

XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MODELAGEM DO SISTEMA DE DRENAGEM DA REGIÃO CENTRAL DE CAIOBÁ USANDO O SWMM - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO SOB EFEITOS DE ALTAS MARÉS

Bruno Victor Veiga¹; Sandro Rafael Pedrotti Braga

Abstract: This study investigates the drainage system behavior in Caiobá's central region under high tide conditions, utilizing the SWMM software. The analysis considered were based on design intensities rainfalls. Results show that tide significantly impacts flow rates and flooding, especially during intense and prolonged rainfall. The study highlights the importance of computational modeling to predict and mitigate impacts in coastal urban areas, providing data for urban planning and drainage infrastructure improvements.

Keywords: Urban drainage, tides, SWMM.

Resumo: O presente estudo investiga o comportamento do sistema de drenagem na região central de Caiobá frente a eventos de alta maré, utilizando o software SWMM. A análise foi realizada com base em intensidades de precipitação de projeto. Os resultados mostram que a maré influência de forma significativa na vazão e na inundação, particularmente durante chuvas intensas e prolongadas. O estudo destaca a importância da modelagem computacional para prever e mitigar impactos em áreas urbanas costeiras, fornecendo subsídios para o planejamento urbano e melhorias na infraestrutura de drenagem.

Palavras-chave: Drenagem urbana, marés, SWMM.

INTRODUÇÃO

A gestão eficiente de águas pluviais em regiões costeiras é um desafio crescente devido às interações complexas entre marés e precipitação intensa, agravadas pelas mudanças climáticas e pelo aumento da urbanização. Somadas às características citadas, incluem-se as obras de engordas de praias que introduzem restrições às linhas de drenagem que despejam as águas pluviais. Estas condições elevam o risco de inundações, causando impactos socioeconômicos significativos e prejudicando o bem-estar da população. Dentre as ferramentas disponíveis para prever e planejar soluções para esses problemas, os modelos computacionais, como o SWMM, oferecem uma abordagem robusta e integrada para analisar o comportamento de sistemas de drenagem. Este trabalho visa modelar o sistema de drenagem na região central do balneário de Caiobá, Município de Matinhos (PR), analisando seu desempenho em diferentes cenários de chuva e maré, com o objetivo de fornecer informações críticas para melhorar a resiliência urbana em face de eventos hidrológicos extremos.

1) Universidade Federal do Paraná – UFPR, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR, (41) 988489420, bvveiga@ufpr.br

2) Universidade Federal do Paraná – UFPR, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR, sandro_rafael222@hotmail.com

As regiões litorâneas constituem de áreas que são atingidas com os processos naturais de erosão ao longo da história, tendo uma topografia geralmente plana e com clima bastante influenciado pelo mar. Segundo Ab'Saber (2003) que descreve que as Baixadas Litorâneas se caracterizam pela presença de planícies costeiras de pequenas dimensões e distribuição descontínua, formadas recentemente por processos de colmatagem flúvio-marinha. Ainda segundo o autor, nas regiões do Litoral Norte, onde os esporões da Serra do Mar e os pequenos maciços e morros litorâneos se estendem diretamente até o oceano, encontram-se costas altas e jovens. Enquanto no Litoral Sul, onde predominam extensas praias-barreiras, as planícies costeiras são mais amplas e apresentam extensões maiores de terrenos firmes, com leves ondulações.

Tendo em vista que municípios litorâneos tem uma topografia de característica plana, a drenagem urbana tem que ser adaptada ao seu terreno. A microdrenagem sofrerá com o baixo decaimento para captação das águas, essa dificuldade aumenta a possibilidade de inundações, pois a vazão nesses canais será baixa. Tendo uma microdrenagem bem planejada e estruturada, a captação das águas será escoada até um rio que veio do continente acima e, por fim, deságua no mar ou em um canal projetado que, também, será desaguado no oceano. O oceano tem o fenômeno natural de maré, ocorre em razão do movimento natural de subida e descida do nível do oceano influenciado pelas interações Lua/Terra/Sol. Dessa maneira, as interferências do oceano na macrodrenagem destas cidades podem merecer atenção, junto com as características topográficas de planície e, assim, não tendo uma capacidade de desaguar no mar e se torna menos expressiva, especialmente, em um momento de maré alta. Ocorre assim, uma probabilidade de uma chuva de alta intensidade abastecer todo o sistema de drenagem muito rápido, e junto a isso, o fenômeno de maré alta. Ocorrendo desta maneira, haverá um remanso no ponto de saída, ou seja, ao invés de sair, entrará água no sistema ou a saída dela estará bem comprometida. Essa ocasião se torna extremamente perigosa, pois a inundação será inevitável.

O estudo dessa influência de marés na saída do sistema de macrodrenagem e os eventuais podem ser modelados com os efeitos previstos sobre o funcionamento da microdrenagem. O entendimento desse comportamento permite realizar correções e ajuste no projeto que possibilitem o bom funcionamento sob condições extremas, ainda que raras. Optou-se por usar o *SWMM – Stormwater Management Model* para simular o comportamento da rede de drenagem.

LOCAL DE ESTUDO E IMPLANTAÇÃO DO MODELO

O município de Matinhos, localizado no litoral do estado do Paraná a 110 km da capital do estado Curitiba. Sua população está estimada em torno de 39 mil habitantes e possui uma área de 117,899 km² (IBGE, 2022). A cidade possui 17 km de praias, divididos em 36 balneários e, entre eles, Caiobá, que faz divisa com o município de Guaratuba. Sendo uma cidade turística, a cidade pode chegar, em épocas de temporada, em até 1.500.000 pessoas dentro do município.

No verão, é o período do ano onde ocorre o maior número de inundações, o relevo da cidade favorece a isso, pois a altitude média em relação ao nível do mar é de 3 metros, sendo um relevo muito plano suscetível a ocorrência desse fenômeno. A cidade de Matinhos, principalmente na região de Caiobá, sempre teve deficiências na estrutura de rede de drenagem. A falta de planejamento, a urbanização e a impermeabilização do solo aceleraram o problema.

Figura 1 – Avenida JK na enchente (2014)



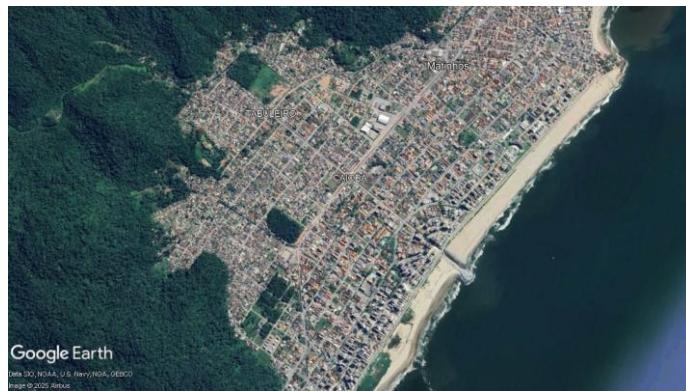
No ano de 2023, iniciou-se uma obra no sistema de drenagem com um investimento de R\$ 49 milhões, com a expectativa de alargamento de 1,5km do canal da Avenida Paraná e a instalação de canaletas com tampas removíveis em 25 km das ruas da cidade. O destino das águas após a reforma do sistema de drenagem será o mar.

Figura 2 – Alargamento do canal Avenida Paraná (IAT, 2023)



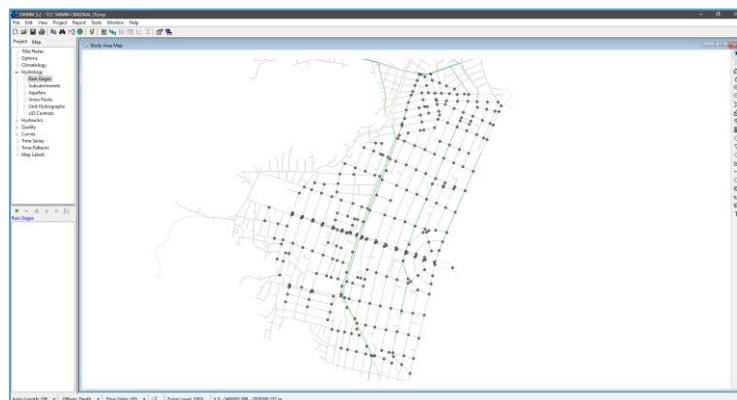
A área de estudo do sistema de drenagem considera a área central de Caiobá, cujo processo de engorda da praia junto com o conjunto urbanístico do balneário usam o canal central como principal elemento de macrodrenagem conectado com o oceano.

Figura 3 – Área Central de Caiobá (Google Earth, 2025)



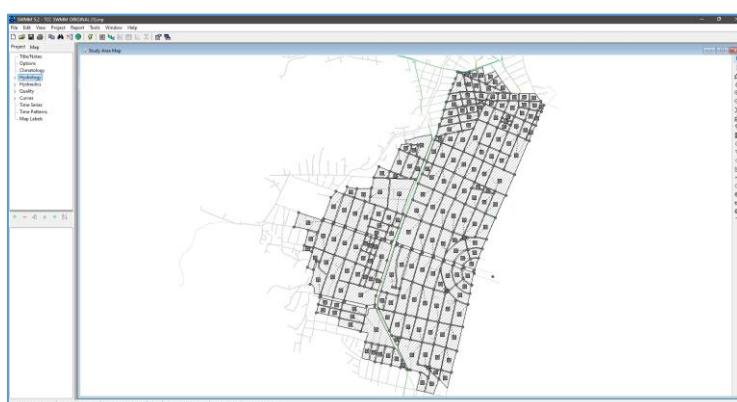
Para essa área foi implantado um modelo levando-se em conta o arruamento e a topografia, onde foi possível inserir em cada nó a sua cota vista em projeto. Como os nós serão pontos de encontro dos condutos do sistema de drenagem, foi adotado uma profundidade de 1,5 metros abaixo da cota do terreno, com essa cota adotada passível de revisão de declividade dos condutos para garantir que haja fluxo de água dentro do sistema (Figura 3). Utilizou-se a versão 5.0 do SWMM adaptada pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

Figura 3 – Visualização dos nós no SWMM. (Os autores)



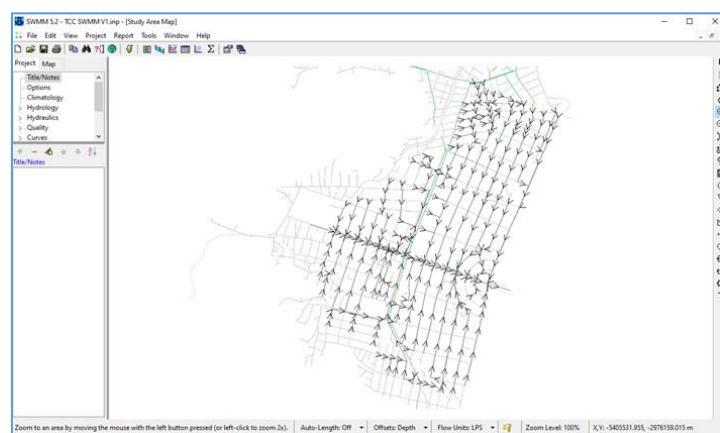
De forma similar, foram atribuídas as áreas de drenagem com afluência para cada nó, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Visualização das sub bacias no SWMM. (Os autores)



A próxima etapa do processo foi a inserção dos condutos no sistema, essa etapa foi importante pois é como se induz o caminho e o destino das águas dentro do sistema de drenagem. Como o novo projeto de microdrenagem do município de Matinhos engloba apenas algumas áreas da bacia de estudo, foi necessário considerar uma aproximação dos condutos e do fluxo das águas, visto que não há acesso ao projeto antigo da microdrenagem instalada na bacia, devido ao tempo de realização, esse projeto foi perdido ou não há documentação sobre as obras de microdrenagem no município. Para a realização desse presente trabalho, os condutos foram apresentados conforme a Figura 5.

Figura 5 – Direções de fluxo no SWMM. (Os autores)



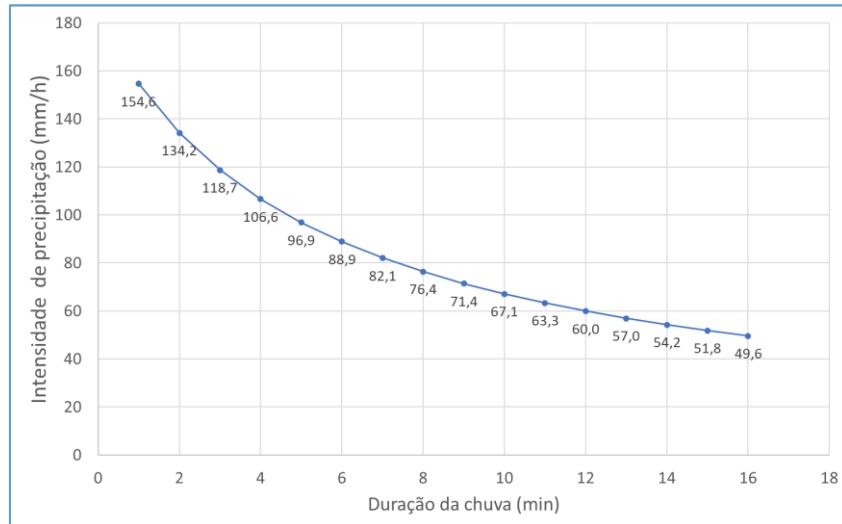
Conforme a Figura 5, os condutos centralizam as águas em um canal central da bacia, que tem como destino o oceano. Os condutos foram inicialmente considerados retangulares fechados, com uma largura de 1 metro e altura de 40 centímetros. Porém, conforme foi realizado os testes, o sistema foi ajustado para atender a uma chuva de 10 anos de tempo de recorrência. Já o canal central foi considerado como retangular aberto e suas dimensões variam conforme avança ao exultório, com o seu começo com uma largura de 2 metros e uma altura de 1 metro, chegando a até 7 metros de largura com 2 metros de altura. O canal foi projetado para aguentar uma chuva de 20 anos de tempo de recorrência. Conforme foi dito anteriormente, foi preciso alterar as cotas dos condutos para que haja uma declividade mínima, como os condutos foram realocados a uma profundidade 1,5 metros abaixo da cota do terreno, foi mantido um máximo de 1 metro para a mudança da cota do conduto, para que haja uma folga de 50 centímetros em relação ao terreno.

A precipitação foi baseada na curva IDF (Intensidade-duração-frequência) para a cidade de Matinhos, interpoladas pelo programa PLUVIO 2.1, mostrado pela equação:

$$i = \frac{2153,334 * Tr^{0,155}}{(t+23,908)^{0,889}} \quad (1)$$

Com a equação da curva IDF para a cidade de Matinhos, é possível obter a curva para os variados tempos de recorrência. No presente estudo, foi considerado a duração da chuva de 5 minutos e será avaliado diferentes tempos de recorrência para a análise do sistema de drenagem. Foi obtido a curva IDF pelo software Excel, como mostra o exemplo da Figura 6, com um tempo de recorrência de 10 anos e a duração acumulada da chuva de 80 minutos.

Figura 6 – Intensidades de precipitação. (Os autores)

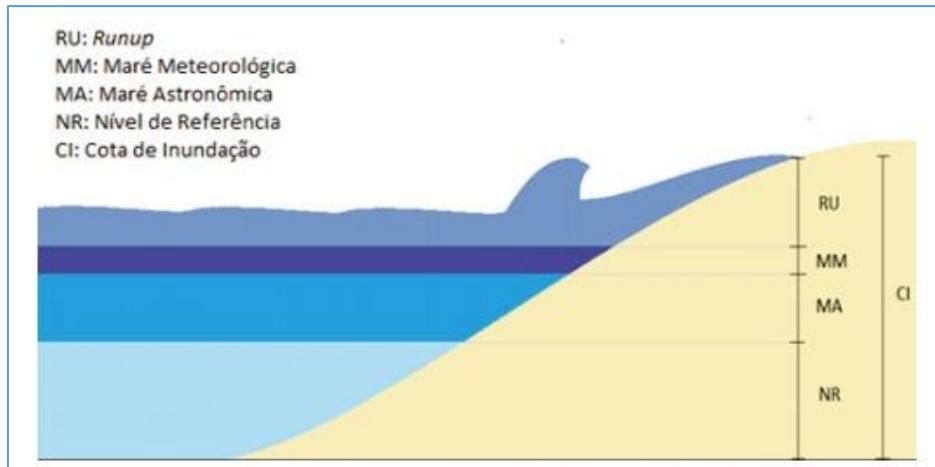


Essas intensidades de precipitação foram aplicadas no modelo para a simulação do comportamento hidráulico da rede.

Para se avaliar o efeito de marés, entendeu-se que deveria ser avaliada a dificuldade de escoamento a partir da maré máxima. Na estimativa dessa maré foram considerados os estudos do Projeto SMCBrasil (MMA, 2018). Nesse projeto consta estudos detalhados sobre o nível do mar nas regiões costeiras do Brasil. Também será considerado, para a elaboração da curva de nível, que em um dia terá dois ciclos completos de maré.

Segundo o Projeto SMCBrasil, a cota do nível do mar tem papel relevante em inundações costeiras, pois em cotas altas o mar pode ser um obstáculo para a saída da água da região. Para a determinação do nível do mar, deve se entender os níveis de influência na altura, sendo eles representados na Figura 7.

Figura 7 – Esquematização dos níveis de maré. (MMA, 2018)



Foram consideradas apenas as influências das marés meteorológicas e astronômicas, pois na região de estudo há dique de proteção contra ondas, o que permite desconsiderar o efeito do Runup

por não haver o efeito dinâmico de ondas. Com isso foi estimada uma cota máxima de maré alta de 2,2 m e cota mínima de mare alta de 0,4 m.

RESULTADOS

A estrutura de macrodrenagem dispõe de duas linhas de galerias que aduzem ao canal principal, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Sistema de drenagem com as galerias e canal



Para o tempo de recorrência de 10 anos, foram avaliadas as condições de escoamento na rede dimensionada, considerando os níveis de maré com amplitude as fases máxima e mínima.

Figura 9 – Visão geral das máximas alturas de água dentro das galerias na simulação para as marés de baixa amplitude.

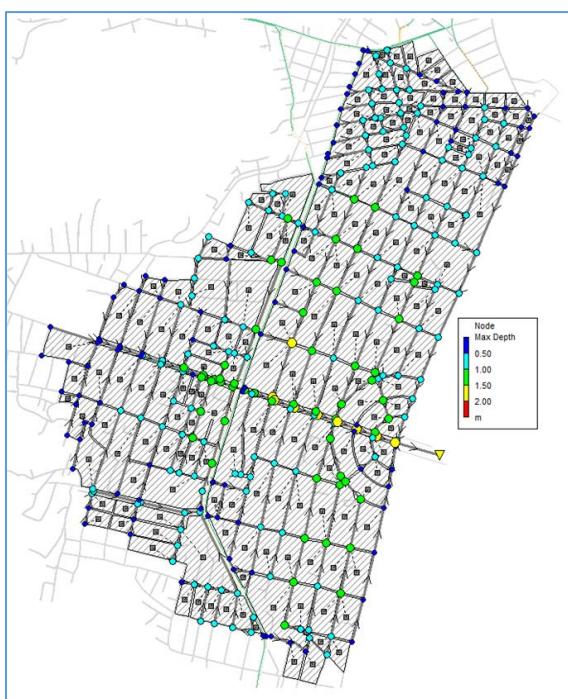
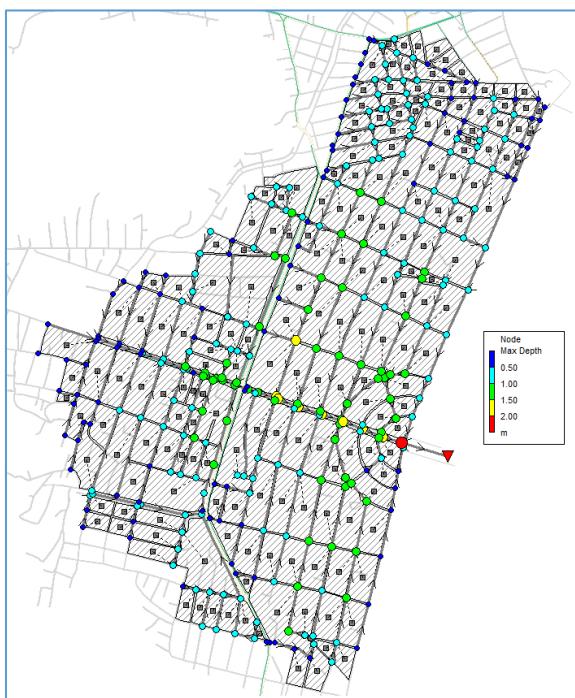
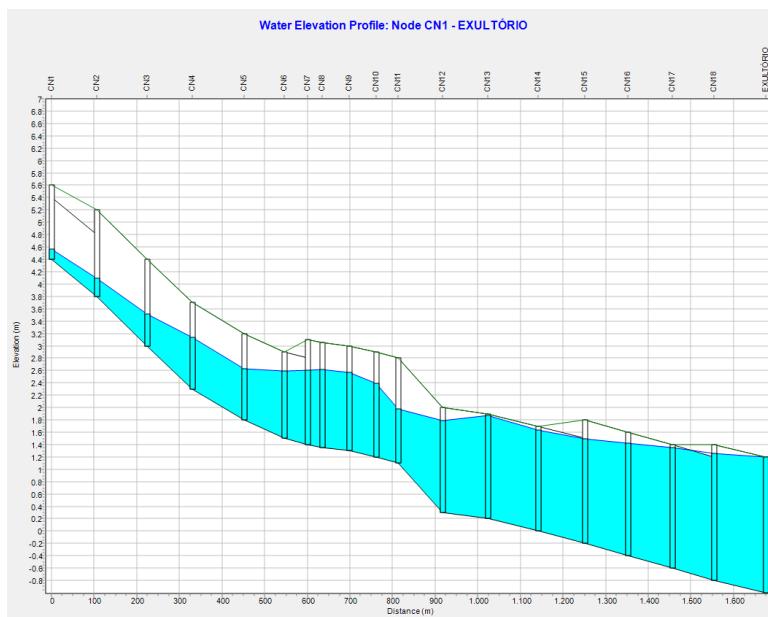


Figura 10 – Visão geral das máximas alturas de água dentro das galerias na simulação para a maré de amplitude alta



Como pode ser visto nas Figuras 9 e 10, a variação da amplitude da maré causou uma mudança brusca dos níveis máximos de altura de água na região próxima ao mar. Na simulação com a maré de amplitude alta os níveis passaram de 2 metros, o que não acontece para a simulação com amplitude de maré baixa. Essa sobre-elevação pode ser visto no perfil longitudinal do Canal Principal.

Figura 10 – Perfil do momento crítico do canal na maré de maior amplitude.



Essa condição de escoamento, mostra que o efeito de elevação da maré produz reflexos nos poços de visita da rede com possíveis afloramentos de água com inundações locais. O canal é uma estrutura com grande capacidade de escoamento, mas que fica obliterada pela maré e perde a sua eficiência.

CONCLUSÕES

A aplicação de um modelo computacional chuva-vazão, com grande facilidade de implantação, traz uma boa oportunidade da realização de análises na avaliação de pontos críticos. Essas avaliações podem ser importantes na fase de projeto para antecipar dificuldades e promover melhorias de soluções.

Algumas outras cidades litorâneas, que implantaram projetos de engorda da faixa de areia têm optado por desagues concentrados da rede de macrodrenagem e devem avaliar os efeitos de remanso na rede. Não obstante a eventualidade de ocorrência de picos de vazão com picos de maré, é conveniente considerar os efeitos dinâmicos da onda de escoamento com a curva de maré.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2^a Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade. 2000. 943p.
- SIMON, M.; TRYBY, M. *Open Source SWMM: Community-Based Software Development for Storm Water Management Modeling*; USA, 2016.
- MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE - MMA. *Uma Proposta de abordagem para o estabelecimento de Regime Probabilístico de Área De Inundação Costeira Do Brasil*; BRASIL; 2018
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *MANUAL DE DRENAGEM URBANA*. Curitiba, 2002.
- ROSSMAN, L. A. STORM WATER MANAGEMENT MODEL – USER’S MANUAL, EPA/600/R-05/040. USA, JULY 2010.
- PODBEVSEK, E. M. *Requalificação sanitária e ambiental da área urbana do município de Matinhos*. Prefeitura Municipal de Matinhos, 2014.
- SCHILLING, J; TRÄNCKNER, J. *An Open-Source QGIS Plugin to Import and Export Model Input Files for SWMM*. Department of Water Management, University of Rostock, Alemanha, 2022.
- INSTITUTO ÁGUA E TERRA – IAT. *PROJETOS DE REVITALIZAÇÃO DA ORLA DE MATINHOS*. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Recuperacao-da-Orla-de-Matinhos> (Acesso em 28 de abril de 2024).