

**MODELAGEM COMPUTACIONAL DO CANAL DA DOCA EM BELÉM-PA PARA
IMPLANTAÇÃO DE MELHORIA URBANA PRÉVIA À COP30**

**COMPUTATIONAL MODELING OF THE DOCK CHANNEL IN BELÉM, PARÁ,
FOR THE IMPLEMENTATION OF URBAN IMPROVEMENTS PRIOR TO COP30**

**MODELIZACIÓN COMPUTACIONAL DEL CANAL DEL MUELLE EN BELÉM-
PA PARA LA IMPLANTACIÓN DE MEJORAS URBANÍSTICAS PREVIAS A LA
COP30**



10.56238/revgeov17n3-166

Marco Valério de Albuquerque Vinagre

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: valeriovinagre@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7650-9204>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8044094535697705>

Luan da Silva Freitas

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU)

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: freitasluan52@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0186-695X>

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2515137074404173>

Roberto Fontes de Sousa

Doutorando em Arquitetura e Urbanismo

Instituição: Universidade de São Paulo (USP)

E-mail: fontes2@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-8459-0462>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0584412115660517>

Rodrigo Lauria Fonseca

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU)

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: rodrigolauriafonseca@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-6120-5244>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6072236533521159>



Edilaine Cristina Pamplona Menezes

Mestrado em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: edilainecristina@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3574-3085>Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3009334989716730>**Marly Sanches Cardoso**

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU)

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: lysanches2009@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3958-2584>Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3846600562555588>**Larissa Mourão Pantoja**

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: Larissa.m.pantoja@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7023-2742>Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6539028576094741>

RESUMO

A implantação do Parque Linear Nova Doca, na bacia do Armas, em Belém-PA, na Amazônia, para melhoria urbana previamente à realização da 30ª Conferência das Partes da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP30), teve por base o estudo hidrológico- hidrodinâmico com uso do código computacional livre Storm Water Management Model– SWMM. Esse estudo formulou modos de combater e prevenir transbordos no Canal da Doca, devido precipitações pluviométricas intensas, baixas cotas altimétricas do terreno (entre 0 e 8m), muito impermeabilizado, e elevado nível de marés. Foi simulado realisticamente o comportamento hidráulico da bacia sob o efeito de chuva de período de retorno de 50 anos, com precipitação de 172 mm em 24 horas, sob o efeito da preamar de 3,02m, indicando necessidade do uso de comportas. Conclui-se que há suscetibilidade de alagamento por maré para terrenos com cotas inferiores a 3,02m. A capacidade ocupada do canal da Doca atingiu 97%, sugestivo para uso de eletrobombas de recalque para prevenção de transbordos, com o indicativo operacional de limitar a capacidade ocupada a 85%. Utilizou-se o software Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool (EPANET), para estudar a instalação de 4 eletrobombas, com vazão individual de 0,4m³/s e altura de recalque 7,2mca, acionadas por automação, quando a capacidade do canal atingir 85% (nível de 2,00m) e desligadas quando atingir 51% (nível de 1,20m). Assim, a simulação computacional com o SWMM e assistência do EPANET permitiu estudar soluções e engenharia para um problema extremamente relevante para o combate e a prevenção de alagamentos em Belém-PA.

Palavras-chave: Alagamentos. Urbanização. SWMM. Bacia do Armas. Amazônia.

ABSTRACT

The implementation of the New Doca Linear Park in the Armas basin, in Belém-PA, in the Amazon, for urban improvement before 30th UN Conference of the Parties on Climate Change (COP30), was



based on a hydrological-hydrodynamic study using the computational code Storm Water Management Model–SWMM. This study formulated ways to prevent overflows in the Doca Channel, due to intense rainfall, low elevation of the terrain (between 0 and 8m), high impermeability, and high tidal levels. The hydraulic behavior of the basin was realistically simulated under the effect of rainfall with a 50-year return period, with 172 mm of precipitation in 24 hours, under the effect of a high tide of 3.02m, indicating the need of floodgates. It is concluded that there is susceptibility to tidal flooding for terrains with elevations below 3.02m. The occupied capacity of the Doca channel reached 97%, suggesting the use of booster pumps to prevent overflows, with the operational recommendation to limit the occupied capacity to 85%. The Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool (EPANET) software was used to study the installation of 4 electric pumps, with an individual flow rate of 0.4 m³/s and a pumping head of 7.2 m, activated by automation when the channel capacity reaches 85% (level of 2.00 m) and deactivated when it reaches 51% (level of 1.20 m). Thus, the computational simulation with SWMM and the assistance of EPANET allowed the study of engineering solutions for a extremely relevant problem that is preventing flooding in Belém-PA.

Keywords: Flooding. Urbanization. SWMM. Armas Basin. Amazon.

RESUMEN

La implantación del Parque Linear Nova Doca, en la cuenca del Armas, en Belém-PA, en la Amazonia, para la mejora urbana previa a la celebración de la 30.^a Conferencia de las Partes de la ONU sobre el Cambio Climático (COP30), se basó en el estudio hidrológico- hidrodinámico con el uso del código informático libre Storm Water Management Model (SWMM). Este estudio formuló formas de combatir y prevenir desbordamientos en el Canal da Doca, debido a las intensas precipitaciones pluviométricas, las bajas cotas altimétricas del terreno (entre 0 y 8 m), muy impermeabilizado, y el elevado nivel de las mareas. Se simuló de forma realista el comportamiento hidráulico de la cuenca bajo el efecto de una lluvia con un período de retorno de 50 años, con una precipitación de 172 mm en 24 horas, bajo el efecto de una marea alta de 3,02 m, lo que indica la necesidad de utilizar compuertas. Se concluye que existe susceptibilidad de inundación por mareas en terrenos con cotas inferiores a 3,02 m. La capacidad ocupada del canal del muelle alcanzó el 97 %, lo que sugiere el uso de bombas eléctricas de recalque para evitar desbordamientos, con la indicación operativa de limitar la capacidad ocupada al 85 %. Se utilizó el software Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool (EPANET) para estudiar la instalación de 4 bombas eléctricas, con un caudal individual de 0,4 m³/s y una altura de bombeo de 7,2 mca, accionadas por automatización, cuando la capacidad del canal alcance el 85 % (nivel de 2,00 m) y se apaguen cuando alcance el 51 % (nivel de 1,20 m). Así, la simulación computacional con el SWMM y la asistencia del EPANET permitió estudiar soluciones e ingeniería para un problema extremadamente relevante para el combate y la prevención de inundaciones en Belém-PA.

Palabras clave: Inundaciones. Urbanización. SWMM. Cuenca del Armas. Amazonas.



1 INTRODUÇÃO

A cidade de Belém, capital do Estado do Pará, situada na Amazônia Brasileira, foi sede do megaevento da 30ª Conferência das Partes da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP30) no ano de 2025. Durante a fase preparatória, a cidade recebeu investimentos para melhorar sua infraestrutura e solucionar importantes problemas estruturais, dentre os quais os alagamentos urbanos da bacia do Igarapé das Armas, onde foi implantado o Parque Linear Nova Doca, com base no estudo hidrológico-hidrodinâmico apresentado a seguir.

A drenagem do canal da Doca, em Belém-PA representa um importante desafio urbano na Amazônia, devido seus transbordamentos que ocorrem devido marés elevadas e ou chuvas intensas.

A solução estudada para a bacia do Armas, para implantação do Parque Linear Nova Doca, foi desenvolvida com base na modelagem computacional hidrológico- hidrodinâmica dessa bacia, utilizando o software SWMM, incluindo a ocorrência de chuvas intensas simultâneas a preamares elevadas, com foco nos alagamentos recorrentes no Canal da Doca, de modo a auxiliar nas decisões de projetos e obras de implantação dessa importante obra.

A cidade de Belém-PA apresenta cotas altimétricas entre 0 e 16 m (Belém, 2020) e recebe de natureza intensas precipitações, fatores decisivos para a ocorrência de importantes alagamentos urbanos.

Assim, a questão norteadora da presente pesquisa é verificar se é possível elaborar modelo computacional hidrológico-hidrodinâmico para formular componentes adequados a prevenção e combate a alagamentos do canal da Doca em Belém-PA.

Justifica-se que essa questão é crucial, pois a funcionalidade do sistema de drenagem do Canal da Doca destaca-se pela importância de não alagar a Avenida Visconde de Souza Franco, evitando perdas e prejuízos à cidade e seus habitantes, em especial quando da ocorrência de chuvas intensas associadas a elevados níveis de maré da Baía de Guajará.

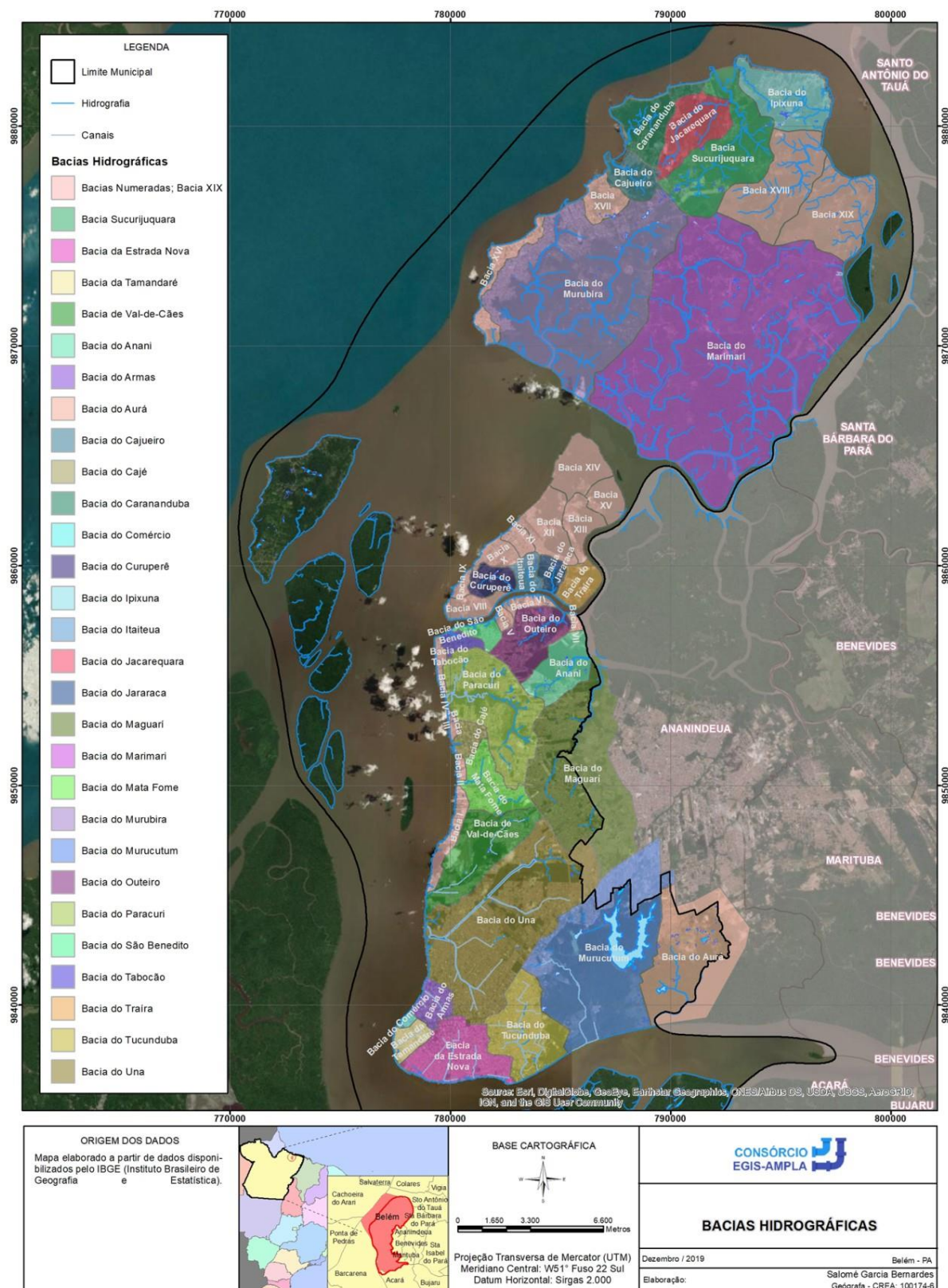
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM-PA

A Figura 1 a seguir apresenta o mapa de bacias hidrográficas de Belém-PA.



Figura 1. Mapa de bacias de Belém/PA.



Fonte: Belém (2020).

Observa-se na Figura 2 o mapa de bacias hidrográficas da cidade de Belém-PA, incluindo a Bacia do das Armas.

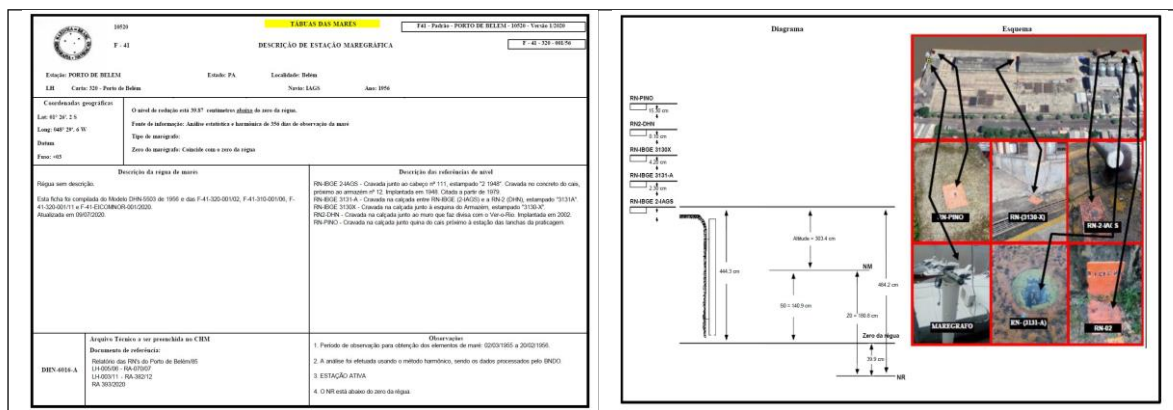


2.2 ALTIMETRIA DO CHN E IBGE

O Centro de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil coleta e divulga as informações da Estação Maregráfica do Porto de Belém-PA, com as tábuas de maré desse Porto.

A Figura 2 mostra informações referentes a Estação Maregráfica do Porto de Belém-PA.

Figura 2. Informações da Estação Maregráfica do Porto de Belém-PA



Fonte: CHN (2025).

A Figura 2 apresenta informações da Estação Maregráfica do Porto de Belém-PA, em que a medição do nível das marés é efetuada pela metodologia do nível de redução, e não pelo Datum Altimétrico Brasileiro, do IBGE.

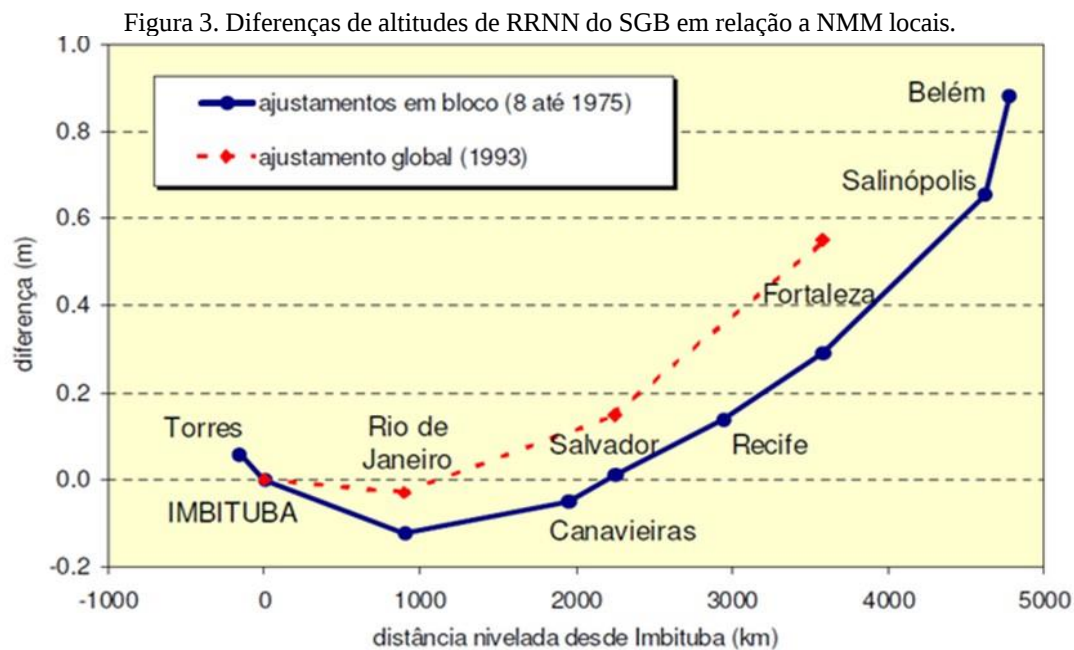
2.3 DATUM ALTIMÉTRICO BRASILEIRO

Segundo IBGE (2009), a relação entre o Datum Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (Imbituba e Santana) e os Níveis de Redução e “Zeros” Hidrográficos no Litoral Brasileiro é obtida utilizando o Banco de Dados Geodésicos (BDG) do IBGE, que fornece as informações geodésicas a serem utilizadas em projetos de engenharia, mapeamento e estudos científicos.

As informações mais frequentemente solicitadas são as altitudes das estações verticais (Referências de Nível, RRNN) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), para utilização em estudos em que o desnível ou a declividade são importantes, como por exemplo, na implantação de sistemas de drenagem urbana em cidades litorâneas, que sofrem efeito de marés. As altitudes do SGB têm origem em dois valores particulares do nível médio do mar (NMM), denominados Datum de Imbituba e Datum de Santana.

O primeiro foi definido a partir de observações de nível do mar do Porto Imbituba (SC) entre os anos de 1949 e 1957. Para a definição do Datum de Santana (AP), foram utilizadas observações feitas em 1957 e 1958 (Alencar, 1990; Femar, 2000; Luz; Guimarães, 2003). A fonte de informação mais comum sobre os níveis de maré na costa brasileira é a Tábua de Marés (TM), publicada anualmente pelo Centro de Hidrografia e Navegação (CHN) da Marinha do Brasil (CHN, 2025).

A Figura 3 apresenta as diferenças entre as altitudes das RRNN do Datum Altimétrico Brasileiro do IBGE, referidas a Imbituba, e suas alturas em relação aos NMM locais.



Fonte: IBGE (2009); Alencar (1990).

A Figura 3 resume o ajustamento global dos dados de nivelamento geométrico da RAAP, concluído em 1993, o qual produziu altitudes de um número significativamente maior de RRNN que os ajustamentos manuais realizados periodicamente entre 1948 e 1975 (Alencar, 1990; Luz; Guimarães, 2003).

Assim, o porto de Belém apresenta leitura de marégrafo +0,8808m acima da cota do IBGE (Alencar, 1990) para o terreno, sendo que o sinal positivo indica que o plano do nível médio do mar registrado pelas observações do Marégrafo local é mais alto do que o determinado em Imbituba, e transportado pelo nivelamento.

2.4 SIMULAÇÃO COM USO DO SWMM

O código computacional livre *Storm Water Management Model* (SWMM), Modelo de Gestão de Drenagem Urbana (em português), é um software de modelagem computacional hidrológico-hidrodinâmica, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) em 1971 (SWMM, 2012). Para Garcia (2005) é o aplicativo mais utilizado mundialmente para simulação de drenagem urbana. Trata-se de um modelo físico, distribuído, de simulação temporal discreta, onde uma bacia hidrográfica é representada por uma série de elementos como sub-bacias, junções, condutos, de modo a possibilitar a simulação contínua de eventos e processos hidrológico-hidrodinâmicos (Beling, 2013).

Esse modelo tem muitas utilidades, sendo capaz de descrever variados processos hidrológicos



como escoamento superficial, infiltração, contribuição de águas subterrâneas, propagação da vazão, acúmulo superficial, e propagação da qualidade da água (Shinma, 2011).

3 METODOLOGIA

O modelo computacional hidrológico-hidrodinâmico da Bacia do Armas elaborado com uso do software livre SWMM teve como procedimentos metodológicos:

I) Elaboração da curva de maré e da série temporal de precipitação; II) Identificação e quantificação dos componentes da bacia (sub-bacias, nós e condutos), com suas características físicas (forma, tipo e uso de solo, declividade, seções, extensões, cotas, rugosidades), a partir de levantamentos topográficos existentes, cartas geográficas e outras cartas disponíveis; III) Alimentação do modelo elaborado no SWMM; IV) Execução e análise dos resultados obtidos.

3.1 LÓCUS DE PESQUISA

A pesquisa teve como lócus o canal da Doca, na cidade de Belém-PA. A seguir apresentam-se as imagens do local de pesquisa.

A Fotografia 1 mostra o Parque Linear Nova Doca implantado na bacia do Armas em Belém-PA.

Fotografia 1. Parque Linear Nova Doca implantado para a COP30 em Belém-PA.

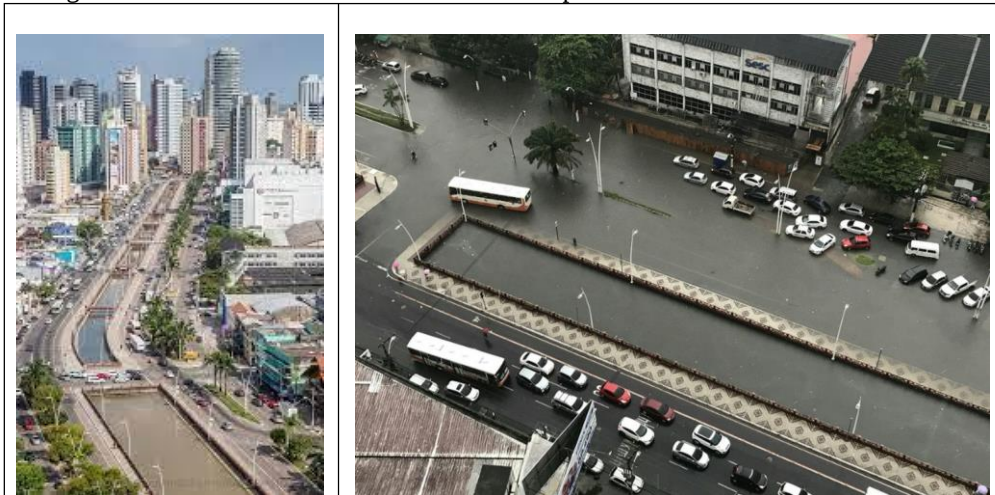


Fonte: Governo do Estado do Pará (2025).

A Fotografia 2 a seguir apresenta imagem do Canal Doca com transbordo e alagamento devido preamar elevada e chuva intensa.



Fotografia 2. Transbordo do Canal da Doca devido preamar elevada e chuva em 17/03/2022.



Fonte: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/vias-ficam-alagadas-e-canais-transbordam-apos-chuva-forte-de-1-hora-em-belem.ghtml>

Observa-se na Fotografia 2 transbordo e alagamento no canal da Doca sob o efeito de chuva intensa e elevado nível de maré em seu exutório na Baía de Guajará. Trata-se de área muito urbanizada e impermeabilizada.

A Fotografia 3 apresenta as comportas do Canal da Doca, na Av. Visconde de Souza Franco, essenciais a sua funcionalidade.

Fotografia 3. Comportas do Canal da Doca.



Fonte: Autoria própria.

Fonte: Google (2025).

Observam-se na Fotografia 3 as comportas do Canal da Doca, em seu exutório. O canal apresenta laterais revestidas em concreto, em área urbana muito urbanizada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

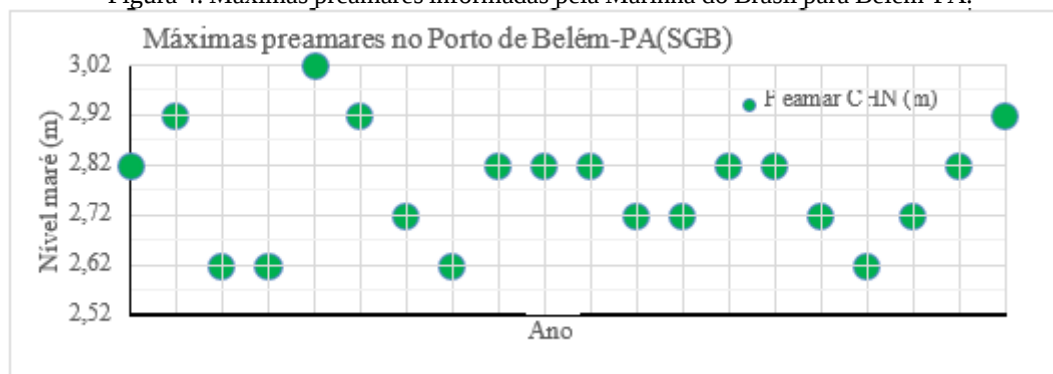
4.1 RESULTADOS

4.1.1 Curva de maré e série temporal de precipitação

A Figura 4 mostra os níveis de máximas preamares medidas no marégrafo da Marinha do Brasil (CHN) para o porto de Belém-PA, transposto para o nível do terreno conforme o Datum Altimétrico

Brasileiro do IBGE.

Figura 4. Máximas preamares informadas pela Marinha do Brasil para Belém-PA.



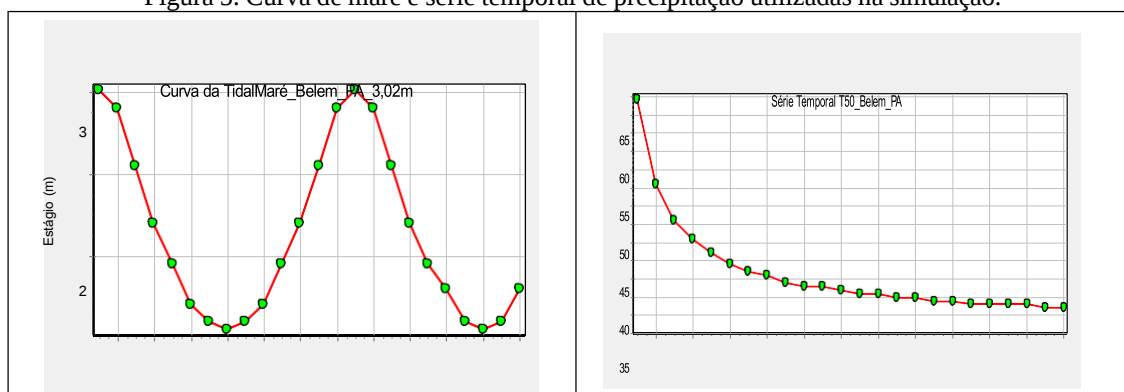
Fonte: Autoria própria.

A Figura 4 apresenta os níveis das máximas preamares anuais informadas pelo CHN e referenciadas ao Datum Altimétrico Brasileiro do IBGE. A máxima preamar, de cota altimétrica 3,02 m, ocorreu apenas no ano de 2010. Com base no exposto acima, adotou-se para este estudo a máxima preamar anual com cota altimétrica de 3,02m. Desta forma, terrenos com cota altimétricas superiores a 3,02m não são suscetíveis a alagamentos pela maré.

Com relação à série temporal de precipitação de período de retorno de 50 anos para Belém-PA, utilizada para o dimensionamento de obras de macrodrenagem urbana, foi obtida com base em Souza *et al.* (2012), com precipitação total de 172 mm e duração de 24 horas, utilizando-se a metodologia da desagregação horária da chuva para o evento de 24 h de duração estudado.

A Figura 5 apresenta a curva de maré com preamar 3,02m e a série temporal de chuva, ambas utilizadas na modelagem.

Figura 5. Curva de maré e série temporal de precipitação utilizadas na simulação.



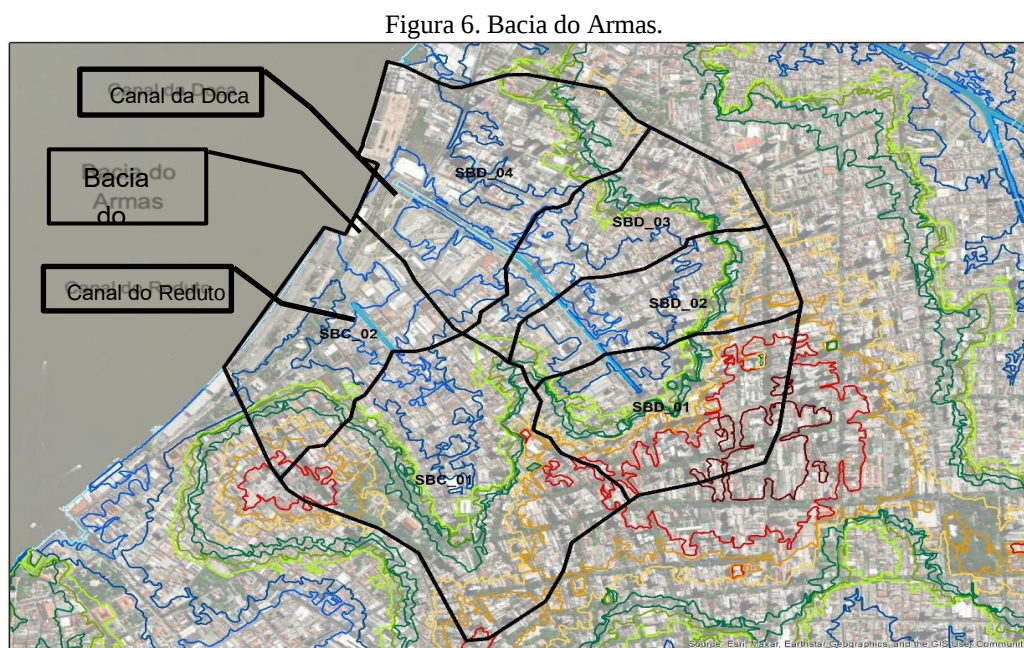
Fonte: Autoria própria, a partir de dados do CHN (2025).

A Figura 5 apresenta a curva de maré de máxima preamar de 3,02m e a série temporal de chuva com período de retorno de cinquenta anos T50 utilizados na simulação.

4.1.2 Informações da bacia do armas

A bacia do Armas tem área de 2,8km² com grande impermeabilização, baixa altitude (de 0 8m), alta pluviosidade, influência de marés e por esses motivos apresenta frequentes alagamentos urbanos. Ela inclui duas sub-bacias, Doca (área de 1,7 km²) e Reduto (área de 1,1 km²), que são interligadas por uma galeria pluvial existente na Rua da Municipalidade. O Canal da Doca, com extensão de 1,1 km, situa-se na Av. Visconde de Souza Franco e o do Reduto, com extensão de 0,3 km, localiza-se na Av. General Magalhães. Ambos são revestidos em concreto e dotados de comportas implantadas na década de 1960 (Belém, 2020).

A Figura 6 mostra a Bacia do Armas com seus canais Doca e Reduto.



Fonte: Autoria própria, com o uso do software livre QGIS (2025).

Observa-se na Figura 6 a Bacia do Armas, a qual inclui a sub-bacia da Doca com suas quatro sub-bacias e a do Reduto com suas duas sub-bacias.

A Tabela 1 relaciona sub-bacias, áreas, canais e extensões da bacia do Armas.

Tabela 1. Sub-bacias e canais da bacia do Armas.

Sub-bacia	Área (ha)	Exutório	Canal	Largura superior (m)	Extensão (m)	n
SBD_01	44,36	PD_01	Doca	10	189,10	0,013
SBD_02	33,14	PD_02	Doca	10	251,60	0,013
SBD_03	35,04	PD_09	Doca	10	180,00	0,013
SBD_04	62,42	PD_12	Doca	20	479,10	0,013
Soma	174,96				1.099,80	
SBC_01	73,00	PC_01	Reduto	10		
SBC_02	40,21	PC_03	Reduto	10	278,00	0,013
Soma	113,21					
SOMA	288,17				1.377,80	

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 1 mostra da bacia do Armas incluindo os canais Doca e Reduto, que são interligados por galeria pluvial existente na Rua da Municipalidade.

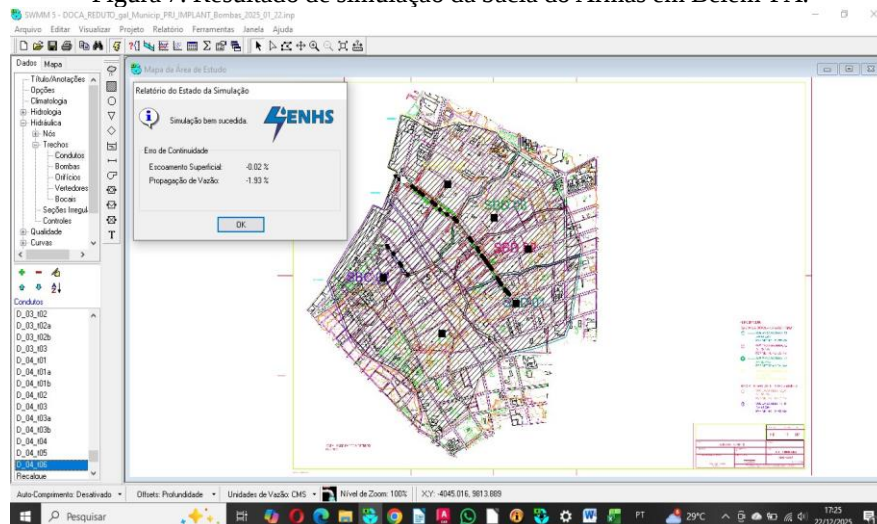
4.1.3 Alimentação do modelo elaborado no SWMM

As informações coletadas foram inseridas no modelo hidrológico-hidrodinâmico da bacia do Armas, possibilitando a execução da simulação.

4.1.4 Execução e análise dos resultados obtidos

A Figura 7 a seguir apresenta o resultado da simulação da bacia do Una sob efeito da precipitação pluvial de período de recorrência de 50 anos e preamar de 3,02m.

Figura 7. Resultado de simulação da bacia do Armas em Belém-PA.



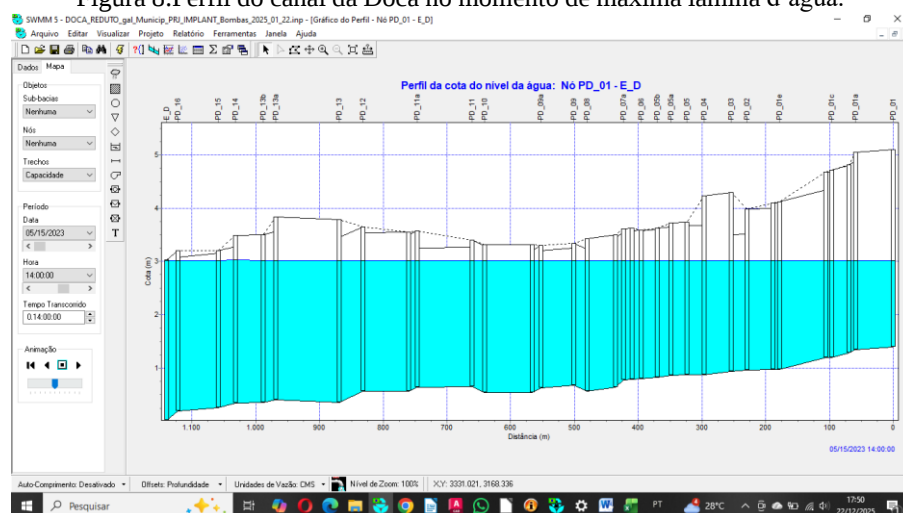
Fonte: Autoria própria.



A Figura 7 mostra o resultado bem-sucedido da simulação da bacia do Armas com o SWMM, com erros muito pequenos, de -0,10% para escoamento superficial e de - 1,93% para propagação de vazão.

A Figura 8 apresenta o Canal da Doca no momento de máxima lâmina d'água.

Figura 8. Perfil do canal da Doca no momento de máxima lâmina d'água.

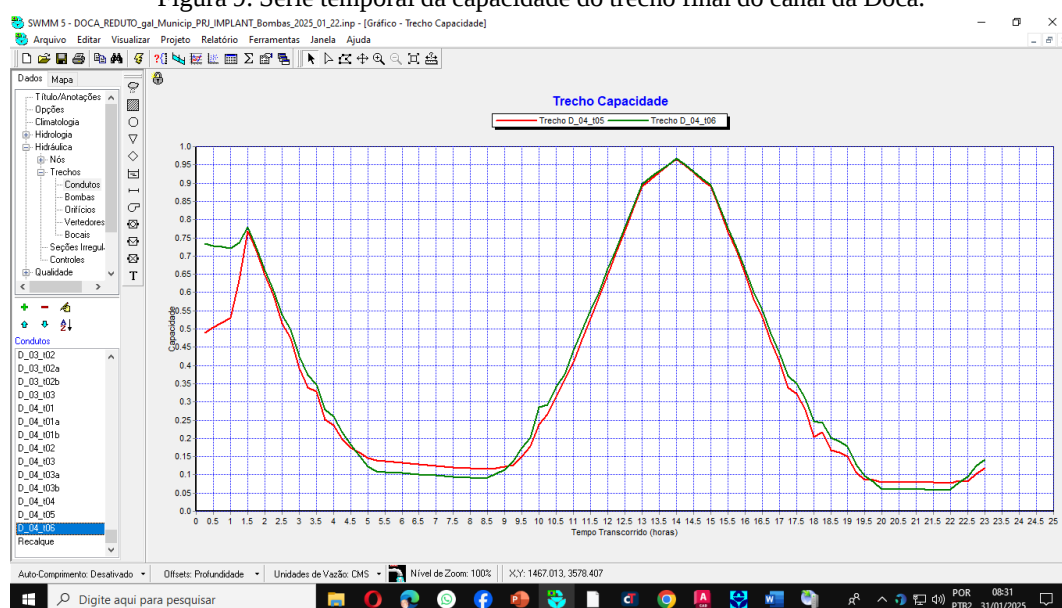


Fonte: Autoria própria.

A Figura 8 mostra que o terreno próximo às comportas apresenta risco de alagamento.

A análise do escoamento com auxílio do modelo computacional elaborado no SWMM resulta em que o trecho mais crítico para transbordo e alagamento é o trecho final do canal da Doca, conforme Figura 9.

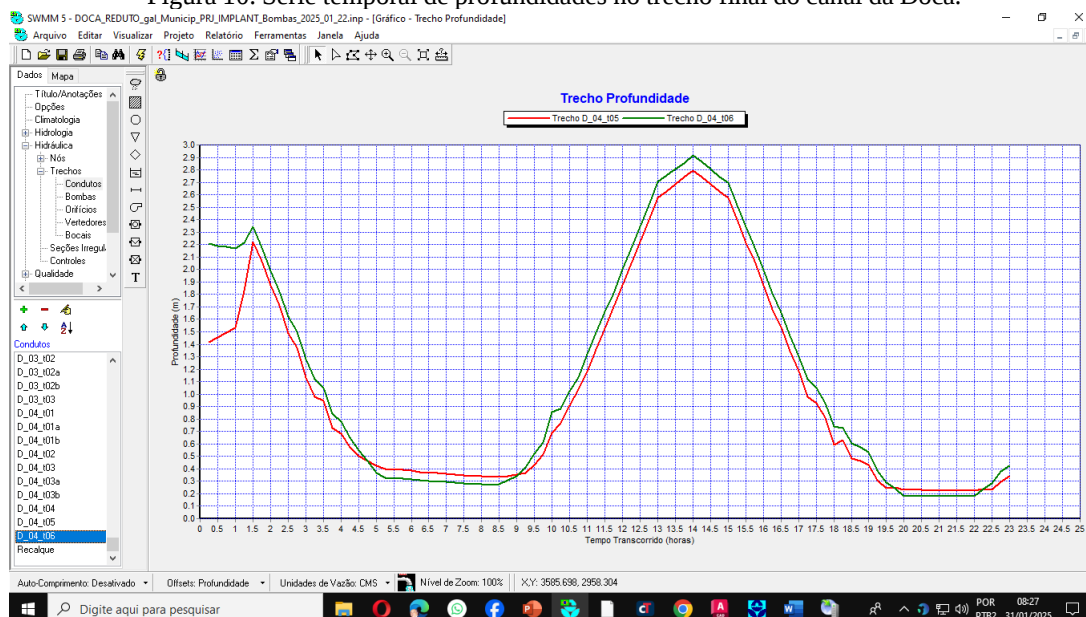
Figura 9. Série temporal da capacidade do trecho final do canal da Doca.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 10 mostra que o momento de maior capacidade ocupada do canal, de 85% a 97%, ocorre no intervalo das 12:45 a 15:15 horas após o início do evento.

Figura 10. Série temporal de profundidades no trecho final do canal da Doca.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 11 apresenta a série temporal da vazão no trecho final do canal da Doca.

Figura 11. Série temporal da vazão no trecho final do canal da Doca.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 11 que no momento de máxima capacidade ocupada do canal da Doca, de 96%, a vazão é de $4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Como o valor usual de 85% é ultrapassado, estuda-se o uso de eletrobombas de recalque para prevenir transbordos e alagamentos. Para isso, optou-se pelo uso do código computacional livre *Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool* (EPANET), também desenvolvido pela USEPA, e adequado para estudo de escoamentos hidráulicos em condutos

pressurizados. Visando reduzir a capacidade utilizada desses trechos para até 85%, nesse intervalo de maior risco de transbordamento, estudou-se a inserção de quatro unidades de eletrobombas submersíveis, para alturas de recalque de 7,2mca e vazões individuais de 0,4m³/s. Como regra de operação, devem ser acionadas quando a lâmina d'água no trecho da elevatória atingir 2,00m (85% da capacidade do trecho) e desligadas quando atingir 1,20m (51%), de modo a reduzir para abaixo de 85% a capacidade utilizada do canal, prevenindo transbordos.

A Figura 12 apresenta a localização proposta para a Estação Elevatória de Águas Pluviais da bacia do Armas (EEAPA), na confluência da Av. General Magalhães com a Rua de Belém, ao final do canal do Reduto, que se encontra interligado ao canal da Doca pela galeria da Rua Municipalidade.

Figura 12. Localização proposta para EEAPA.

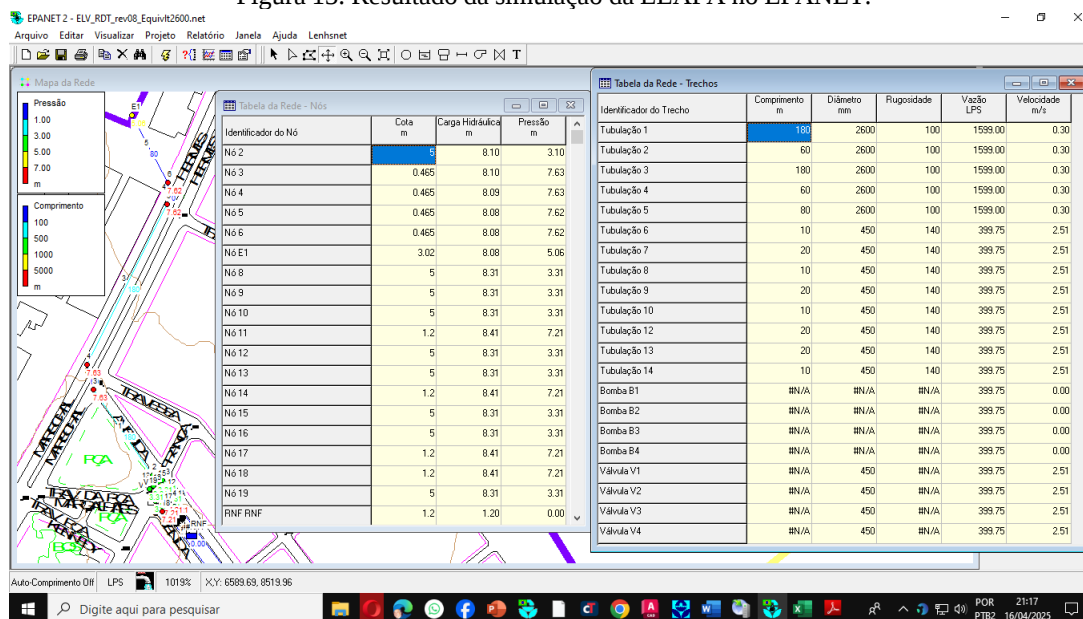


Fonte: Google Earth (2025).

Observa-se na Figura 12 a localização proposta para Estação Elevatória de Águas Pluviais da Bacia do Armas (EEAPA), cuja vazão será bombeada para a galeria de descarga do Reduto, situada após as comportas desse canal.

A Figura 13 apresenta o resultado da simulação da EEAPA no EPANET.

Figura 13. Resultado da simulação da EEAPA no EPANET.

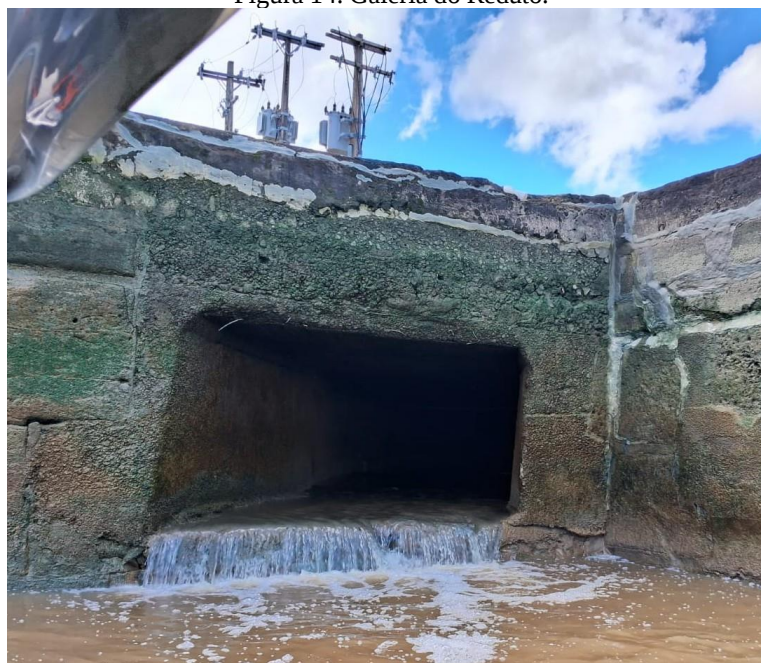


Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 13 o resultado da simulação da EEAPA no EPANET, considerando o uso da galeria de drenagem do canal do Reduto para escoamento das águas bombeadas.

A Figura 14 apresenta a seção de descarga da galeria do Reduto na baía de Guajará.

Figura 14. Galeria do Reduto.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 14 a imagem da galeria de drenagem do canal do Reduto, em concreto, com dimensões altura 1,60m, largura 3,40m e nível altimétrico da laje de fundo de 0,465m.

4.2 DISCUSSÃO

A modelagem computacional de eventos hidrológico-hidrodinâmicos em bacias de drenagem urbanas é de extrema utilidade para a gestão urbana, em especial para prevenção e combate a alagamentos, ao demonstrar de modo quantitativo que a associação de altos índices pluviométricos, topografia, elevação das marés e intensa impermeabilização podem resultar na ocorrência de transbordos e alagamentos.

5 CONCLUSÃO

A implantação exitosa do Parque Linear Nova Doca, na bacia do Armas, em Belém-PA como melhoria de infraestrutura urbana pré COP30, teve por base o estudo hidrológico-hidrodinâmico elaborado com uso de modelo computacional no SWMM aqui descrito.

As condicionantes do problema de alagamento urbano foram as baixas cotas altimétricas do terreno, este muito impermeabilizado, o elevado nível das marés, que sugerem a utilidade do uso de comportas e por fim o benefício do uso de eletrobombas para recalque de águas pluviais, para prevenir transbordos e alagamentos.

O estudo desenvolvido mostrou-se muito útil, simulando realisticamente o comportamento hidráulico da bacia quando submetida a chuva de período de retorno de 50 anos, precipitação de 172 mm em tempo de 24 horas, concomitantemente com a máxima preamar conhecida, que ocorreu no ano de 2010. Uma importante conclusão foi a indicação de suscetibilidade de alagamento por maré para terrenos com cota altimétrica inferiores a 3,02m, com base no nível da máxima preamar, ocorrida no ano de 2010,

O modelo computacional resultou em atingimento de 97% da capacidade no canal da Doca, fortemente sugestivo da necessidade do uso de eletrobombas para prevenção de transbordos, com o indicativo operacional de manter a capacidade ocupada do canal no máximo de 85%.

A implantação da Estação Elevatória de Águas Pluviais do Armas (EEAPA) constitui-se em importante equipamento para prevenir/combater transbordos e alagamentos no Canal da Doca (e do Reduto), atuando em momentos de níveis de água elevados, em conjunto com as providências referentes aos níveis altimétricos e operacionalização das comportas. Desta forma, a bacia do Armas, conforme explanado acima, estará dotada de mecanismos adequados para prevenção e combate de transbordos e alagamentos.

Para a implantação dessa EEAPA, com o objetivo de reduzir para abaixo de 85% a capacidade utilizada do canal, prevenindo transbordos, estudou-se com uso do software EPANET a instalação de quatro eletrobombas submersíveis em paralelo, sendo que cada unidade pode bombear vazões de 0,4m³/s para alturas de recalque de 7,2mca. As bombas devem ser acionadas quando a lâmina d'água na captação da estação elevatória atingir 2,00m e desligadas quando atingir 1,20m, por automação.



Assim, a simulação computacional com o SWMM e com o EPANET permitiram estudar um problema extremamente relevante para o combate e a prevenção de alagamentos em Belém-PA e a formulação de soluções de Engenharia adequadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu reconhecimento à Universidade da Amazônia (UNAMA), à Secretaria de Estado de Obras Públicas do Pará (SEOP) e à Secretaria Municipal de Zeladoria Urbana de Belém (SEZURB) pelo suporte institucional e técnico concedido. Estendemos os agradecimentos ao grupo de pesquisa Modelagem Urbana e Ambiental (MURBA) pela colaboração acadêmica. Por fim, agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior (CAPES) pelo fomento concedido por meio de bolsa de estudos, recurso fundamental para o desenvolvimento e a viabilização desta pesquisa.



REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. C. M. Datum Altimétrico Brasileiro. **Cadernos de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 69-73, 1990.

BELÉM (PA). **Lei Municipal nº 9.656, de 30 de dezembro de 2020**. Institui a Política Municipal de Saneamento Básico do Município de Belém, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), e o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), em atenção ao disposto no Art. 9º da Lei Federal nº 11.445/2007, com as atualizações trazidas pela Lei nº 14.026/2020, o Novo Marco do Saneamento Básico. Belém: 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/kLOl>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BELING, F. A. Calibração automática de parâmetros do modelo SWMM utilizando o algoritmo PEST para simulação hidrológica em bacia urbana. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, 2013.

CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DA MARINHA (CHN). **Tábua das marés**: descrição de estação maregráfica. Belém, PA: Marinha do Brasil, 2025. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/1_0520_-_porto_de_belem_f-41_padrao_v1-2020_0.pdf. Acesso em: 25 dez. 2025.

FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR (FEMAR). **Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras**. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar, 2000. Disponível em: <http://www.femar.com.br>. Acesso: 23 set. 2024.

GARCIA, J. I. B. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela**. Orientadora: Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva. 169 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Esclarecimento-sobre-a-relacao-entre-o-datum-vertical-do-sgb-imituba-e-santana-e-os-niveis-de-reducao-e-zeros-hidrograficos-no-litoral-brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/outros-documentos-tecnicos-geo/16393-esclarecimento-sobre-a-relacao-entre-o-datum-vertical-do-sgb-imituba-e-santana-e-os-niveis-de-reducao-e-zeros-hidrograficos-no-litoral-brasileiro.html>. Acesso em: 02 dez. 2025.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Dez anos de monitoramento do nível do mar no IBGE. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: UFPR. Disponível em: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2004-2000/3089-dez-anos-de-monitoramento-do-nivel-do-mar-no-ibge.html>. Acesso em: 20 set. 2024.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**: open source geospatial foundation project. Disponível em: <http://qgis.org>, Acesso em: 25 dez. 2025.

SHINMA, T. A. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão**. Orientadora: Luísa Fernanda Ribeiro Reis. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SOUZA, R. O. R. M. *et al.* Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, SP, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012.



STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM). **EPA SWMM 5.0**: modelo de gestão de drenagem urbana. Tradução de Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Campina Grande: UFPB, 2012. Disponível em: www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/swmm/SWMM_2012.pdf. Acesso em: 25 mar. 2025.

