



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ANA DANIELE RUFINO SABOIA

**MODELAGEM HIDRÁULICA DO INTERCEPTOR OESTE DA CIDADE DE
FORTALEZA/CE**

CRATEÚS
2022

ANA DANIELE RUFINO SABOIA

MODELAGEM HIDRÁULICA DO INTERCEPTOR OESTE DA CIDADE DE
FORTALEZA/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita.

CRATEÚS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S122m Saboia, Ana Daniele Rufino.
Modelagem Hidráulica do Interceptor Oeste da Cidade de Fortaleza/CE / Ana Daniele Rufino Saboia. – 2022.
44 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita.

1. Interceptor. 2. Esgotamento sanitário. 3. PCSWMM. I. Título.

CDD 628

ANA DANIELE RUFINO SABOIA

MODELAGEM HIDRÁULICA DO INTERCEPTOR OESTE DA CIDADE DE
FORTALEZA/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Raimunda Moreira da Franca
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheiro Gustavo Siebra Lopes
Universidade Federal do Ceará (Mestrando DEHA/UFC)

À minha mãe,
Artemiza Maria Rufino da Silva.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda proteção, saúde, bençãos, força e coragem para vencer todos os desafios da graduação, da vida e deste trabalho.

Aos meus pais, Artemiza Maria Rufino da Silva e Paulo Irevan Bezerra Saboia, pelo exemplo, cuidado, amor incondicional, apoio financeiro e emocional, por todos os ensinamentos e por nunca desistirem de mim. Principalmente à minha mãe, que acompanhou cada segundo dessa longa jornada e sempre me deu forças para lutar.

Ao meu irmão, Paulo Ítalo, que mesmo com os desentendimentos nunca mediu esforços para me ajudar.

Aos demais membros da minha família que estiveram do meu lado nesses anos, me apoiando e aconselhando. Em especial, à Aildeglânia Rufino, Atenilde Rufino, Irandir Bezerra, Iracélia Saboia, Francisca de Paula e Maria Ivanilde (*in memoriam*).

À minha panelinha, Alan Sousa, Ana Luiza, Gerson Dias e Ludmylla Beatrice, pelo carinho, paciência, pelas vezes que me salvaram das reprovações, pelas noites viradas estudando e pelas vezes que seguraram minha mão e me deram forças para continuar. Em especial ao Gerson, que foi a minha principal dupla da graduação e da vida externa, me proporcionando risadas e momentos únicos em meio ao caos. Levarei todos comigo além da universidade.

À minha melhor amiga, Flaviana Melo, pelo apoio emocional em cada fase da minha vida acadêmica, mesmo não sabendo sequer o que é uma derivada.

Ao Emanuel Teixeira, pelo cuidado, pelas horas que foram dedicadas a me ajudar e pela companhia nos momentos bons e ruins.

Aos amigos que cativei na graduação, Jailson Sampaio, José Mota, Zilda Chaves, Jonatas Alves e Guilherme Umbelino por me fazerem acreditar no meu potencial e me tirarem da rotina.

À Milena Melo, Ritiele Martins, Tamires Teixeira, Paloma Moreira, Rayana Soares, Raila Martins e Isabelle Braz, pela amizade, atenção e inspiração.

Ao Arlysson Veríssimo, por desmistificar minha mente sobre este trabalho, pelos conselhos e motivações no final da graduação.

À professora Luísa Gardênia, tutora do Programa de Educação Tutorial de Crateús, por ter exercido um papel de mãe e ter acreditado em mim até quando eu mesma já tinha desistido. Foi mais que excelente como coordenadora nas minhas bolsas PID e PET, estando carinhosamente ao meu lado desde 2020.

À minha orientadora, Janine Mesquita, pelas ideias, paciência e por exercer uma excelente orientação neste trabalho e em sala de aula.

Às professoras, Thayres Andrade, Larissa Lucena, Raimunda Franca e Luana Viana, que proporcionaram momentos de muito aprendizado e gosto pelo curso.

À Assistência Estudantil da UFC, por todos esses anos que recebi auxílio financeiro suficiente para chegar até aqui.

Ao Diego Soares, pela oportunidade de trabalho nos meses que estive sem bolsa.

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, pela oportunidade de participar do projeto deste trabalho, pelas informações e permissões cedidas para que ele acontecesse, e também pelos recursos disponibilizados pelo Edital FUNCAP-CAGECE do qual este projeto foi desenvolvido dentro do escopo.

Ao Sistema Integrado de Saneamento Rural – SISAR, pela oportunidade de estágio e experiência adquirida. Em especial ao Marcos Diogo e Leidiana Oliveira, pelo carinho, atenção e ensinamentos.

À empresa *Chiwater Computational Hydraulics International* – CHI, pela concessão da licença do *software* PCSWMM para realização da modelagem deste trabalho.

À toda a banca avaliadora, pela disponibilidade, correções e sugestões.

A todos aqueles que mesmo não citados contribuíram de forma direta ou indireta para que esse sonho fosse realizado.

“Os problemas não são sinais de parada, são diretrizes.”

Robert Schuller

RESUMO

Uma alternativa que vem sendo difundida nos estudos e pesquisas é o uso de ferramentas computacionais para verificar o desempenho das redes de esgoto e drenagem para viabilizar o entendimento de seu funcionamento de forma proativa, contribuindo para o bom desempenho do sistema e mitigar e/ou evitar ocorrências de extravasão e mal odor. Os *softwares* de modelagem permitem a simulação de cenários com base na realidade, viabilizando a identificação prévia de possíveis condições que possam impactar a operação contribuindo para um correto diagnóstico e sua correção com recursos aportados pela Edital de Chamada Pública FUNCAP-CAGECE. Ainda em parceria com a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, o presente trabalho teve como objetivo analisar as condições hidráulicas de funcionamento do Interceptor Oeste, localizado na bacia da Vertente Marítima na cidade de Fortaleza – CE, compreendendo a possível relação entre a ocorrência de sobrecargas e extravasamentos e a deposição de sedimentos na tubulação, através da modelagem hidráulica realizada pelo *software Personal Computer Stormwater Management Model – PCSWMM*. Com base na simulação de quatro cenários que desconsideram o período chuvoso no município, foram identificados pontos críticos em que o interceptor trabalha com sobrecarga de efluente sem a lâmina livre para ventilação no conduto, que podem gerar problemas operacionais para rede, além de serem indícios para possíveis extravasamentos devido à influência de outros fatores externos, como a chuva.

Palavras-chave: Interceptor. Esgotamento sanitário. PCSWMM.

ABSTRACT

An alternative identification of problems that has been widespread in studies and research is the use of computational tools to verify the performance of sewage and drainage networks to enable the understanding of their functioning in a proactive way, contributing to the good performance of the system and mitigating and/or avoiding occurrences of over flow and bad odor. Modeling software allows simulation of possibilities based on reality, enabling the prior identification of possible conditions that may impact the operation, contributing to a correct diagnosis and its correction with resources contributed by the Public Call Notice Funcap-Cagece. Still in partnership with *Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE*, the present work aimed to analyze the hydraulic conditions of operation of the West Interceptor, located in the maritime slope basin in the city of Fortaleza – CE, understanding the possible relationship between the occurrence of overloads and overflows with the deposition of sediments in the pipeline, through hydraulic modeling performed by the software Personal Computer Stormwater Management Model – PCSWMM. Based on the simulation of four possibilities that disregard the rainy season in the municipality, critical points were identified where the interceptor works with effluent overload without the free blade for ventilation in the conduit, that can generate operational problems for the network, in addition to being indications for over flow with the influence of other external factors, such as the rain.

Keywords: Interceptor. Sanitary System. PCSWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de uma rede de esgoto	21
Figura 2 – Interceptor Oeste da bacia da Vertente Marítima de Fortaleza/CE	24
Figura 3 – Sistema do Interceptor Oeste da bacia da Vertente Marítima de Fortaleza/CE	25
Figura 4 – Inserção de vazão no PV 9	28
Figura 5 – Inserção da camada de areia na tubulação do IO	29
Figura 6 – Perfil hidráulico do IO sem camada de sedimentos no dia 01 de agosto de 2022 às 12:15 AM	30
Figura 7 – Perfil hidráulico do interceptor oeste com camada média de sedimentos no dia 01 de agosto de 2022 às 12:15 AM	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculos das vazões de cada trecho do interceptor oeste	27
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Água e Saneamento Básico
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CHI	<i>Chewater Computational Hydraulics International</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPC	Estação de Pré-Condicionamento
FLED	Faixas Litorâneas de Escoamento Difuso
FUNCAP	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IL	Interceptor Leste
IO	Interceptor Oeste
NBR	Norma Brasileira
PCSWMM	<i>Personal Computer Storm Water Management Model</i>
PV	Poço de Visita
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivos.....	17
1.3.1	<i>Objetivo geral.....</i>	17
1.3.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Sistema de esgotamento sanitário	18
2.2	Componentes de um sistema de esgoto sanitário.....	19
2.3	Deposição de sedimentos em redes de esgoto	21
2.4	Modelagem computacional.....	22
2.4.1	<i>Storm Water Management Model (SWMM).....</i>	22
2.4.2	<i>Personal Computer Stormwater Management Model (PCSWMM).....</i>	23
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	Caracterização e delimitação da área de estudo.....	24
3.2	Levantamento de dados	25
3.3	Cálculo das vazões	26
3.4	Deposição de sedimentos.....	27
3.5	Análise de cenários	28
3.6	Entrada de dados no PCSWMM	28
3.7	Limitações e incertezas	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Cenário 1 - Interceptor exposto à situação ideal, sem deposição de sedimento na tubulação.	30
4.2	Cenário 2 – Interceptor operando com deposição média de sedimento nas tubulações com menor declividade	31
5	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS	35
	APÊNDICE A – VAZÕES MÁXIMAS DOS CENÁRIOS 1 E 2.....	39
	APÊNDICE B – VAZÕES MÁXIMAS DO ÚLTIMO PV DO INTERCEPTOR LESTE41	
	ANEXO A – TERMO DE AOTORIZAÇÃO	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

No Brasil, o saneamento básico é definido pela Lei 14.026 de 15 de julho de 2020 como um conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais compostas pelo abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais. Ela dispõe sobre a atualização do marco legal do saneamento e confere novas competências à Agência Nacional de Água e Saneamento Básico - ANA.

Mendonça & Mendonça (2017) definem os esgotos sanitários como “aqueles provenientes do sistema de abastecimento de água da população, que, depois de modificadas por diversos usos em atividades domésticas, industriais e comunitárias, são recolhidas pela rede de esgotamento que as conduz a um destino apropriado”. Já o saneamento básico, pode ser entendido “como o controle e a manutenção de todos os meios físicos que possam afetar prejudicialmente a saúde da população” (AFONSO, 2020).

Dentre essas atividades, percebeu-se historicamente uma priorização nos serviços de abastecimento de água, a coleta e o afastamento dos esgotos, ação que consiste basicamente em retirar o esgoto do entorno das populações, deixando o tratamento de esgotos como última ação, o que tem gerado impactos ambientais, sociais e econômicos (SUITA, 2018). Oliveira *et al.* (2015) *apud* Aguiar, Ceconello e Centeno (2019), afirmam que no território brasileiro apenas o serviço de abastecimento de água, coleta e disposição de resíduos sólidos e esgotos é atendido, mas não satisfazem ao tratamento adequado deles, bem como os serviços de drenagem e controle de vetores.

De acordo Tsutiya e Sobrinho (2011), a população brasileira, que é torno de 214,8 milhões de habitantes (IBGE, 2022), apresenta um imenso déficit no que se refere ao esgotamento sanitário, onde estima-se que no final do século XX menos de 10% da população tinha esgoto tratado. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS (2020), a região Nordeste aparece em 4º lugar entre as regiões brasileiras com os mais baixos índices de esgotamento sanitário e abastecimento de água, ficando atrás apenas da região Norte. Dados do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE, mostram que somente no estado do Ceará, com cerca de três milhões de domicílios, 620 mil não tiveram acesso à água adequada, mostrando que a cobertura do estado é menor que a do Brasil e ainda menor que a do Nordeste.

A cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará possui quatro principais bacias de esgotamento sanitário, as quais são descritas pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza (2014) como: Bacia da Vertente Marítima (Faixas Litorâneas de Escoamento Difuso – FLED); Bacia do Rio Siqueira/Maranguapinho; Bacia do Rio Cocó; e Bacia do Coaçu/Miriú. Segundo dados do ano de 2013 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicados no Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza (2014), elas possuem, respectivamente, 391.287, 1.054.087, 937.073 e 220.118 habitantes.

Na bacia da Vertente Marítima, dois interceptores são responsáveis por conduzir o esgoto até EPC – Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto, denominados de interceptor leste e oeste. Os interceptores são instalados às margens de canais e cursos d'água, e compostos por tubulações com diâmetros superiores aos outros componentes da rede, pois possuem vazões maiores devido às contribuições vindas dos coletores-tronco e redes coletoras (SUITA, 2018).

O desgaste natural de um sistema coletor é inevitável. Esse desgaste aliado ao mau uso da rede pode provocar problemas e diminuir o desempenho do sistema de coleta e transporte de esgoto. As obstruções causadas na rede coletora geram principalmente problemas relacionados ao extravasamento de esgoto em pontos críticos, causando impacto significativo à população e ao meio ambiente, com riscos de contaminação e condições insalubres (NETO; VIEIRA; AGUIAR, 2016).

1.2 Justificativa

A modelagem hidráulica de sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários tem permitido maior facilidade e rapidez na realização de cálculos, tendo seu uso cada vez presente nos dias atuais devido principalmente propiciadas pelos desenvolvimentos de tecnologias. Os *softwares* de modelagem hidráulica apresentam comumente uma operação simples e intuitiva, o que permite realizar uma simplificação dos sistemas de rede de esgoto, facilitando na tomada de decisões baseadas em critérios definidos pelo próprio usuário (MEZINI et al., 2019). Ainda segundo os autores, utilizar um Sistema de Informação Geográfica – SIG associado com a modelagem hidráulica torna o trabalho mais eficiente, pelo fato de permitir uma análise de múltiplos critérios de maneira especializada, sendo uma fonte mais refinada e objetiva que traz rapidez na obtenção dos dados necessários para elaborar determinado projeto.

Nesse contexto, podem ser utilizados diversos tipos de ferramentas a fim de se implantar redes de esgoto com parâmetros em conformidade ou mais aproximados com a localidade, resultando em um sistema com melhor desempenho e minimizando ocorrências operacionais. Atualmente existem técnicas que permitem a modelagem hidráulica dos sistemas já em funcionamento, as quais proporcionam a simulação de cenários para encontrar condições ideais e melhorias nos sistemas, colaborando para preservação ambiental, controle de vetores, e conseqüentemente, para a saúde pública. Dessa forma, este trabalho aborda uma ferramenta metodológica para analisar o funcionamento do Interceptor Oeste de Fortaleza – CE a partir do uso de modelagem hidráulica, visando contribuir para o gerenciamento da performance da rede de esgoto da cidade com a avaliação da influência da sedimentação na rede, que pode favorecer para identificação de problemas operacionais, como extravasamento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar as condições hidráulicas de funcionamento do Interceptor Oeste, localizado na bacia da Vertente Marítima na cidade de Fortaleza – CE.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento da base cartográfica para parametrizar o modelo;
- Efetuar a modelagem hidráulica do Interceptor Oeste em diferentes cenários de deposição de sedimentos;
- Identificar pontos críticos de extravasamento e sobrecarga do interceptor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema de esgotamento sanitário

Desde as civilizações antigas até os dias atuais tem-se observado ações em prol da garantia da salubridade através de sistemas de abastecimento de água e de disposição de efluentes. Nesse contexto, quando considera-se a disposição final de efluentes, alguns acontecimentos históricos ganham destaque, como a Cloaca Máxima, que de acordo com Costa (2013), foi construída pelos romanos no século VI a.C. e perdurou até a queda do Império Romano, sendo considerada um dos primeiros sistemas complexos de esgotamento sanitário.

Definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 9.648/86 como "despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária", o esgoto sanitário apresenta uma composição de aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, sob as mais diversas formas, tendo também em sua composição a presença de microrganismos patogênicos ou não, conforme citado por Von Sperling (1996), que também ressalta que a necessidade de tratamento surge principalmente dessa pequena parcela de 0,1% de sólidos.

Mesmo com avanços significativos nos últimos anos em saneamento básico, o Brasil ainda ocupa a 112ª posição no ranking de saneamento do Instituto Trata Brasil e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). Além disso, o Atlas Esgoto (2017), que reúne informações da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, mostra que mesmo com uma geração de 9,1 toneladas de esgoto por dia no país, 45% da população ainda não possui tratamento de esgotos.

Como consequência desses baixos índices, o comprometimento da qualidade ambiental chega a ser inevitável, causando um meio propício para a propagação de doenças de veiculação hídrica e outras correlacionadas ao crescimento sem infraestrutura, tornando-se um problema de saúde pública. O Atlas Saneamento (2021), através de dados da Organização das Nações Unidas – ONU, mostra que a falta de saneamento é responsável por 0,9% das mortes no país em uma década, sendo as regiões Centro-Oeste (42,9%) e Nordeste (27,1%) as que registraram os maiores percentuais. As principais causas de morte, foram Doença de Chagas, diarreia e disenteria, que corresponderam a quase 81,5% dos óbitos no período de 2008 a 2019.

Diante da necessidade evidente de se realizar tratamento e disposição adequada do esgotamento sanitário, torna-se necessário compreender sua composição, a qual é constituída por esgoto doméstico, despejos industriais, água de infiltração (VON SPERLING, p.51, 1996)

e contribuição parasitária (NUVOLARI, p.37, 2011). De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), os sistemas de esgotamento sanitário podem ser do tipo unitário, separador parcial e separador absoluto, que significam respectivamente, águas pluviais, residuárias e de infiltração são coletadas pelo mesmo sistema; águas pluviais são destinadas parcialmente com as águas residuárias e de infiltração; e águas pluviais são encaminhadas para um sistema de drenagem, enquanto que as águas residuárias e de infiltração são coletadas por um sistema de esgotamento sanitário. Von Sperling (1996) complementa que no Brasil é utilizado o sistema separador, o qual trabalha com a drenagem e o esgoto sanitário em sistemas isolados, sendo assim, as águas pluviais não devem chegar até às Estações de Tratamento de Esgotos.

Considerando a composição supracitada, as vazões parasitárias e as infiltrações são tidas como indevidas para as redes de esgoto, podendo ser originadas no subsolo ou de encaminhamentos acidentais ou clandestinos de águas pluviais. As infiltrações, por exemplo, comumente ocorrem de água que penetra pela junta dos canos, através de imperfeições dos dutos, poços de visita, etc (NUVORALI, 2011).

De acordo com a NBR 9.648/86 da ABNT, o sistema de esgotamento sanitário é tido como um “conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro”.

Para Nuvorali (2011), as principais finalidades de se implantar um sistema de esgotamento sanitário são relacionadas com aspectos higiênicos, sociais e econômicos. Primeiramente do ponto de vista higiênico tem-se a prevenção e o controle de doenças de veiculação hídrica responsáveis por agravos na saúde pública, trazendo à tona a necessidade de promover o tratamento e a disposição adequada do efluente. Do ponto de vista social, o objetivo consiste em melhorar a qualidade de vida da população e do ponto de vista econômico o objetivo está relacionado com o aumento da produtividade em geral, principalmente das indústrias e agropastoris.

2.2 Componentes de um sistema de esgoto sanitário

Um sistema de esgotamento sanitário que funcione de forma plena, atendendo a todos requisitos legais e sem comprometer a qualidade do meio ambiente deve ser composto de diversas partes. Segundo Nuvorali (2011), a rede coletora dispõe de ligações prediais, coletores-tronco e órgãos acessórios, que permitem o recebimento das contribuições domiciliares,

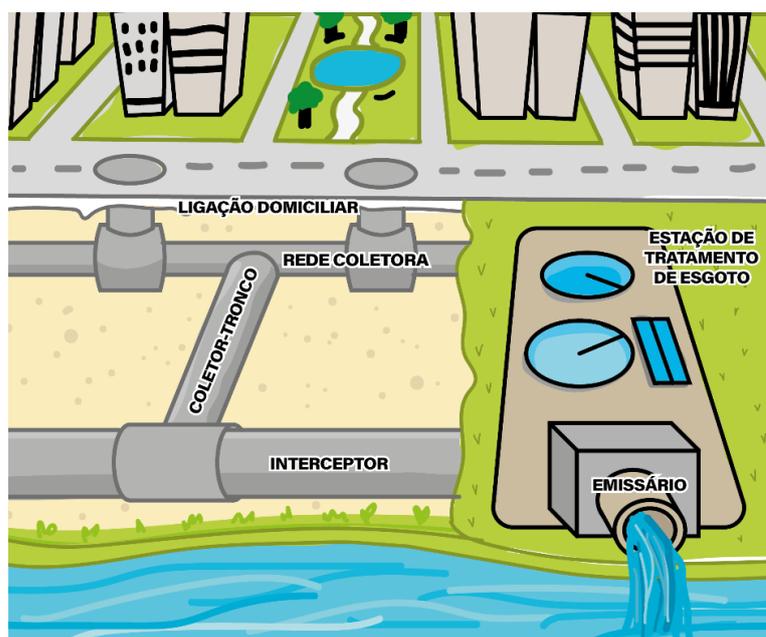
levando o esgoto sanitário coletado para os grandes condutos de transporte que direcionam para o local de tratamento e descarga final.

Tsutiya e Sobrinho (2011) revelam que essa mesma rede é constituída por:

- ligações domiciliares: são as instalações feitas pelos próprios moradores que se encaminham para a rede coletora;
- rede coletora: recebe e encaminha os esgotos das residências para os próximos coletores;
- coletor tronco: recebe a contribuição de outros coletores e direciona um interceptor ou emissário;
- interceptor: permitem o recebimento de coletores ao longo do seu comprimento e não permite que sejam feitas ligações prediais direta;
- emissário: responsável por conduzir o esgoto sanitário a um destino final adequado;
- estação elevatória: permitem a transferência do esgoto de uma cota mais baixa para uma cota mais alta;
- estação de tratamento: são instalações destinadas a realizar o tratamento do esgoto antes de sua destinação final;
- acessórios: consistem em tubos de inspeção e tubos de inspeção e limpeza, terminais de limpeza, sifão invertido, poços de visitas e caixas de passagem.

Na Figura 1 é possível observar a disposição dos componentes supracitados:

Figura 1 – Ilustração de uma rede de esgoto



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.3 Deposição de sedimentos em redes de esgoto

Há uma escassez de trabalhos na literatura que tratam do assunto de deposição de sedimentos em redes de esgoto sanitário. Normalmente o foco é apenas a influência para a drenagem urbana ou substâncias que geram corrosão e demais problemas. Mays (2005, p. 781) relata que os sedimentos são fragmentos da rocha-mãe, sendo o material rochoso o principal componente dos sedimentos. O autor complementa que efeitos das chuvas podem gerar a erosão dessas partículas, sendo carreadas para rede de drenagem.

A ABNT NBR 9649 de 1986, não prevê influência do grande acúmulo de sedimentos na tubulação, mas designa que os condutos devem ter uma lâmina de efluente igual ou inferior a 75% do diâmetro da tubulação. Para casos em que a velocidade final for maior que a velocidade crítica, o valor a ser ocupado pelo efluente é de apenas 50% da tubulação destinada para ventilação.

Na norma para projeto de interceptores NBR 12.207/92, aponta-se que a tensão trativa média deve ser 1,5 Pa e declividade suficiente para que haja o arraste de sedimentos na tubulação, evitando que haja acúmulo nos trechos. Essa norma trata da contribuição das infiltrações de águas pluviais e casos em que deve ser dimensionado um extravasador.

A CAGECE realiza limpezas regularmente nos interceptores para retirar os materiais sedimentados nas tubulações a fim de evitar obstruções, sobrecarga e extravasões que prejudicam o funcionamento da rede de esgoto.

2.4 Modelagem computacional

Modelos matemáticos têm por principal objetivo a representação simplificada da realidade por meio de sistemas de equações matemáticas e procedimentos computacionais a partir de variáveis e parâmetros que permitem prever os comportamentos, as transformações ou as evoluções (CHRISTOFOLETTI, 1999). Têm como características primordiais a precisão, a simplicidade, a robustez, a transparência e a adequação (PORTO, 2002).

Em relação aos modelos hidrológicos e hidráulicos, no geral, são tratados como modelos determinísticos, ou seja, os resultados gerados são constantes para os mesmos dados de entrada no modelo, independentemente do número de simulações realizadas. Enquanto os modelos hidrológicos procuram descrever o processo de transformação de precipitação em escoamento, os modelos hidráulicos são usados para representar o movimento da água proveniente da precipitação na bacia e na rede dos coletores (MATIAS, 2016). No geral, esses modelos são apresentados com uma interface de dados versátil, comumente por meio de mapas, para facilitar sua interpretação.

2.4.1 Storm Water Management Model (SWMM)

O SWMM é um modelo desenvolvido pela Environmental Protection Agency – EPA e surgiu no final da década de 60 desenvolvidos pelos pesquisadores Metcalf e Eddy, a Water Resources Engineers e a Universidade da Flórida, sob comando e supervisão da EPA (SILVA, 2007). Trata-se de um modelo físico de simulação temporal discreta, de código fonte aberto o que permite a alteração e atualização por pesquisadores com o objetivo de melhorar sua performance (CAVALCANTI, 2020). Entre as aplicações típicas, é possível mencionar (SILVA, 2007):

- Avaliação de impacto de entrada e infiltrações nas descargas de sistemas de coleta e transporte de águas residuárias;
- Gerar cargas de fontes contaminantes não pontuais para estudos de acumulação de resíduos;

- Desenho de estratégias de controle da rede para minimizar o número de descargas de sistemas unitários;
- Delimitação de zonas de inundação em barrancos e canais naturais;
- Desenho e dimensionamento dos componentes da rede de drenagem para prevenir inundações.

Por se tratar de um programa gratuito, ele é comumente utilizado para modelagem. Um exemplo é o trabalho de Mesquita (2020), a qual sugeriu um procedimento para o cálculo das cargas bacteriológicas através das cargas difusas e sua correlação com variáveis hidroambientais na Bacia da Vertente Marítima, em Fortaleza – CE, auxiliada pelo SWMM para as simulações hidráulicas e hidrológicas.

2.4.2 *Personal Computer Stormwater Management Model (PCSWMM)*

O PCSWMM é um *software* que usa como algoritmos de base o SWMM, desenvolvido pela Chiwater Computational Hydraulics International (CHI). Possui uma interface amigável com facilidades para explorar recursos como modelagem 2D e identificação de imagens georreferenciadas (BORGES, 2018). O *software* é uma combinação de SIG com o SWMM e fornece um pacote escalável e completo com ferramentas abrangentes para modelagem de hidrologia, hidráulica e qualidade da água, tais como (AKHTER, HEWA 2016):

- Modelagem de corpos hídricos;
- Análise de controle em tempo real;
- Suporte a Modelo Digital de Elevação;
- Suporte a SIGs;
- Relatórios automatizados;
- Visualização do Google Earth.

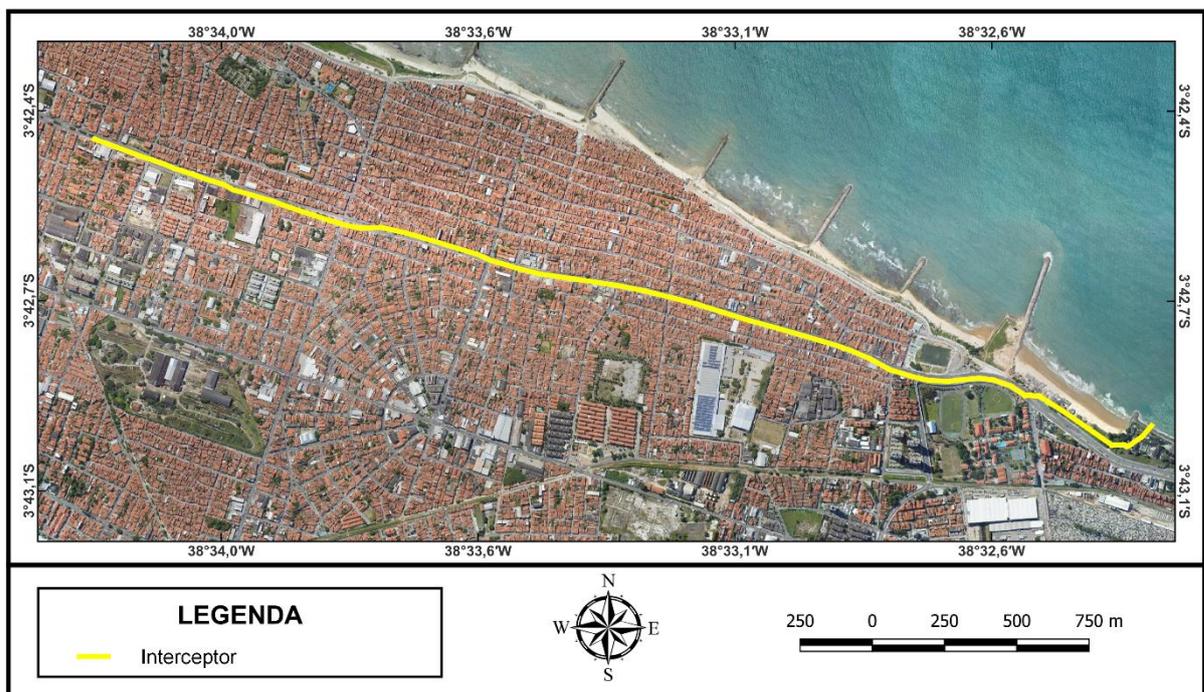
3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização e delimitação da área de estudo

O sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza é dividido em 4 bacias: Vertente Marítima, a Bacia do Cocó, a Bacia do Miriú/Coaçu e a Bacia do Siqueira, com cobertura de 66,63% (CAGECE, 2022). A Vertente Marítima possui dois interceptores para a condução do esgoto, o Interceptor Leste (IL), com cerca de 7,58 km de extensão e 0,90 a 1,75 m de diâmetro e o Interceptor Oeste (IO), com aproximadamente 12,58 km de extensão e 1,40 a 1,75 m de diâmetro, que interceptam o efluente recebido a partir de rede, coletores troncos e emissários e encaminham até o gradeamento da Estação de Pré-Confinamento – EPC, de acordo com os dados da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE. Conforme as projeções populacionais feitas com os dados do IBGE de 2013, a bacia Vertente Marítima atendia 391.287 habitantes e a projeção é que venha atender 442.524 habitantes até 2033 (FORTALEZA, 2014).

O objeto deste estudo corresponde ao Interceptor Oeste (IO), o qual está indicado na Figura 2.

Figura 2 – Interceptor Oeste da bacia da Vertente Marítima de Fortaleza/CE



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O IO juntamente com o IL, são elementos de interesse de estudo demandado pela CAGECE para identificação de pontos críticos e melhorias operacionais na rede.

O interceptor possui ao longo do comprimento 59 poços de visitas e um único coletor-tronco com 1596,93m de comprimento e 1m de diâmetro, conectado (Figura 3) contendo um poço de visita. Os PV's possuem profundidades que variam de 2,80m a 7,88m. O interceptor transporta o esgoto até o gradeamento da Estação de Pré-Confinamento – EPC, não tendo um emissário direto, mas junto com o IL a rede possui um emissário ao final. Como neste trabalho analisou-se o Interceptor Oeste de forma isolada foi necessário adicionar um emissário fictício ligando o interceptor até o corpo hídrico mais próximo (o mar), pois o *software* não faz simulações sem esse componente.

Figura 3 – Sistema do Interceptor Oeste da bacia da Vertente Marítima de Fortaleza/CE



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.2 Levantamento de dados

Este trabalho faz parte do estudo desenvolvido no projeto Modelagem Integrada da Rede Coletora do Esgoto de Drenagem Urbana de Fortaleza/CE, uma parceria entre a Fundação

Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, a Universidade Federal do Ceará – UFC e a CAGECE através do Edital de Chamamento Público 02/2021. Sendo assim, a base de dados para a delimitação da área de estudo no *software* não é pública e foi disponibilizada pela CAGECE, com arquivos do PCSWMM (.inp) e de informações geográficas (.shp), contendo o traçado das tubulações do interceptor, coletor-troco e todos os poços de visita, ambos com valores reais de diâmetros e comprimentos. A companhia forneceu ainda os documentos com dados das batimetrias realizadas nos interceptores, contendo os valores de sedimentos nos poços de visita.

Foram usados os dados de vazão dos trabalhos de Fernandes (2017) e Fernandes *et al.* (2017), que realizou a simulação hidráulica do IL no *software* de SWMM com informações reais obtidas por meio de batimetria. Os estudos da autora contaram ainda com análise da interferência das águas pluviais na tubulação, prevendo de melhor forma as possíveis extravasões.

3.3 Cálculo das vazões

Como não existem dados prévios com os valores de vazão do Interceptor Oeste e também não foram repassados pela companhia, então foram utilizados com base nos dados de vazão do trabalho de Fernandes (2017) sobre o outro interceptor de Vertente Marítima, o Leste. De acordo com a simulação feita pela autora, para o dia 06/01/2017 a média dos valores que chegam no último PV do IL (Apêndice B) ligando à EPC é de 927,45 L/s. Esse valor foi dividido pelo comprimento do Interceptor Leste, que é de exatos 7588,322m chegando a uma taxa de contribuição linear pela Equação (2) obtida através da Equação (1), onde Q é vazão, T_x é a taxa de contribuição linear e L é o comprimento do interceptor.

$$Q = T_x \cdot L \quad (1)$$

$$T_x = \frac{Q}{L} \quad (2)$$

O objetivo de calcular essa taxa é para que seja usada como alternativa de encontrar as vazões do Interceptor Oeste, pois os dois interceptores estão conectados com a EPC e possuem comportamentos semelhantes. Dessa forma, a taxa será multiplicada pelo comprimento de cada trecho do IO, resultando em uma vazão para o trecho.

O valor calculado foi $0,000122 \frac{m^3/s}{m}$ e transformado para (L/s) que é a unidade de entrada do PCSWMM, resultando em $0,122 \frac{L}{s \cdot m}$. Esse resultado foi acrescido ainda do valor da taxa de contribuição parasitária, que segundo a norma NBR 12207 é de $6 \frac{L}{s \cdot km}$, ou seja $0,006 \frac{L}{s \cdot m}$. Dessa forma, a taxa final utilizada foi de $0,128 \frac{L}{s \cdot m}$.

Dentre os 59 PV's do IO, apenas 10 deles foram escolhidos como pontos de plotagem de vazão do trecho, além da contribuição vinda do coletor-tronco, calculadas pela Equação (1). A Tabela (1) expressa os valores obtidos, em que a coluna de Comprimento (m) é a soma de 5 ou 6 trechos reais e a de PV é referente ao nome do PV em que a vazão foi adicionado no *software*.

Tabela 1 – Cálculos das vazões de cada trecho do interceptor oeste

Pontos	Comprimento (m)	Vazão (L/s)	Trecho	PV
1	415,64	53,29	PV3 - PV9	9
2	351,99	45,13	PV9 - PV15	15
3	393,27	50,43	PV15 - PV21	21
4	458,88	58,84	PV21 - PV27	27
5	455,49	58,40	PV27 - PV32	32
6	600,82	77,04	PV33 - PV38	38
7	346,2	44,39	PV39 - PV44	44
8	346,22	44,39	PV45 - PV50	50
9	249,96	32,05	PV51 - PV55	55
10	218,1	27,96	PV56 - PV60	60
11	1596,93	204,76	PV1 - PV44	44

Fonte: Elabora pela autora (2022).

No PV44 tem-se a soma das vazões do trecho PV39 – PV44 mais a vazão do coletor-tronco, totalizando 249,14 L/s.

3.4 Deposição de sedimentos

Os valores de sedimentação foram obtidos através do cálculo da média de alturas de areia nos PV's do IL, de acordo com a última batimetria realizada pela CAGECE (14/12/2022) até a elaboração do presente trabalho. Mesmo se tratando do outro interceptor, esses dados foram selecionados porque apresentavam-se mais recentes e simplificados. Os valores médios foram de 0,55m e 0m de areia, que quando interpolados resultaram no valor de

0,275m. A altura resultante foi prolatada em apenas três pontos do interceptor, os quais são tubulações onde não há declividade e tornam-se mais vulneráveis ao acúmulo de sedimentos, sendo elas nomeadas no *software* como IO- 2, IO- 9 e IO- 13.

3.5 Análise de cenários

Os cenários para simulação foram escolhidos com base na pesquisa de Fernandes *et al.* (2017) e adaptados para as possibilidades do Interceptor Oeste, sendo eles:

- Cenário 1: Interceptor exposto à situação ideal, sem deposição de sedimento na tubulação.
- Cenário 2: Interceptor operando com deposição média de sedimento nas tubulações com menor declividade.

Os cenários foram pensados para a avaliar se valor de areia pode ser considerado prejudicial para o funcionamento pleno do interceptor e provocar extravasões.

3.6 Entrada de dados no PCSWMM

O *software* permite a entrada de dados de vazão nos PV's para simulação de fluxo na rede. A Figura 4 mostra a inserção de valores para vazão em L/s:

Figura 4 – Inserção de vazão no PV 9

Inflows Editor: PV-9

Direct Dry Weather RDII

Constituent: FLOW

Baseline (L/s): 53.29

Baseline pattern:

Time Series:

Scale Factor: 0

Inflow = (Baseline Value) x (Baseline Pattern) + (Time Series Value) x (Scale Factor)

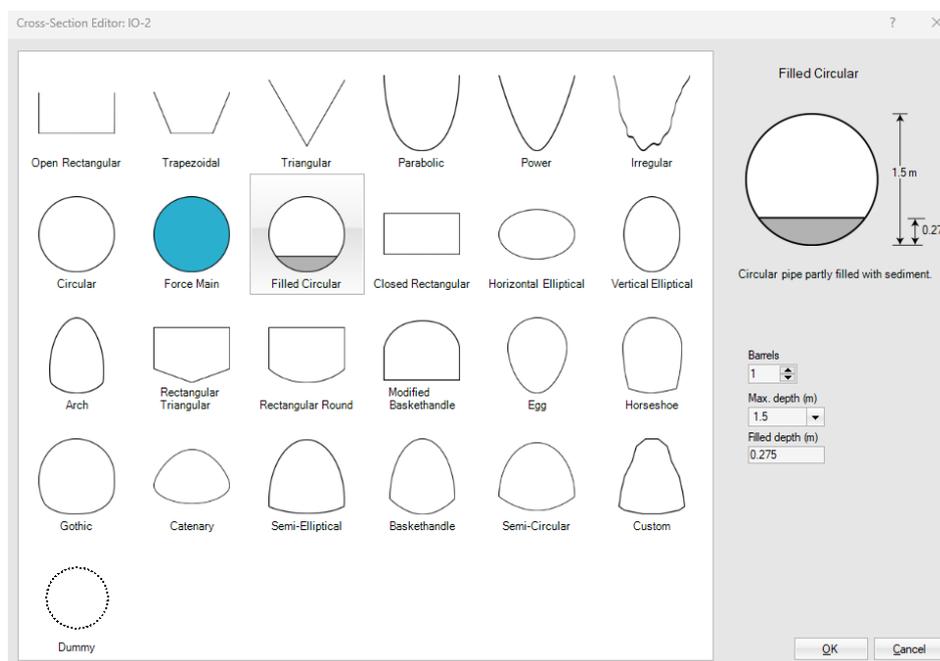
If Baseline or Time Series is left blank its value is 0.
If Baseline Pattern is left blank its value is 1.0.

OK Cancel

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O PCSWMM também possibilita a escolha do formato de seção transversal do canal ser parcialmente preenchido por sedimentos ou com escoamento forçado. A Figura 5 indica a inserção do valor da camada de areia na tubulação para a seção parcialmente preenchida com sedimentos.

Figura 5 – Inserção da camada de areia na tubulação do IO



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.7 Limitações e incertezas

- Diferentemente do caso do interceptor Leste, não existem trabalhos prévios sobre o interceptor Oeste, impossibilitando a comparação dos métodos e dados utilizados com este trabalho;
- A literatura apresenta escassez de trabalhos com relação a sedimentação de sólidos em redes de esgotamento sanitário, o que inviabiliza a comparação da efetividade do método;
- Parte dos dados não são das condições reais de funcionamento do IO, mas sim de dados da literatura e cedidos vindos IL referente ao período do dia 14/12/2022, o que não reflete a condição atual de operação de ambos interceptores.

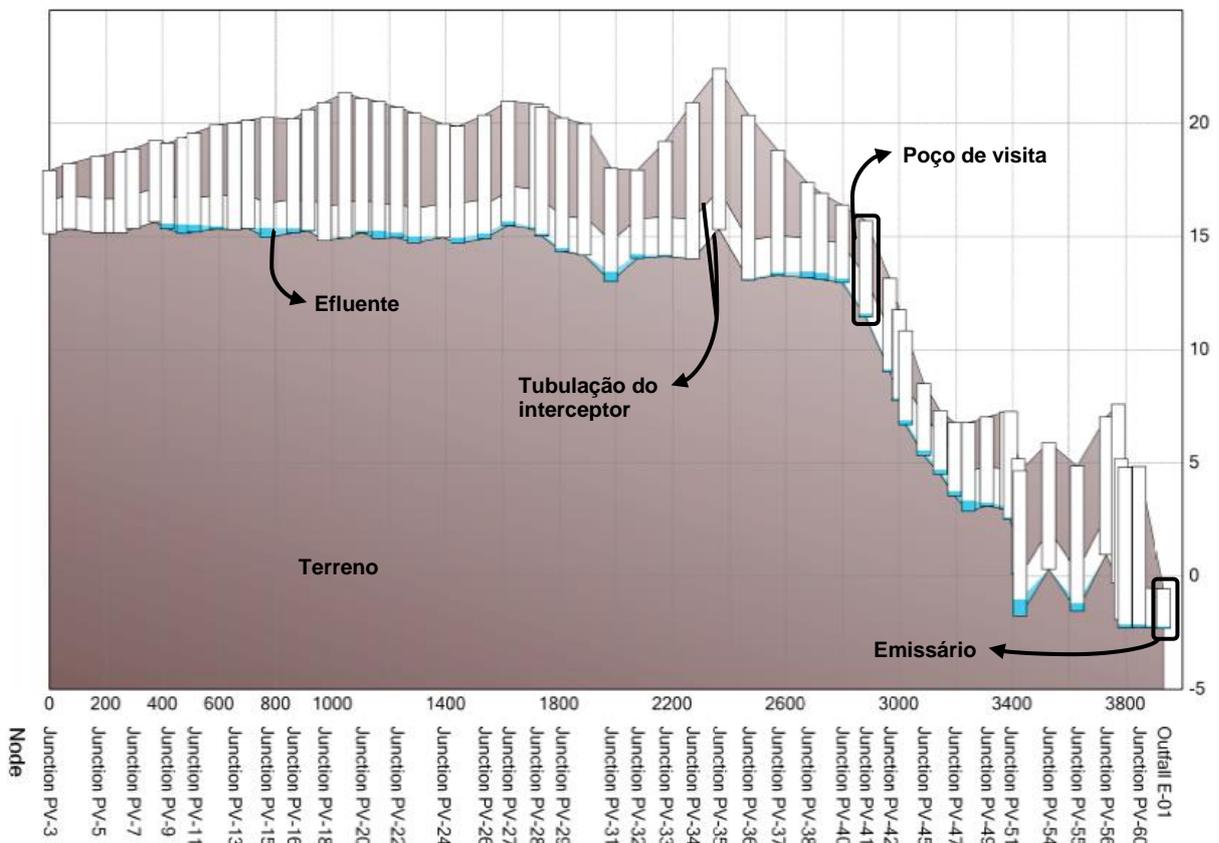
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cenário 1 - Interceptor exposto à situação ideal, sem deposição de sedimento na tubulação.

Naturalmente haverá sempre algum tipo de sedimentação no interceptor, seja da pequena parcela de sólidos do esgoto ou da entrada de areia nas tubulações e poços de visita. A simulação desse cenário visou analisar se existe alguma limitação até mesmo quando é desconsiderada a deposição de sólidos, ou seja, se as dimensões do interceptor suportam às vazões definidas. Nesse cenário, usou-se seção transversal “circular” no PCSWMM.

O *software* necessita de um intervalo temporal para funcionar, sendo este escolhido de apenas um dia, 01 de agosto de 2022. Através da simulação é possível visualizar o perfil hidráulico do sistema em estudo. Na Figura 6 pode-se observar o perfil do interceptor oeste no dia 01 de agosto de 2022, às 12:15 AM, onde o eixo de abscissas indica distância e o eixo das ordenadas indica elevação, ambos em metros.

Figura 6 – Perfil hidráulico do IO sem camada de sedimentos no dia 01 de agosto de 2022 às 12:15 AM



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

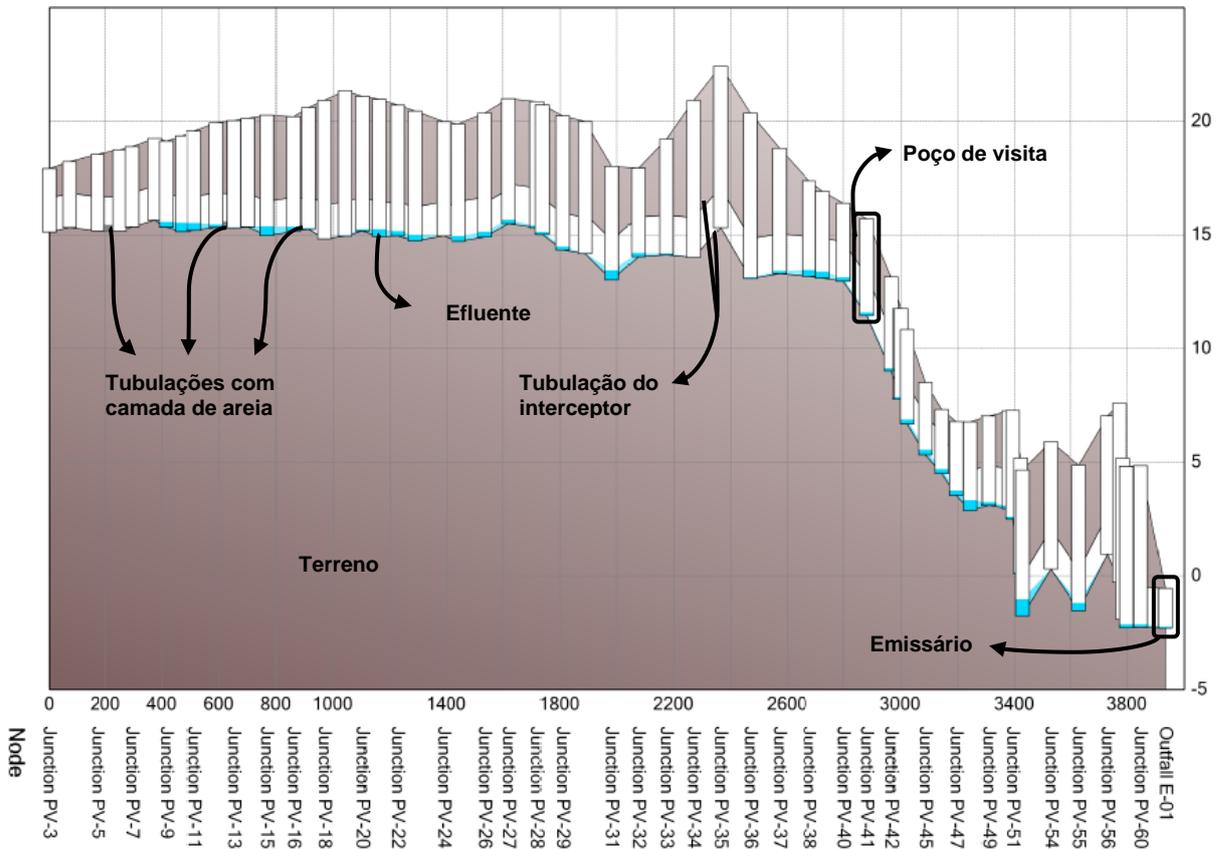
Após a simulação identificou-se que com o interceptor exposto a uma situação ideal, ou seja, desconsiderando a presença de areia e sedimentos nas tubulações e poços de visita, não ocorrem extravasamentos. Além disso, de acordo com a simulação para essa data e horário o Interceptor Oeste funciona perfeitamente sem apresentar falhas e até mesmo nos pontos de menor cota não opera com sobrecarga, onde o conduto é totalmente preenchido pelo efluente.

4.2 Cenário 2 – Interceptor operando com deposição média de sedimento nas tubulações com menor declividade

O cenário com o valor médio para a camada de areia na tubulação foi simulado com a seção transversal “*filled circular*”, como mostrado na Figura 5. A simulação desse cenário buscou perceber a influência de sedimentos na tubulação e os possíveis casos de extravasamento ou sobrecarga, visto que uma menor parte do diâmetro do conduto fica livre para ser ocupada pelo efluente.

A Figura 7 mostra o perfil hidráulico do IO quando exposto ao cenário 2 – altura média dos valores da camada de areia para a mesma data e horário do cenário 1.

Figura 7 – Perfil hidráulico do Interceptor Oeste com camada média de sedimentos no dia 01 de agosto de 2022 às 12:15 AM



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Neste cenário o resultado visual da simulação não se diferiu da situação ideal, em razão do baixo valor da camada de areia de 0,275m que foi plotado em apenas três tubulações do interceptor, que quase não é percebida na Figura 07. Ademais os valores máximos de vazão em cada junção coincidem, já que a vazão não deve se alterar nos cenários. A única diferença deve ser no valor da lâmina livre da tubulação, porém para a data e horário simulados não houve acúmulo de efluente, impossibilitando a comparação da desigualdade na altura das lâminas, já que coincidiram. Os valores de vazões podem ser observados no Apêndice A – Vazões máximas dos cenários 1 e 2.

Em resumo, as simulações não indicaram mal funcionamento da rede, uma vez que não ocorreram extravasamentos, e também não foram identificados pontos em sobrecarga obedecendo a norma ABNT NBR 9649/86 que designa que o esgoto preencha apenas 75% do contido ou menos, restando espaço para a ventilação. Sendo assim, para as condições estabelecidas para os dois cenários simulados neste trabalho o interceptor em estudo demonstrou perfeito funcionamento e não apresenta preocupações para a companhia. Ademais,

o trabalho analisou apenas o funcionamento do IO em tempo seco, desconsiderando a influência da infiltração de águas pluviais, um importante contribuinte para as extravasões.

Por outro lado, Fernandes et al. (2017) usaram todos os dados reais do IL, tendo valores variáveis de sedimentação em cada trecho, fato que possibilitou maior precisão nos resultados e identificação de trechos em afogamento, além de avaliar também a infiltração das chuvas na rede de esgotamento. Mas para o caso deste trabalho, o uso de dados de sedimentação foi fixado apenas nas alturas médias da camada de areia do IL, segundo os dados da batimetria do dia 14 de dezembro de 2022, usados como referência para suprir a falta de dados recentes do IO. Portanto não se tratam do mesmo objeto de estudo, podendo sofrer maiores variações, o que evidencia a necessidade de um estudo posterior com o uso de todos os dados reais de funcionamento do Interceptor Oeste para garantir maior exatidão dos resultados e contribuir de forma mais efetiva com CAGECE.

5 CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia aplicada, pode-se concluir que foi possível realizar a análise das condições hidráulicas do interceptor Oeste da cidade de Fortaleza/CE, que se mostrou com um bom funcionamento para a base e dados utilizada, pois não contém pontos de extravasamentos e de sobrecarga.

A modelagem hidráulica realizada se mostrou como uma ferramenta efetiva para verificação do funcionamento da rede, possibilitando a identificação de problemas que estejam ocorrendo ou que venham a ocorrer sem a necessidade de inspeção local. Além disso, o uso do *software* PCSWMM contribuiu para que o processo fosse mais rápido e de fácil compreensão, uma vez que apresenta uma interface simples e interativa com o usuário. Os resultados são explícitos e podem ser exportados em diversas extensões, provando o motivo que vale a pena investir em um *software* privado mais aprimorado.

Após a modelagem hidráulica com simulação dos cenários envolvendo depósito ou não de sedimentos, não foi possível identificar se há interferência de materiais sólidos no funcionamento do interceptor. Mas o Interceptor Oeste está localizado na orla de Fortaleza, o que o deixa mais susceptível a entrada de areia, sendo imprescindível que essa tubulação seja monitorada e passe por limpezas frequentes em busca de evitar obstruções e extravasamentos.

Por fim, percebeu-se a necessidade de estudos posteriores com dados reais de funcionamento para afirmar com mais precisão se há possibilidade de problemas na operação, tanto com relação a sedimentos, que podem ser plotados em mais pontos da tubulação, por exemplo e deve também ser incluído a avaliação da influência da infiltração de águas pluviais na rede.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12207: Projeto de interceptores de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649: Projeto de redes de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

AFONSO, Ivan Oliveira. **Análise do processo executivo da rede de interceptores de esgoto utilizando tubulação em polietileno de alta densidade**. 2020. 55 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais e Construção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://document.onl/documents/anlise-do-processo-executivo-da-rede-de-afonso-ivan-oliveira-a257a-anlise.html?page=2>. Acesso em: 10 jun. 2022.

AGUIAR, Márcia Farias; CECCONELLO, Samanta Tolentino; CENTENO, Luana Nunes. **Saneamento básico versus doenças de veiculação hídrica no município de Pelotas/RS**. 2019. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/7940/pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

AKHTER, Muhammad Saleem; HEWA, Guna Alankarage. **Uso do PCSWMM para avaliar os impactos das mudanças no uso da terra nas respostas hidrológicas e no desempenho do WSUD na gestão dos impactos na bacia hidrográfica de Myponga, Austrália Meridional**. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w8110511>. Acesso em: 16 jul. 2022.

BORGES, Marília Candida Pinto. **Estudo para implantação de técnicas de drenagem sustentável na Região Administrativa Guará II do Distrito Federal**. 2018. 98 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/22053/1/2018_MariliaCandidaPintoBorges_tcc.pdf. Acesso em: 15 jul. 2022.

BRASIL, Trata. **Benefícios econômicos da expansão do saneamento brasileiro: qualidade de vida, produtividade, educação e valorização ambiental**. Qualidade de vida, produtividade, educação e valorização ambiental. 2014. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/expansao/BOOK-Benef%C3%ADcios%20-logos.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 12 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Brasília, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm. Acesso em: 10 jul. 2022.

CAGECE, Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Esgoto**. 2022. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/produtos-e-servicos/esgoto/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

CAVALCANTI, Allana Abreu. **Utilização do software SWMM na modelagem hidrológica da sub-bacia do Ribeirão Vai e Volta – Poços de Caldas/MG**. 2020. 78 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2020. Disponível em: http://bdtd.unifal-mg.edu.br:8080/bitstream/tede/1746/5/Dissertacao_AllanaAbreuCavalcanti_2020_PPGCEA.pdf. Acesso em: 15 jul. 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999. 236p.

COSTA, Beatriz Veras. **Sistema de Esgotamento Sanitário - Estudo de Caso: Treviso/SC**. 2013. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/125163/TCC%20-%20Beatriz%20Veras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 ago. 2022.

ESGOTO, Atlas. **Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 05 ago. 2022.

FERNANDES, Laryssa Barbosa. **Modelagem hidráulica do interceptor leste de Fortaleza utilizando o SWMM**. 2017. 91 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/45547/3/2017_tcc_lbfernandes.pdf. Acesso em: 06 jun. 2022.

FERNANDES, Laryssa Barbosa; PEREIRA, Silvano Porto; LIMA, Andréia de Freitas; BEZERRA, Claudiane Quaresma Pinto; GONDIM, Ronner. **Modelagem hidráulica do interceptor leste da bacia vertente marítima de Fortaleza**. 2017. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/II-531.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2022.

FORTALEZA, Prefeitura de. **Plano municipal de saneamento básico de Fortaleza convênio de cooperação técnica entre companhia de água e esgoto do Ceará – CAGECE e agência reguladora de Fortaleza – ACFOR**. 2014. Disponível em: https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/PDF/Documentos/planos/Progn%C3%B3stico_dos_Servi%C3%A7os_de_Esgotamento_Sanit%C3%A1rio-Fortaleza.pdf. Acesso em: 28 jul. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará -. **Abastecimento de água nos domicílios cearenses é alvo de análise em estudo publicado pelo IPECE**. 2020. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/2020/05/28/n-abastecimento-de-agua-nos-domicilios-cearenses-e-alvo-de-analise-em-estudo-publicado-pelo-ipece>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MATIAS, Elva Marlene Anastácio. **Avaliação do impacto dos órgãos de entrada no comportamento dos sistemas de drenagem urbanos**. Dissertação (Mestre em Engenharia

Civil na Especialidade de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. 2016.

MAYS, Larry W. **Water resources engineering**. 2. ed. Hoboken, N.J: Wiley, 2011.

MENDONÇA, Sérgio Rolim; MENDONÇA, Luciana Coêlho. **Sistemas Sustentáveis de Esgotos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

MESQUITA, Janine Brandão Farias; PEREIRA, Silvano Porto e Lima; NETO, Iran Eduardo. **Modelagem da drenagem urbana e avaliação das cargas bacteriológicas na Vertente Marítima de Fortaleza, Ceará**. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2020, v. 25, n. 1, pp. 205-216. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522020189161>> Acesso em: 30 out. 2022.

MEZINI, Adenizia; FERREIRA, Paulo Sérgio Macedo; OLVEIRA, Sueli Fátima Kogawa de; MANZARO, Osqualdo Lopes. **Aplicação da modelagem hidráulica para melhoria de desempenho da rede coletora de esgoto**. 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/modelagem-hidraulica-rede-coletora-esgoto/>. Acesso em: 04 ago. 2022.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

PORTO, R. L. **Técnicas Quantitativas Para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH. 2a Edição, 2002. 420p.

SANEAMENTO, Atlas. **Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília, 2021. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 05 ago. 2022.

SANEAMENTO, Sistema Nacional de Informações Sobre. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: visão geral**. Visão Geral. 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 06 jun. 2022.

SILVA, Marilucia da. **Análise da operação de redes coletoras de esgoto através de simulação computacional**. 2007. 49 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124374/84.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 jul. 2022.

SIMÕES NETO, Aristides Abrantes; VIEIRA, Alexandre Ribeiro; AGUIAR, Dawana Cristina de Oliveira Almeida. **Gestão para reduzir obstruções na rede coletora de esgoto**. 2016. Disponível em: https://www.arandanet.com.br/revista/hydro/materia/2017/10/05/gestao_para_reduzir.html. Acesso em: 07 ago. 2022.

SUITA, Maria do Carmo Antunes. **Análise dos fatores determinantes para a ocorrência de ociosidade das redes de esgoto sanitário no município de Caxias do Sul - RS**. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; ALÉM SOBRINHO, Pedro. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 3. ed. Rio de Janeiro: Fundo Editorial, 2011. 548 p.

US EPA, United States Environmental Protection Agency. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0**. Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, p. 295. 2010.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais. Vol. 1. 1996.

APÊNDICE A – VAZÕES MÁXIMAS DOS CENÁRIOS 1 E 2

Junção	Vazão máxima total (L/s)
Coletor 1	358,88
Emissário 1	337,8
PV- 3	20,29
PV- 4	29,03
PV- 5	44,27
PV- 6	57,1
PV- 7	68,79
PV- 8	69,4
PV- 9	70,05
PV- 10	60,28
PV- 11	53,31
PV- 12	53,3
PV- 13	53,3
PV- 14	53,3
PV- 15	98,43
PV- 16	98,43
PV- 17	98,43
PV- 18	98,43
PV- 19	98,43
PV- 20	98,42
PV- 21	148,85
PV- 22	148,85
PV- 23	148,85
PV- 24	148,85
PV- 25	148,85
PV- 26	148,85
PV- 27	207,69
PV- 28	207,69
PV- 28B	207,69
PV- 29	207,69
PV- 30	207,69
PV- 31	207,69
PV- 32	266,09
PV- 33	266,09
PV- 34	266,09
PV- 35	266,09
PV- 36	266,09
PV- 37	266,09
PV- 38	343,13
PV- 39	343,13
PV- 40	343,13

PV- 41	343,13
PV- 42	343,13
PV- 43	343,13
PV- 44	592,28
PV- 45	233,4
PV- 46	233,4
PV- 47	233,4
PV- 48	233,4
PV- 49	233,4
PV- 50	277,79
PV- 51	277,79
PV- 52	277,79
PV- 53	800,76
PV- 54	277,79
PV- 55	309,84
PV- 56	309,84
PV- 57	309,84
PV- 58	309,84
PV- 59	309,84
PV- 60	337,8

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

**APÊNDICE B – VAZÕES MÁXIMAS DO ÚLTIMO PV DO INTERCEPTOR
LESTE**

Data/Hora (m/d/aaaa)	Vazão máxima total (L/s)
06/01/2017 00:15	156,24800
06/01/2017 00:30	284,45270
06/01/2017 00:45	345,07858
06/01/2017 01:00	370,94034
06/01/2017 01:15	360,75983
06/01/2017 01:30	389,38226
06/01/2017 01:45	400,87660
06/01/2017 02:00	402,28955
06/01/2017 02:15	368,82565
06/01/2017 02:30	357,21774
06/01/2017 02:45	348,82770
06/01/2017 03:00	344,32507
06/01/2017 03:15	326,70917
06/01/2017 03:30	319,66046
06/01/2017 03:45	317,67752
06/01/2017 04:00	409,73978
06/01/2017 04:15	435,24963
06/01/2017 04:30	504,46423
06/01/2017 04:45	494,54245
06/01/2017 05:00	581,42065
06/01/2017 05:15	618,17896
06/01/2017 05:30	564,64606
06/01/2017 05:45	552,07227
06/01/2017 06:00	534,42255
06/01/2017 06:15	558,57965
06/01/2017 06:30	578,25464
06/01/2017 06:45	577,32965
06/01/2017 07:00	582,71880
06/01/2017 07:15	614,87390
06/01/2017 07:30	653,24945
06/01/2017 07:45	689,69727
06/01/2017 08:00	645,49243
06/01/2017 08:15	798,46420
06/01/2017 08:30	795,83966
06/01/2017 08:45	860,52387
06/01/2017 09:00	759,45764
06/01/2017 09:15	872,94270
06/01/2017 09:30	1.004,33100
06/01/2017 09:45	896,40890

06/01/2017 10:00	1.001,47870
06/01/2017 10:15	1.017,61060
06/01/2017 10:30	1.041,49146
06/01/2017 10:45	1.061,67859
06/01/2017 11:00	1.079,48132
06/01/2017 11:15	1.120,69775
06/01/2017 11:30	1.144,02612
06/01/2017 11:45	1.162,45239
06/01/2017 12:00	1.180,30969
06/01/2017 12:15	1.225,70349
06/01/2017 12:30	1.254,52930
06/01/2017 12:45	1.276,37048
06/01/2017 13:00	1.293,41223
06/01/2017 13:15	1.295,27722
06/01/2017 13:30	1.303,80457
06/01/2017 13:45	1.313,49072
06/01/2017 14:00	1.320,49927
06/01/2017 14:15	1.320,01331
06/01/2017 14:30	1.321,97827
06/01/2017 14:45	1.322,95764
06/01/2017 15:00	1.322,95300
06/01/2017 15:15	1.318,81567
06/01/2017 15:30	1.316,10278
06/01/2017 15:45	1.314,09717
06/01/2017 16:00	1.312,19507
06/01/2017 16:15	1.301,08911
06/01/2017 16:30	1.294,91711
06/01/2017 16:45	1.294,35486
06/01/2017 17:00	1.282,76416
06/01/2017 17:15	1.272,25600
06/01/2017 17:30	1.257,18176
06/01/2017 17:45	1.248,31311
06/01/2017 18:00	1.248,33264
06/01/2017 18:15	1.235,38733
06/01/2017 18:30	1.225,60461
06/01/2017 18:45	1.223,16223
06/01/2017 19:00	1.214,46448
06/01/2017 19:15	1.212,19080
06/01/2017 19:30	1.210,03870
06/01/2017 19:45	1.204,64722
06/01/2017 20:00	1.202,20800
06/01/2017 20:15	1.194,29346
06/01/2017 20:30	1.189,71851
06/01/2017 20:45	1.200,06592

06/01/2017 21:00	1.185,01086
06/01/2017 21:15	1.177,12300
06/01/2017 21:30	1.171,86157
06/01/2017 21:45	1.168,78174
06/01/2017 22:00	1.165,59033
06/01/2017 22:15	1.161,76500
06/01/2017 22:30	1.158,24084
06/01/2017 22:45	1.155,65000
06/01/2017 23:00	1.153,12134

Fonte: Elaborado pela Autora (2022) com dados de Fernandes (2017).

ANEXO A – TERMO DE AOTORIZAÇÃO

Av. Dr. Lauro Vieira Chaves, 1030 - Vila União
CEP: 60422-901 • Fortaleza / CE
CNPJ: 07.040.108/0001-57



TERMO DE AUTORIZAÇÃO

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece, sociedade de economia mista inscrita no CNPJ sob o número 73.759.185/0001-96, com sede na av. Doutor Lauro Vieira Chaves, nº 1030 – Vila União, Fortaleza/CE, CEP 60.422-901, por meio da sua Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, representada pela gerente Cailiny Darley de Menezes Medeiros, vem, neste ato, considerando:

1. o Convênio de Receita para pesquisa voltada ao desenvolvimento de tecnologia entre a FUNCAP e a Cagece, publicado em DOE em 01/12/2020 (Extrato de Convênio 01/2020), que estabelece condições para que a Funcap selecione e apoie pesquisa científica e tecnológica cooperativa, a ser desenvolvida no Estado do Ceará, por pesquisadores vinculados a Instituições de Ensino Superior (IES) e/ou Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICT) ou por empresas, públicas ou privadas, selecionados mediante Chamada de Proposta de Pesquisa, com aporte de recursos da Cagece e Funcap, no valor total de R\$ 4.000.000,00 (quatro milhões de reais), sendo R\$ 3.000.000,00 com recursos próprios da Cagece e o restante pela FUNCAP;
2. que a pesquisa MODELAGEM INTEGRADA DA REDE COLETORA DE ESGOTO E DA DRENAGEM URBANA DE FORTALEZA-CE”, coordenada pelo Prof. Iran Eduardo Lima Neto foi selecionada mediante a Chamada de Proposta de Pesquisa;
3. as disposições acerca das confidencialidades previstas na cláusula 5ª (quinta) do referido Convênio;
4. a previsão de sigilo expressa no Termo de Concessão assinado pelo coordenador da referida pesquisa, a ser estendido a toda equipe envolvida no projeto de pesquisa;
5. que a realização do trabalho envolve equipe composta por professores e alunos de cursos de graduação e pós-graduação;
6. que o Trabalho de Conclusão do Curso – TCC com o tema MODELAGEM HIDRÁULICA DO INTERCEPTOR OESTE DA CIDADE DE FORTALEZA/CE da aluna Ana Daniele Rufino Saboia, orientado pela Profa. Janine Brandão de Farias Mesquita, adotou informações cedidas pela Cagece;
7. que o coordenador informou não haver previsão de propriedade intelectual na referida pesquisa;
8. que o TCC foi analisado(a) pela equipe da Cagece e sua redação acatada;

Autorizamos a publicação do Trabalho de Conclusão de Curso referenciado no item 6 (seis) do presente Termo de Autorização, conforme preceitua a cláusula 5 (quinta) do Convênio de Receita firmado entre a Funcap e a Cagece.

Fortaleza, 15 de maio de 2023

Documento assinado digitalmente
 CAILINY DARLEY DE MENEZES MEDEIROS
 Data: 15/05/2023 14:27:26 -0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cailiny Darley de M. Medeiros
 Gerente de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - GEPED

