

Modelagem do macrossistema de coleta de esgotos de Fortaleza-CE

Modeling the macro-sewerage system of Fortaleza-CE

• **Data de entrada:**
22/10/2019


• **Data de aprovação:**
03/06/2020


Silvano Porto Pereira¹ | Laryssa Barbosa Fernandes¹ | Francisco de Assis de Souza Filho² | Iran Eduardo Lima Neto^{2*}


DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2021.070>

ORCID ID

Pereira SP  <https://orcid.org/0000-0003-4362-211X>

Fernandes LB  <http://orcid.org/0000-0003-0086-7221>

Souza Filho FA  <http://orcid.org/0000-0001-5989-1731>

Lima Neto IE  <http://orcid.org/0000-0001-8612-5848>

Resumo

Estudos de campo e simulações computacionais do sistema de macro coleta de esgoto de Fortaleza-CE, integrando-se o SWMM ao QGIS, foram realizados com o intuito de investigar o comportamento hidrológico-hidráulico do Interceptor Leste (IL), sob diversas condições de operação. Os resultados mostraram que somente em um cenário de funcionamento ideal, sem interferência de assoreamento nem infiltração de águas pluviais, o IL seria capaz de suportar as suas vazões de alimentação. Já em um cenário com presença de trechos assoreados, o IL passaria a trabalhar sob condição de conduto forçado na maior parte dos trechos, apresentando pontos críticos de extravasamento. A ocorrência de velocidades inferiores a 1,0 m/s foi apontada como uma possível causa para o assoreamento. No entanto, simulações indicaram que a retirada de barreiras de sedimento seria suficiente para eliminar os extravasamentos. Avaliando-se a interferência de infiltrações de águas pluviais no IL, observou-se que o mesmo teria capacidade para suportar intensidades de chuva inferiores a 10 mm/h, desde que não mais que 5% da área das sub-bacias contribuísse para o interceptor. Essas simulações resultaram em contribuições pluviais parasitárias de até 80 L/(s.km), sendo este valor substancialmente superior ao valor de 6 L/(s.km) recomendado pela ABNT. Investigou-se ainda o impacto combinado da deposição de sedimento com a infiltração de águas pluviais, resultando em um aumento nos extravasamentos em relação aos cenários anteriores. Finalmente, simulações considerando várias possibilidades de retirada de barreiras de sedimento mostraram que essa medida por si só não seria suficiente para eliminar os extravasamentos na região.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Esgotamento sanitário. Modelagem hidrológica-hidráulica. QGIS. SWMM.

Abstract

Field studies and computer simulations of the macro-sewer system in Fortaleza-CE, Brazil, integrating the SWMM to QGIS, were carried out in order to investigate the hydrological-hydraulic behavior of the Interceptor Leste (IL), under various operational conditions. The results showed that only in an ideal operating scenario, without interference from silting or rainwater infiltration, the IL would be able to support its flows. In a scenario with the presence of silted stretches, IL would start to work under a forced pipe condition in most stretches, presenting critical points of overflow. The occurrence of speeds below 1.0 m/s was identified as a possible cause for silting. However, simulations indicated that the removal of sediment barriers would be sufficient to eliminate overflows. Assessing

¹ Companhia de Água e Esgoto do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

² Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

* **Autor correspondente:** iran@deha.ufc.br.

the interference of rainwater infiltration in the IL, it was observed that it would be able to withstand rain intensities below 10 mm/h, provided that no more than 5% of the sub-basin area contributed to the interceptor. These simulations resulted in rainfall contributions of up to 80 L/(s.km), which is substantially higher than the value of 6 L/(s.km) recommended by the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). The combined impact of sediment deposition with rainwater infiltration was also investigated, resulting in an increase in overflows compared to previous scenarios. Finally, simulations considering various possibilities for removing sediment barriers showed that this measure alone would not be sufficient to eliminate overflows in the region.

Keywords: Urban drainage. Sewerage. Hydrological-hydraulic modelling. QGIS. SWMM.

1 INTRODUÇÃO

O uso de modelos computacionais para simulação hidráulica de sistemas de esgotamento sanitário tem se intensificado substancialmente nas últimas décadas, uma vez que resultados gerados pelas simulações auxiliam tanto na elaboração de projetos como na operação de sistemas existentes (BUTLER et al., 2018). Dentre os diversos modelos disponíveis, o *Storm Water Management Model - SWMM* (ROSSMAN, 2015) é provavelmente o mais difundido na área de engenharia sanitária e ambiental. O SWMM é uma plataforma de livre acesso amplamente utilizada para planejamento, análise e design de projetos relacionados ao escoamento de esgotos sanitários e/ou águas pluviais. O software permite acoplar processos hidrológicos na escala de bacia hidrográfica a processos hidráulicos em condutos naturais e/ou artificiais, incluindo ainda aspectos relacionados ao transporte de sedimento e qualidade de água.

Diversos pesquisadores utilizaram o SWMM para simular o impacto quanti-qualitativo de eventos chuvosos em estruturas de micro e macro drenagem urbana (MARTIN et al., 2005; BARCO et al., 2008; PARK et al., 2008; KREBS et al., 2013; MULETA et al., 2013; GIRÃO et al., 2017; WARSTA et al., 2017), vários deles acoplando o modelo a Sistemas de Informações Geográficas - SIG como o QGIS (2016). Cabe salientar que esses estudos enfocaram sistemas

unitários, cujos coletores são projetados para receber tanto contribuições de esgotos como de águas pluviais. No Brasil, entretanto, os sistemas de coleta de esgotos são projetados como sistemas separadores absolutos, em que as águas residuárias são coletadas separadamente das águas pluviais. Assim, estudos anteriores com o SWMM têm se limitado à simulação dos sistemas de drenagem urbana, desconsiderando a interferência dos sistemas de esgotamento sanitário (VINAGRE et al., 2015; FORMIGA et al., 2016; SILVA JÚNIOR et al., 2017; ROCHA et al., 2021). Recentemente, Mesquita et al. (2020) propuseram uma metodologia empírica para avaliar o impacto de contribuições de esgotos na qualidade da água de sistemas de drenagem urbana simulados no SWMM, a qual pode ser incorporada a modelos hidrodinâmicos como o de Pereira et al. (2015) para prever o impacto de cargas bacteriológicas na balneabilidade de praias. Contudo, embora a grande maioria das cidades brasileiras possua sistemas de esgotamento sanitário altamente impactados pelas águas pluviais (TSUTIYA & SOBRINHO, 2011), não se tem conhecimento de pesquisas que tenham quantificado esse impacto por meio de modelagem matemática. Esse tema se torna ainda mais relevante no contexto da Lei Federal 11.445/07, que prevê uma análise integrada dos diferentes componentes do saneamento básico, incluindo os sistemas de esgo-

tamento sanitário e de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

O objetivo desse estudo é construir um modelo computacional do interceptor leste do sistema de macro-coleta de esgoto de Fortaleza-CE, integrando o SWMM ao QGIS. Ressalta-se que tal sistema atende aproximadamente a 500 mil habitantes e apresenta riscos de extravasamentos, principalmente durante os períodos chuvosos. Portanto, neste artigo, busca-se compreender o seu funcionamento do ponto de vista hidrológico-hidráulico, bem como as condições de interferências indevidas de águas pluviais e do aporte de sedimento que impliquem em riscos de extravasamento na região, permitindo assim a identificação de pontos críticos de obstrução e a otimização do sistema quanto ao seu funcionamento hidráulico. Além de fornecer uma contribuição científica quanto à adaptação de mode-

los hidrológico-hidráulicos e SIG à realidade das cidades brasileiras, a presente pesquisa propõe novas abordagens que podem auxiliar na gestão de águas urbanas.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O Interceptor Leste (IL) localiza-se na bacia Vertente Marítima de Fortaleza-CE e é responsável por encaminhar o efluente de esgotos domésticos gerado na região à Estação de Pré-condicionamento de Esgoto - EPC, de onde o efluente é direcionado a um emissário submarino (Fig. 1), após gradeamento fino e desarenação. O IL possui aproximadamente 7,5 km de extensão em tubulações de concreto armado com diâmetros que variam de 900 a 1.750 mm.



Figura 1 - Imagem do software QGIS com identificação do Interceptor Leste (IL) de Fortaleza-CE interligado à Estação de Pré-condicionamento de Esgoto (EPC), de onde o efluente é encaminhado para um emissário submarino.

2.2 Levantamento e análise de dados e informações

Os dados do macrossistema de coleta de esgoto de Fortaleza/CE foram fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE. Uti-

lizou-se um ano típico (2017) do ponto de vista de precipitações pluviométricas como referência para as campanhas de medição, análises e simulações computacionais. Foram realizadas batimetrias com haste graduada para levanta-

mento da profundidade, da altura da camada de sedimento e do nível de efluente nos 87 poços de visita distribuídos ao longo do IL. Concomitantemente, foram coletadas as coordenadas de cada poço de visita, para seu georreferenciamento, utilizando GPS (Garmin, modelo eTrex HC series). Adicionalmente, utilizou-se equipamento topográfico de nível para conferir as cotas do tampão dos poços de visita. Após a coleta desses dados, foi realizada uma análise com o resultado da batimetria para checar a declividade das tubulações do interceptor e, com isso, corrigir possíveis falhas ou divergências dos dados originais de projeto. Esse procedimento serviu também para identificar possíveis áreas de remanso.

Para estudar o comportamento hidráulico do interceptor, foi necessária a identificação das áreas responsáveis por lançar efluente direta ou indiretamente ao mesmo. Assim, foi feita uma análise utilizando o cadastro de toda a rede de esgoto de Fortaleza e das quadras e setores georreferenciados, disponibilizados pela CAGECE. Essas duas camadas foram analisadas em conjunto no software de informações geográficas, QGIS, e, por meio do caminharmento de cada trecho da rede, pôde-se identificar para onde cada uma das 1.935 quadras veiculava gravitariamente seu efluente. Após delimitação das áreas, o Sistema de Informações Comerciais (SIC) da CAGECE forneceu os volumes de água consumidos para cada quadra, a partir dos quais estimaram-se as contribuições de esgotos aplicando-se um coeficiente de retorno padrão de 80%. Adicionalmente, foram incorporadas as vazões bombeadas por duas elevatórias, obtidas a partir das curvas de vazão de suas bombas e número de horas de funcionamento. Por não existir medição das vazões nessas redes coletoras e estações elevatórias no IL, considerou-se que as mesmas seguiam um comportamento padrão horário de funcionamento semelhante ao da Estação de Pré-condicionamento de Esgoto - EPC, onde foram realizadas medições de vazão ao longo dos dias.

2.3 Modelagem hidrológica-hidráulica

O *Storm Water Management Model* - SWMM versão 5.1 (ROSSMAN, 2015) foi o modelo utilizado para realização das simulações hidrológicas-hidráulicas. O software admite as sub-bacias como elementos de reserva de água não lineares. A vazão resultante de cada sub-bacia é calculada por meio de um balanço hídrico e hidráulico, onde a água que entra provém da precipitação e do escoamento superficial de sub-bacias a montante e a saída de água inclui infiltrações, evaporação e escoamento superficial.

Em virtude da existência de ligações indevidas de águas pluviais de uma parcela de imóveis urbanos no sistema de esgotamento sanitário, uma fração da água da chuva que escoaria na superfície infiltra na rede de coleta de esgoto e é carreada juntamente com o esgoto sanitário, forçando o IL a trabalhar como um sistema separador parcial. Esse processo aumenta a vazão afluyente à tubulação, elevando, conseqüentemente, o risco de extravasamento.

Para avaliar a parcela de chuva que adentra a rede de esgotamento sanitário, construiu-se um modelo hidrológico no SWMM com base nas sub-bacias da Vertente Marítima de Fortaleza, utilizando-se os dados e informações disponíveis em Mesquita et al. (2020). Devido à ausência de dados de vazão específicos para o IL, foram testados diferentes percentuais do escoamento superficial que potencialmente infiltram no IL. Para tanto, essas sub-bacias foram reduzidas utilizando o plugin *Buffer by percentage* no software QGIS, considerando diferentes percentagens da área original. A Fig. 2 apresenta como exemplo áreas reduzidas a 5% da área total de cada sub-bacia. Ressalta-se que tais reduções foram realizadas com o intuito de simular diferentes cenários de infiltração na rede, visando identificar os percentuais máximos permitidos para evitar a ocorrência de extravasamento no IL.

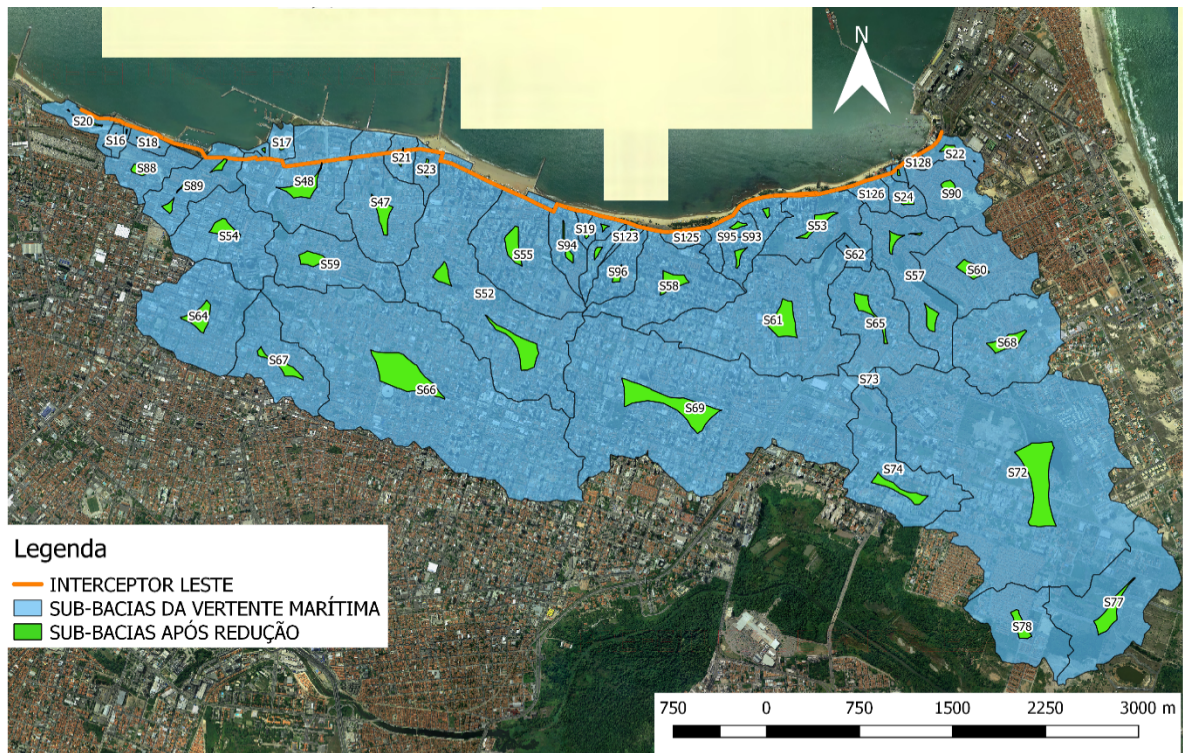


Figura 2 - Sub-bacias da Vertente Marítima de Fortaleza-CE, indicando suas respectivas áreas reduzidas (5% do total)

Os dados de chuva foram disponibilizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) por meio de sua plataforma digital. O referido centro dispõe de cinco estações pluviométricas distribuídas em Fortaleza-CE, as quais registram dados a cada dez minutos durante eventos chuvosos. A estação selecionada foi a Vicente Pinzon, devido à sua maior proximidade à área de estudo.

Para a realização das simulações hidráulicas, adotou-se o modelo de transporte da onda dinâmica, uma vez que este é o único disponibilizado pelo SWMM que leva em consideração as equações completas de Saint-Venant. Por meio desse modelo é possível representar não apenas o fluxo sob condição de conduto livre como também sob condição de conduto forçado, ou seja, quando a tubulação se encontra completamente preenchida. Nesse caso, o excesso de vazão acarreta no extravasamento do nó. Também é possível re-

produzir mudança de direção e acúmulo do fluxo. Além disso, o modelo fornece o nível de água nos nós e ao longo das tubulações. Para simular o bombeamento das estações elevatórias, foram considerados condutos de seção transversal circular, funcionando em carga, ou seja, sob pressão, e sua vazão foi calculada pelo programa pela equação de Hazen-Williams. Cabe salientar que os valores adotados para os coeficientes de Manning e Hazen-Williams foram de 0,015 e 105, respectivamente, de acordo com as recomendações de Rossman (2015).

Para avaliação do efeito da deposição de sedimento na tubulação, utilizou-se a forma chamada de "FILLED_CIRCULAR". Esta é a forma geométrica utilizada pelo SWMM para descrever condutos parcialmente preenchidos com sedimento. Para isso, é necessário informar ao programa tanto a altura total da tubulação (diâmetro) quanto a altura da coluna de sedimento.

Devido à dificuldade em medir a altura da coluna de sedimento dentro das tubulações, foi realizada uma interpolação linear entre as medições nos poços de visita de montante e jusante de cada tubulação.

2.4 Simulação de cenários

Com o intuito de compreender o funcionamento do IL do ponto de vista hidrológico-hidráulico e de avaliar o impacto de infiltrações de águas pluviais e do aporte de sedimento com relação a extravasamentos, foram analisados os seguintes cenários:

- **Cenário 1:** Interceptor sob condição ideal de funcionamento, isto é, sem infiltração de águas pluviais nem deposição de sedimento na tubulação;

- **Cenário 2:** Interceptor operando sem infiltração de águas pluviais, mas com deposição de sedimento na tubulação;

- **Cenário 3:** Interceptor operando com infiltração de águas pluviais, mas sem deposição de sedimento na tubulação;

- **Cenário 4:** Interceptor operando simultaneamente com infiltração de águas pluviais e deposição de sedimento na tubulação.

A Fig. 3 mostra esquematicamente o modelo hidrológico-hidráulico do Interceptor Leste (IL) de Fortaleza-CE construído no SWMM para simulação dos cenários supracitados.



Figura 3 - Modelo hidrológico-hidráulico do Interceptor Leste (IL) de Fortaleza/CE construído no SWMM para simulação dos cenários, com indicação dos PVs com aporte gravitatório e estações elevatórias.

3 RESULTADOS

3.1 Medições de campo e processamento de dados

A Fig. 4 mostra um perfil típico do Interceptor Leste (IL) levantado em fevereiro de 2017. Ob-

serve que a extensão total do IL é de 7,5 km e as tubulações são de concreto armado com diâmetros que variam de 900 a 1.750 mm. Como já mencionado, além da profundidade, foram medidos o nível do efluente e a altura da coluna de

sedimento (basicamente areia) em cada poço de visita (PV). Pode-se verificar que a maior parte do IL estava sob condição de conduto forçado, sendo apenas a porção final do mesmo sujeita à condição de conduto livre, ou seja, com o nível do efluente abaixo da geratriz superior das tubulações. Além da sobrecarga na tubulação, é possível notar um elevado índice de assoreamento, pois alguns poços de visita, como o PV23 e o PV9, possuíam uma coluna de areia acima, ou no mesmo nível, da tubulação, funcionando como uma barreira para o escoamen-

to livre do efluente. Padrões semelhantes de sobrecarga e deposição de sólidos em interceptores foram encontrados em sistemas de esgotos combinados, conforme reportado por Butler et al. (2018). Vale frisar que, devido à grande extensão do IL, as medições foram realizadas no decorrer de uma semana, sempre no período da manhã, entre 8 e 12 horas. Essa variação horária, assim como possíveis curvas de remanso, podem explicar o nível do efluente mais baixo em alguns poços de visita a montante, em comparação com os poços de visita a jusante.

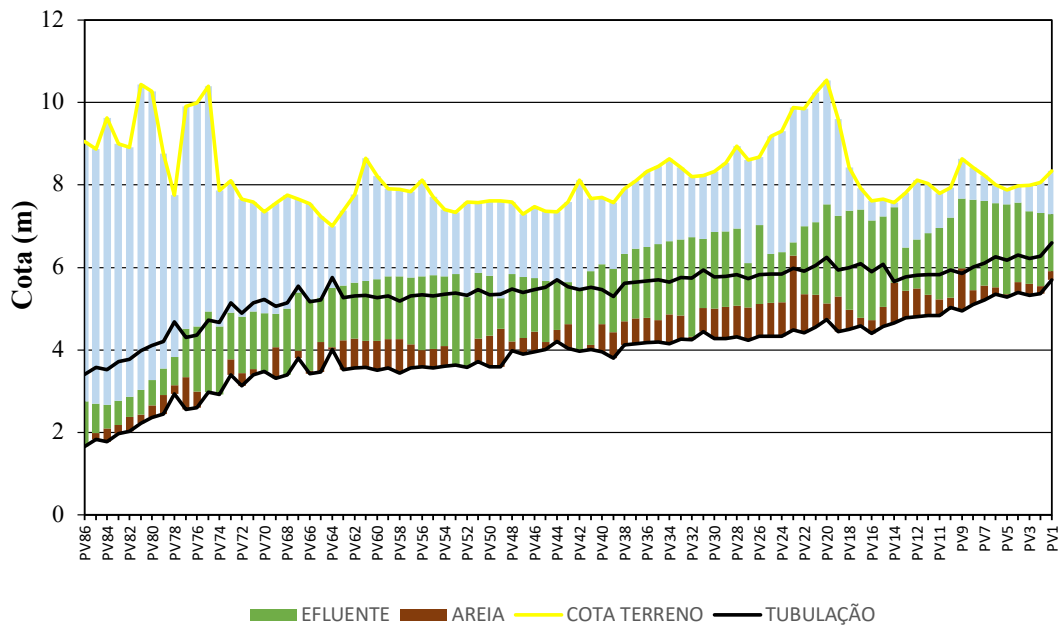


Figura 4 - Perfil do Interceptor Leste (IL) obtido a partir das medições de campo. Note que a extensão total é de 7,5 km e as tubulações são de concreto armado com diâmetros variando entre 900 e 1.750 mm.

A Fig. 5 mostra as vazões gravitárias médias de alimentação do IL advindas da rede de esgoto e somadas àquelas encaminhadas pelas estações elevatórias, as quais foram obtidas para os seis primeiros meses de 2017. Conforme mencionado anteriormente, para a realização das simulações com o SWMM, considerou-se que as vazões seguem o mesmo padrão de variação

temporal da Estação de Pré-condicionamento de Esgoto - EPC, resultando-se em um hidrograma cujo fator multiplicador variou entre 0,4 e 1,3, conforme mostrado na Fig. 6. Ressalta-se que padrões semelhantes de variação temporal de vazão de esgotos foram apresentados por outros autores para cidades brasileiras (TSUTIYA & SOBRINHO, 2011).

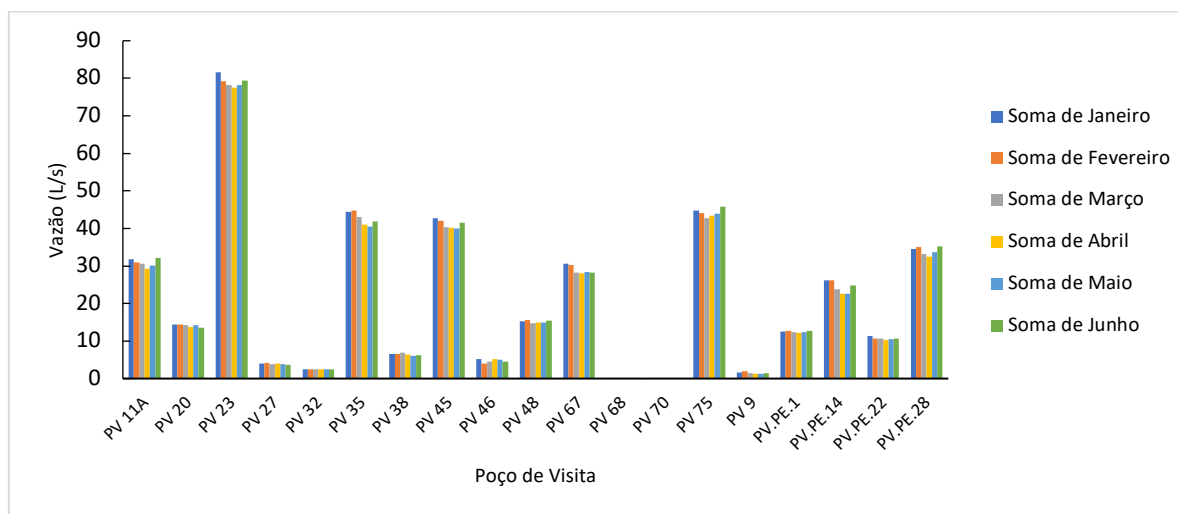


Figura 5 - Vazões de alimentação do IL advindas da rede de esgoto e das estações elevatórias, as quais foram obtidas para os seis primeiros meses de 2017.

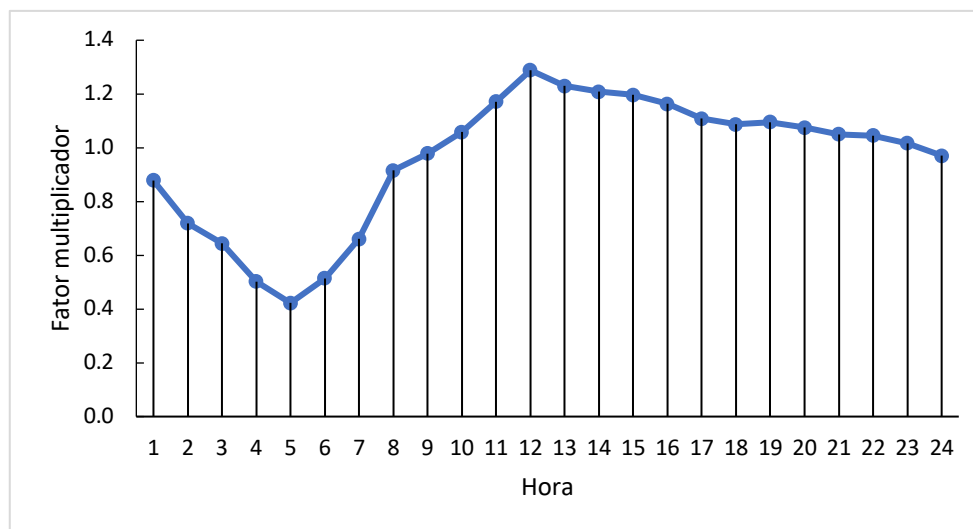


Figura 6 - Padrão de variação temporal das vazões na Estação de Pré-condicionamento de Esgoto - EPC.

3.2 Simulações hidrológicas-hidráulicas

A seguir, são apresentados os resultados das simulações hidrológicas-hidráulicas do Interceptor Leste (IL) usando o SWMM com auxílio do QGIS para manipulação das áreas de contribuição de águas pluviais.

a) Cenário 1 - Situação ideal

O Cenário 1 foi elaborado visando compreender o funcionamento do IL sem a ação de agentes

externos (areia e chuva). Os resultados apresentados na Fig. 7 indicam que o IL seria capaz de suportar, sob condições ideais de funcionamento, a carga hidráulica de efluente que recebe diariamente, sem provocar sobrecarga das tubulações nem extravasamentos. Portanto, pode-se afirmar que para o presente cenário, o IL operaria como sistema separador absoluto e sob condição de conduto livre ao longo de sua extensão, conforme preconizado pela NBR12207 - Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário (ABNT, 1992).

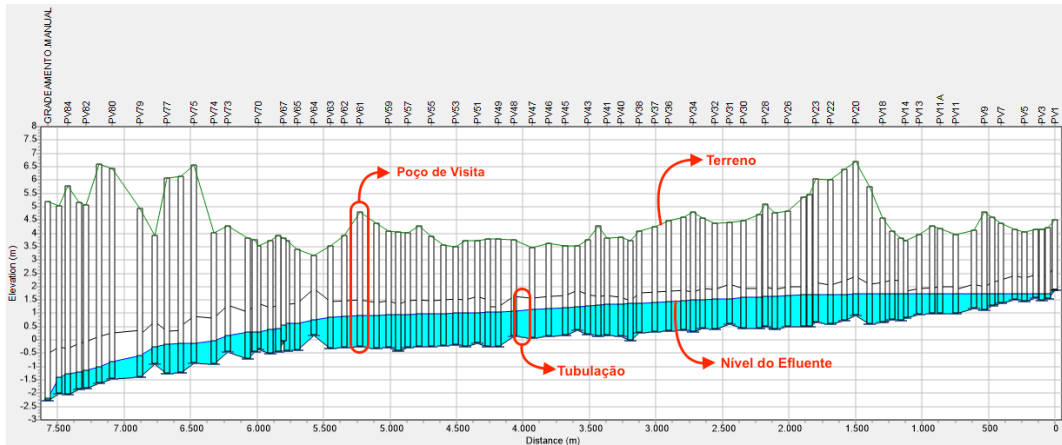


Figura 7 - Simulação do interceptor sob condição ideal de funcionamento, isto é, sem infiltração de águas pluviais nem deposição de sedimento na tubulação.

b) Cenário 2 - Tubulação assoreada

Para simulação do Cenário 2, foi acrescentada areia na tubulação, com base nos dados obtidos pelas campanhas batimétricas (ver Fig. 4). Pode-se observar que, com o assoreamento, o interceptor passa a trabalhar afogado, pois os depósitos de sedimento funcionam como barreiras para o fluxo gravitatório do efluente, ocasionando remanso e, conseqüentemente, causando extravasamento nos poços de visita que possuem cota do terreno mais baixa, conforme indicado na Fig. 8. Os pontos mais críticos foram os poços de vi-

sita 14 e 15, que apresentaram respectivamente 4320 e 2774 horas de extravasamento, correspondendo a aproximadamente 180 e 116 dias corridos. Esses resultados são consistentes com as observações de campo, em que os trechos supracitados apresentam vazamentos frequentes mesmo durante o período seco. Uma provável causa para o assoreamento do IL seria a ocorrência de velocidades inferiores a 1,0 m/s em cerca de 60% da sua extensão, que é a velocidade crítica normalmente adotada para evitar a deposição de sedimento em tubulações (KOKPINAR & GOGUS, 2001; BUTLER et al., 2018).

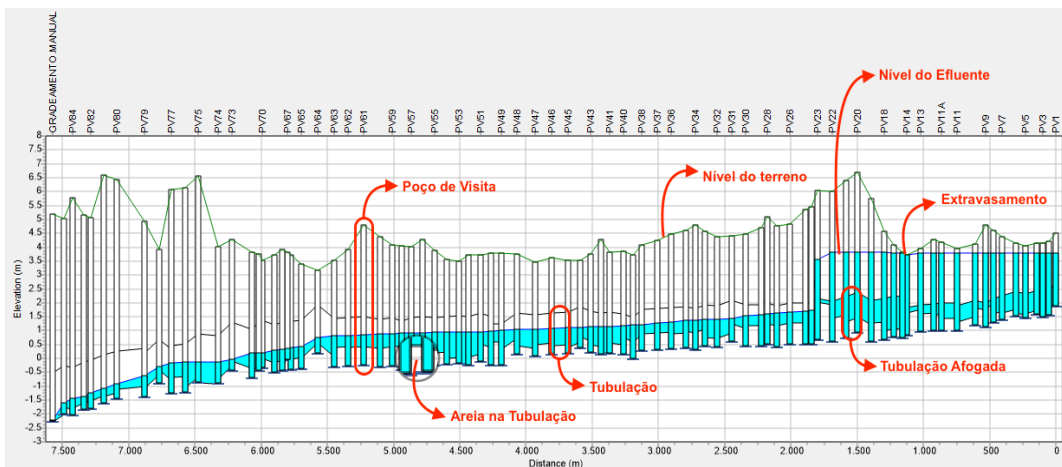


Figura 8 - Simulação do interceptor operando sem infiltração de águas pluviais, mas com deposição de sedimento na tubulação.

A fim de evitar a ocorrência de extravasamentos, foi realizada nova simulação considerando porém a limpeza em alguns pontos do interceptor. A Fig. 9 mostra que a retirada de barreiras de sedimento acumuladas nos trechos compreendidos

entre os poços de visita 22 e 24 permitiria que o efluente seguisse seu fluxo natural, aliviando assim a tubulação a montante. Nesse caso, haveria uma eliminação total dos extravasamentos indicados na situação anterior (ver Fig. 8).

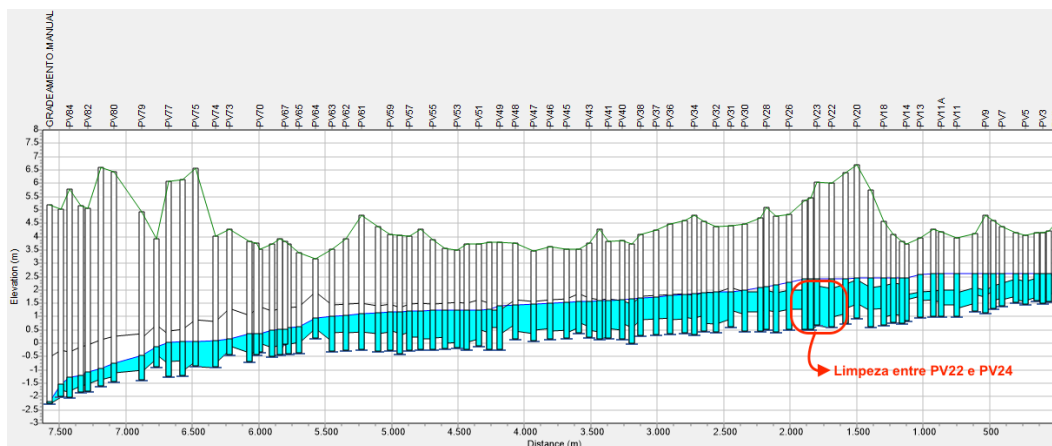


Figura 9 - Simulação do interceptor operando com deposição de sedimento na tubulação, mas após realização de limpeza entre os poços de visita 22 e 24.

c) Cenário 3 - Tubulação com infiltração de águas pluviais

No Cenário 3, avaliou-se a interferência de infiltrações de águas pluviais no interceptor. Observou-se que o IL tem capacidade para suportar eventos chuvosos com intensidades inferiores a 10 mm/h, desde que não mais que 5% da área das sub-bacias contribuísse indevidamente para o interceptor. É importante destacar que a mesma intensidade de 10 mm/h foi apontada por Chen et al. (2019) como o limite para ocorrência de extravasamento em pontos críticos de um sistema de esgotos combinados na China. A Fig. 10 mostra como exemplo a simulação do perfil hidráulico do IL no dia 11 de fevereiro de 2017, às 10:00h, quando a intensidade de chuva era de 10 mm/h. Cabe salientar, no entanto, que no

presente cenário, a vazão total de infiltração de águas pluviais seria da ordem de 600 L/s, o que resultaria em uma contribuição de 80 L/(s.km), valor este substancialmente superior ao sugerido pela ABNT (1992) para a máxima contribuição pluvial parasitária de 6 L/(s.km) em interceptores. Isso sugere que, devido à interferência indevida do sistema de drenagem urbana no sistema de coleta de esgotos sanitários, o valor acima recomendado pela NBR12207 - Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário precisaria ser revisto para garantir o funcionamento adequado dos interceptores de esgotos para as condições normalmente observadas em cidades brasileiras ou implementação de medidas de combate à ligações indevidas do sistema pluvial ao sistema de coleta de esgotos.

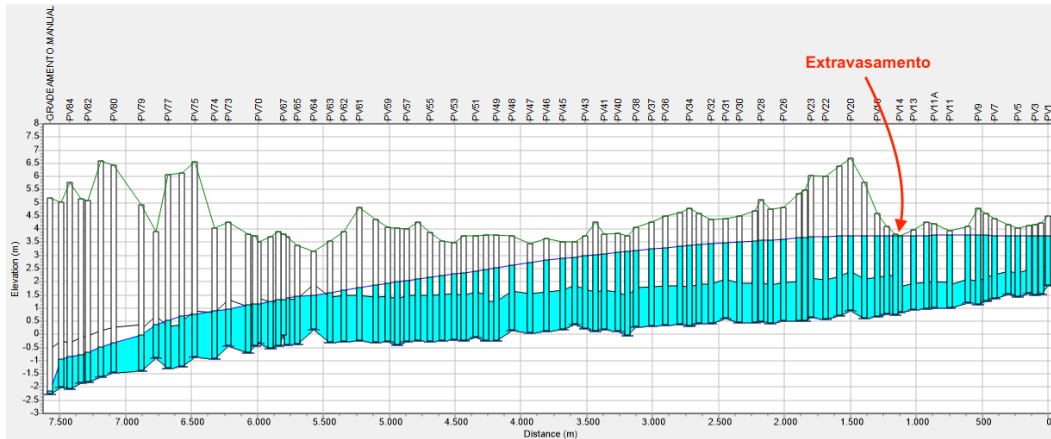


Figura 10 - Simulação do interceptor operando com infiltração de águas pluviais, mas sem deposição de sedimento na tubulação.

d) Cenário 4 - Tubulação assoreada e com infiltração de águas pluviais

No Cenário 4, a tubulação foi exposta a dois fenômenos externos, tanto o acúmulo de areia como a infiltração de águas pluviais. Na Fig. 11 é possível notar um aumento nos pontos de extravasamento em relação aos cenários anterior-

res. Além disso, as simulações resultaram em extravasamentos contínuos nos poços de visita 14 e 15. Esses resultados são condizentes com as observações de campo durante os períodos chuvosos na área de estudo. Portanto, pode-se afirmar que o presente cenário (areia e chuva) fornece uma condição altamente crítica ao funcionamento hidráulico do interceptor.

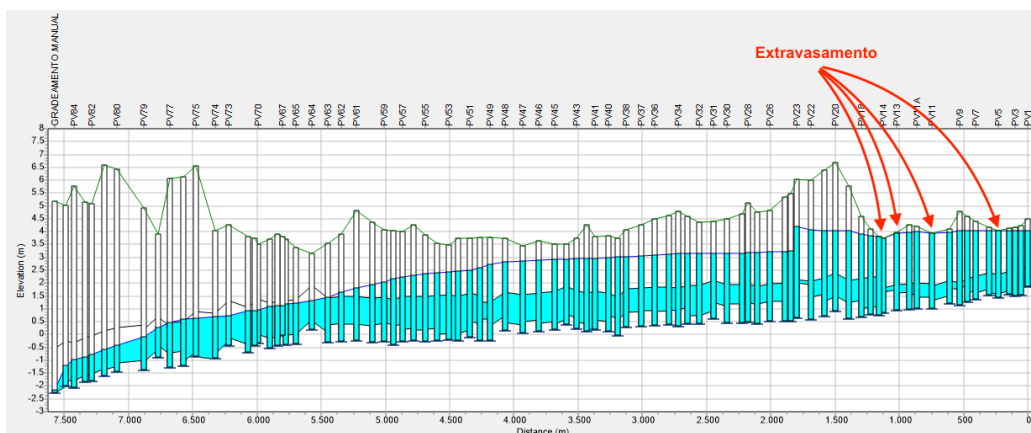


Figura 11 - Simulação do interceptor operando com infiltração de águas pluviais e deposição de sedimento na tubulação.

Simulações hidráulicas considerando várias possibilidades de limpeza em diferentes poços de visita mostraram que, para minimizar os riscos de extravasamento no interceptor em períodos chuvosos, deve-se realizar a limpeza no trecho

compreendido entre o PV 10 e o PV 60, como ilustrado na Fig. 12. Essa medida eliminaria três dos extravasamentos que ocorreriam na situação anterior (ver Fig. 11), mas não solucionaria o problema de extravasamentos.

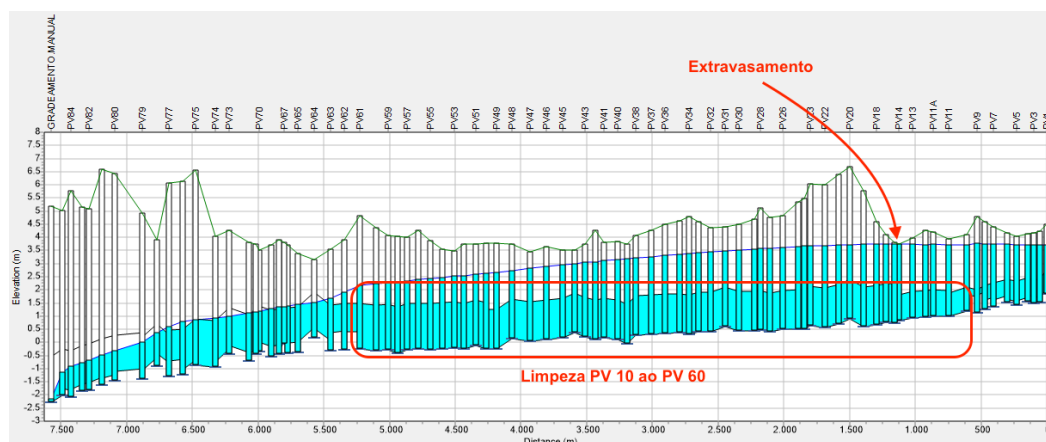


Figura 12 - Simulação do interceptor operando com infiltração de águas pluviais e deposição de sedimento na tubulação, mas após realização de limpeza entre os poços de visita 10 e 60.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, realizou-se um estudo de campo e construiu-se um modelo computacional integrando o SWMM ao QGIS visando compreender o funcionamento hidrológico-hidráulico do Interceptor Leste (IL) do sistema de macro coleta de esgoto de Fortaleza-CE. Os resultados das simulações hidrológicas-hidráulicas mostraram que somente em um cenário de operação ideal, sem interferência de assoreamento nem infiltração de águas pluviais, o IL seria capaz de suportar as suas vazões de alimentação funcionando sob condição de conduto livre em toda a sua extensão. Porém, considerando-se o efeito do assoreamento, o interceptor passaria a trabalhar afogado e provocaria dois pontos críticos de extravasamento, consistentemente com as observações de campo. Uma provável causa para o assoreamento do IL seria a ocorrência de velocidades inferiores a 1,0 m/s. Porém, simulações considerando a retirada de barreiras de sedimento em apenas alguns pontos estratégicos do IL seriam suficientes para eliminação dos extravasamentos. Avaliando-se a interferência de infiltrações de águas pluviais no IL, verificou-se que o mesmo teria capacidade para suportar eventos chuvosos com intensidades inferiores a 10 mm/h, desde que não mais que 5% da área

das sub-bacias contribuísse indevidamente para o interceptor. Essas simulações resultaram em contribuições pluviais parasitárias de até 80 L/(s.km), valor este significativamente superior ao recomendado pela ABNT [6 L/(s.km)]. Avaliou-se ainda o impacto combinado do assoreamento com a infiltração de águas pluviais, resultando em um aumento nos pontos de extravasamento em relação aos cenários anteriores. Além disso, as simulações resultaram em extravasamentos contínuos em alguns poços de visita, conforme observado em campo durante os períodos chuvosos. Por fim, simulações considerando várias possibilidades de retirada de barreiras de sedimento mostraram que esse tipo de intervenção reduziria o número de pontos de extravasamentos, mas não solucionaria o problema na área de estudo. Espera-se que os resultados e as metodologias propostas no presente estudo possam auxiliar na gestão de águas urbanas, notadamente em cidades brasileiras, onde a interferência do assoreamento e da infiltração de águas pluviais em sistemas de esgotos sanitários é notória.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT (1992). **Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário**. NBR12207.
- BARCO, J.; WONG, K.M.; STENSTROM, M.K. Automatic Calibration of the U.S. EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 134, n. 4, 466-474. 2008.
- BRASIL. LEI Nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 19 maio. 2019.
- BUTLER, D.; DAVIES, J. W.; DIGMAN, C. J.; MAKROPOULOS, C. (2018). **Urban drainage**. 4a. ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- CHEN, S.; QIN, H-P.; ZHENG, Y.; FU, G. Spatial variations of pollutants from sewer interception system overflow. **Journal of Environmental Management**, v. 233, n. 1, 748-756. 2019.
- FORMIGA, K. T.; CARVALHO, M.; SILVA, K. A.; SOARES, A. K. Calibração do Storm Water Management Model (SWMM) utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, 697-707. 2017.
- GIRÃO, L. F. O.; NUNO, E. C. S.; MARQUES, J. A. A. S.; LEITÃO, J. P. C.; PINA, R. D. Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, 351-360. 2017.
- KOKPINAR, M. A.; GOGUS, M. Critical flow velocity in slurry transporting horizontal pipes. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 127, n. 9, 763-771. 2001.
- KREBS, G.; KOKKONEN, T.; VALTANEN, M.; KOIVUSALO, H.; SETÄLÄ, H. A high resolution application of a stormwater management model (SWMM) using genetic parameter optimization. **Urban Water Journal**, v. 10, 394-410. 2013.
- MARTIN, P.H. et al. Interfacing GIS with water resource models: a state of-the-art review. **Journal of the American Water Resources Association**, 41, 1471-1487. 2005.
- MESQUITA, J. B. F.; PEREIRA, S. P.; LIMA NETO, I. E. Modelagem da Drenagem Urbana e Avaliação das Cargas Bacteriológicas na Vertente Marítima de Fortaleza, Ceará. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020189161>. 2020.
- MULETA, M.; MCMILLAN, J.; AMENU, G.; BURIAN, S. Bayesian Approach for Uncertainty Analysis of an Urban Storm Water Model and Its Application to a Heavily Urbanized Watershed. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, p. 1360-1371. 2013.
- PARK, S.Y. et al. Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a SWMM simulation. **Desalination**, 226, 328-337. 2008.
- PEREIRA, S. P.; ROSMAN, P. C. C.; ALVAREZ, C.; SCHETINI, C. A. F.; SOUZA, R. O.; VIEIRA, R. H. S. F. Modeling of coastal water contamination in Fortaleza (Northeastern Brazil). **Water Science and Technology**, 72(6), 928-936. 2015.
- QGIS Development Team **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. 2016.
- ROCHA, M. J. D.; PEREIRA, S. P.; LIMA NETO, I. E. Integração do SWMM e ferramentas SIG para modelagem hidrológico-hidráulica de bacia complexa. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 26(3), 451-459. 2021. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190328>.
- ROSSMAN, L.A. **Storm water management model, user's manual, version 5.1**. Cincinnati, OH: U.S. EPA. 2015.
- SILVA JÚNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; CABRAL, J. J. S. P. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife - PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 19, 361-368. 2017.
- TSUTIYA, M.; SOBRINHO, P. A. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 3 ed.: Fundo Editorial, 2011. 548 p. 2011.
- VINAGRE, M. V. A.; LIMA, A. C. M.; LIMA JÚNIOR, D. L. Estudo do comportamento hidráulico da Bacia do Paracuri em Belém (PA) utilizando o programa Storm Water Management Model. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, 361-368. 2015.
- WARSTA, L. NIEMI, T. J.; TAKA, M.; KREBS, G.; HAAHTI, K. KOIVUSALO, H.; KOKKONEN, T. Development and application of an automated subcatchment generator for SWMM using open data. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 9. 2017.