação sem o controle LID

Sem controle LID					
Nome cenário	Escoamento superficial total SB1 (mm)	Infiltração total (mm)	Vazão Máxima nó N1 (l/s)	Lâmina Alagamento (m)	Fluxo máximo no Exutório (l/s)
Cenário 1	9,41	10,42	0,00	0,00	72,95
Cenário 2	18,48	20,11	96,63	0,14	98,23
Cenário 3	28,68	30,94	164,03	0,14	106,24

Fonte: Autora (2022)

Com o controle LID o escoamento superficial apresentou redução para os três cenários e aumento da infiltração da precipitação. As vazões máximas no nó foram reduzidas nos cenários 2 e 3. A taxa de infiltração na sub-bacia SB1 foi aumentada nos três cenários que passou a apresentar também a infiltração referente ao controle LID, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Simulação com o controle LID

Com controle LID						
Nome cenário	Escoamento superficial total SB1 (mm)	Infiltração total (mm)	Vazão Máxima nó N1 (l/s)	Lâmina Alagamento (m)	Fluxo máximo no Exutório (l/s)	Resultado LID - Infiltração (mm)
Cenário 1	8,36	11,50	0,00	0,000	72,56	29,83
Cenário 2	16,42	22,22	21,29	0,14	98,20	57,91
Cenário 3	25,48	34,18	96,40	0,14	106,13	89,35

Fonte: Autora (2022)

Quanto aos nós ou conexões os três cenários apresentaram redução em relação ao escoamento superficial na sub-bacia SB1 de 11,15%. Com o acréscimo de área verde, proporcionado pela implementação das biovaletas, a infiltração no solo também foi aumentada em 10,44% em média.

A vazão máxima no nó N1 foi reduzida 77,96% e 41,23% respectivamente nos cenários 2 e 3, conforme Quadro 7.

As infiltrações no controle LID variaram entre 29,83mm, 57,91mm e 89,35mm nessa ordem. Os módulos de biovaletas resultaram num acréscimo de área verde de 249,60m<sup>2</sup> para a sub-bacia SB1, representando cerca de 4,00%.

Quadro 7 – Comparação com o controle LID e sem o controle LID

Comparação - Com LID e Sem LID						
Nome cenário	Escoamento superficial total SB1 (mm)	Infiltração total (mm)	Vazão Máxima nó N1 (l/s)	Lâmina Alagamento (m)	Fluxo máximo no Exutório (l/s)	Resultado LID - Infiltração (mm)
Cenário 1	11,15%	10,36%	0,00%	0,00%	0,53%	29,83
Cenário 2	11,14%	10,49%	77,96%	0,14	0,00%	57,91
Cenário 3	11,15%	10,47%	41,23%	0,14	0,11%	89,35

Fonte: Autora (2022).

## 5 CONCLUSÃO

A implementação das biovaletas proporcionou uma redução na vazão total da área de estudo em 0,50%. Já na sub-bacia SB1, onde fica o nó de controle pode-se perceber que a vazão máxima foi reduzida em 77,96 e 41,23% para os cenários 2 e 3 respectivamente, pois no cenário 1 não houve lâmina de alagamento.

Além disso, houve um acréscimo de área verde de 4,00%, que passou de área impermeável para permeável, favorecendo a infiltração do escoamento superficial na sub-bacia SB1. O sistema de biovaletas apresentou uma infiltração que variou entre 29,83mm a 89,35mm entre os três cenários nas simulações com controles LID. No decorrer do processo de simulação, o SWMM executa um balanço da umidade controlando a quantidade de água que se movimenta e entra no armazenamento da camada LID.

Embora as simulações não descrevam a realidade com exatidão, os modelos hidráulicos-hidrológicos são confiáveis e explorados pela comunidade científica, pois permitem respostas em curto prazos.

Assim, por meio do modelo SWMM foi possível analisar que a implantação de biovaletas como método para retardo escoamento superficial e infiltração é válida e os resultados demonstram que um método de controle LID sozinho não traz grandes feitos, porém tem sua relevância quanto ao manejo sustentável das águas pluviais.

Dessa forma é enfatizado que os métodos de controle na fonte devem ser utilizados em conjunto com outros dispositivos sustentáveis para que seja possível obter resultados mais expressivos.

## Agradecimento

A primeira autora agradece à CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

## Referências

ABASS, K.; BUOR, D.; AFRIYIE, K.; DUMEDAH, G.; SEGBEFI, A. Y.; GUODAAR, L.; GARSONU, E. K.; ADU-GYAMFI, S.; FORKUOR, D.; OFOSU, A.; MOHAMMED, A.; GYASI, R. M. Urban sprawl and green space depletion: Implications for flood incidence in Kumasi, Ghana. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 51, n. October, p. 101915, 2020.

ADASA. Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal**. Brasília: SDU, 2018.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. *Revista da FAE*, v. 20, n. 1, p. 129–137, 2017.

ALVES, P. B. R., RUFINO, I. A. A., FEITOSA, P. H. C., DJORDJEVIĆ, S., JAVADI, A. Land-use and legislation-based methodology for the implementation of sustainable drainage systems in the semi-arid region of Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 2, 2020.

BAE, C.; LEE, D. K. Effects of low-impact development practices for flood events at the catchment scale in a highly developed urban area. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 44, n. May 2019, p. 101412. 2020.

BALLARD, W., B., WILSON, B., UDALE-CLARKE, H., ILLMAN, S., SCOTT, T., ASHLEY, R., KELLAGHER, R., **The SuDS Manual**. Londres, Inglaterra, 2015.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em: 15 nov. 2022.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. Ministério da Marinha. **Previsão de Marés**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CLARKE, R.T. Mathematical Models in Hydrology. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 19, p. 1973.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. 225p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009.

LIU, W.; ENGEL, B. A.; FENG, Q. Modelling the hydrological responses of green roofs under different substrate designs and rainfall characteristics using a simple water balance model. **Journal of Hydrology**, v. 602. 2021.

SAHANA, M.; HONG, H.; SAJJAD, H. Analyzing urban spatial patterns and trend of urban growth using urban sprawl matrix: A study on Kolkata urban agglomeration, India. **Science of the Total Environment**, v. 628–629, p. 1557–1566, 2018.

GIELEN, E., RIUTORT-MAYOL, G., PALENCIA-JIMÉNEZ, J. S., CANTARINO, I.; An urban sprawl index based on multivariate and Bayesian factor analysis with application at the municipality level in Valencia. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 45, n. 5, p. 888–914, 2018.

LI, X.; FONG, P. S. W.; DAI, S.; LI, Y. Towards sustainable smart cities: An empirical comparative assessment and development pattern optimization in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 730-743, 2019.

ONU – Organização das Nações Unidas. **O Dia Mundial das Cidades**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/interview/2019/10/1692941>. Acesso em: 20 abril 2022.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. Prefeitura Municipal. **Informações Geográficas do Recife - (ESIG)**. Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ROSSMAN, L. **SWMM 5.0 – Manual do usuário**. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba, UFPB. 2012.

ROSSMAN, L. A.; HUBER, W. C. Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology (Revised). **Cincinnati: National Risk Management Laboratory Office Of Research And Development U.s. Environmental Protection Agency**, p. 233, 2016.

SANTOS, L. L. Modelos Hidrológicos: Conceitos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 1, 2009.

SILVA, A. C. **Modelagem hidrológica- hidráulica para atenuação de alagamentos no entorno da Escola Politécnica de Pernambuco**. 2018. 103 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2018.

SILVA JÚNIOR, M. A. B. **Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE. Recife: UPE**, 2015. 153 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Recife, 2015.

SILVA JUNIOR, M.A.B.; OLIVEIRA, R.L.M.; CABRAL, J.J.S.P.; SILVA, P.O.; SILVA, S.R. Reservatório de detenção em logradouros como alternativa para os alagamentos urbanos: uma análise para a cidade do Recife-PE. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017b, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017, p. 1-8.

SILVA, P.O. & CABRAL, J.J.S.P. Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatórios de detenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 7-18, 2014.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. Revista Brasileira de Geografia Física Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 02, p. 250–268, 2008.