



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

**WALLAMYS ALEXANDRE RAMOS VENANCIO**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS AFETADAS PELA INTERFERÊNCIA DAS  
MARÉS NO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA RMR, A PARTIR  
DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS.**

**RECIFE  
2024**

WALLAMYS ALEXANDRE RAMOS VENANCIO

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS AFETADAS PELA INTERFERÊNCIA DAS  
MARÉS NO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA RMR, A PARTIR  
DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS.

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao Curso de Graduação  
em Engenharia Cartográfica e de  
Agrimensura, da Universidade Federal  
de Pernambuco como requisito parcial  
para a obtenção de grau de Bacharel  
em Engenharia Cartográfica e de  
Agrimensura.

Orientador: Profa. Dra. Simone Sayuri Sato.

RECIFE  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Venancio, Wallmays Alexandre Ramos.

Identificação de áreas afetadas pela interferência das marés no sistema de  
esgotamento sanitário da RMR, a partir das altitudes ortométricas. /  
Wallmays Alexandre Ramos Venancio. - Recife, 2024.

43 : il.

Orientador(a): Simone Sayuri Sato

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Cartográfica e  
de Agrimensura - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Maré. 2. Sistema de esgotamento sanitário. I. Sato, Simone Sayuri.  
(Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

WALLAMYS ALEXANDRE RAMOS VENANCIO

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS AFETADAS PELA INTERFERÊNCIA DAS  
MARÉS NO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA RMR, A PARTIR  
DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS.

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao Curso de Graduação  
em Engenharia Cartográfica e de  
Agrimensura, da Universidade Federal  
de Pernambuco como requisito parcial  
para a obtenção de grau de Bacharel  
em Engenharia Cartográfica e de  
Agrimensura.

Aprovada em: 27/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Simone Sayuri Sato (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Profa. Dra. Lígia Albuquerque de Alcântara Ferreira  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Msc. Júlio César Azevedo Luz de Lima (Examinador Externo – IFPE)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por sua fidelidade, por sempre guiar meus caminhos e escolhas, por me prover de tudo que preciso pra buscar meus objetivos, por nunca me abandonar.

A minha esposa Jessica Machado, que sempre me apoiou e esteve ao meu lado durante todo esse ciclo.

Aos meus mentores, Dannyelle Ferreira e Danilo Henrique, que sempre fizeram questão de compartilhar todo seu conhecimento e foram fundamentais para minha evolução acadêmica e profissional.

E ao meu filho Thomas Venancio, que mudou minha vida e me dar forças para seguir em frente e crescer a cada dia mais.

*“Não tenho sonhos, tenho objetivos. E agora vamos para o próximo!” (suits)*

## RESUMO

O acesso aos serviços de saneamento básico é condição fundamental para a sobrevivência e dignidade humana. O déficit em saneamento básico traz graves consequências em termos de saúde pública, meio ambiente e cidadania (GALVÃO JUNIOR, 2009). A região metropolitana do Recife, por ser uma área litorânea, é cortada por diversos corpos hídricos, demanda uma maior atenção por não ter uma infraestrutura adequada para coleta de águas pluviais e esgotamento sanitário. Nesse contexto, as empresas que prestam esses tipos de serviço de saneamento sofrem constantemente com casos de extravasamento, e aumento significativo de efluente, o que acaba causando diversos transtornos, e fica mais evidente em períodos de chuva. Outro fator, que acaba corroborando para esses problemas, é a influência da maré. Em cidades litorâneas, se tem uma tendência de aumento no volume dos corpos hídricos e sistemas de drenagens nos períodos de maré alta. O presente trabalho tem o objetivo de entender a influência da maré no sistema de esgotamento sanitário. Neste contexto é proposta uma metodologia que possibilita a identificação prévia das áreas de maior influência e os pontos de possível extravasamento do sistema de esgotamento sanitário, é utilizada análises espaciais com o cruzamento de dados de informações altimétricas dos componentes do sistema com informações altimétricas do cadastro técnico e dados tabelados de informações coletadas em relação aos níveis da maré. Os resultados da aplicação da metodologia possibilitaram identificar trechos de ruas das áreas afetadas pela interferência das marés no sistema de esgotamento sanitário da RMR, sendo possível validar em alguns trechos com vistorias em campo em ocorrências reais.

**Palavras chaves:** MARÉ. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.

## **ABSTRACT**

Access to basic sanitation services is a fundamental condition for survival and human dignity. The deficit in basic sanitation has serious consequences in terms of public health, the environment and citizenship (GALVÃO JUNIOR, 2009). The metropolitan region of Recife, as it is a coastal area and is crossed by several water bodies, demands greater attention as it does not have adequate infrastructure for rainwater collection and sewage disposal. In this context, companies that provide these types of sanitation services constantly suffer from cases of overflow and a significant increase in effluent, which ends up causing several problems, and is more evident during periods of rain. Another factor, which ends up contributing to these problems, is the influence of the tide. In coastal cities, there is a tendency for the volume of water bodies and drainage systems to increase during periods of high tide. The present work aims to understand the influence of the tide on the sewage system. In this context, a methodology is proposed that enables the prior protection of areas of greatest influence and points of possible overflow from the sewage system. Spatial analyzes are used by crossing data from altimetric information of the system components with altimetric information from the technical register and tabulated data of information collected in relation to tide levels. The results of applying the methodology made it possible to identify stretches of streets in areas affected by tidal interference in the RMR sewage system, making it possible to validate in some stretches with field inspections in real occurrences.

**Keywords:** TIDE. SANITARY SEWAGE SYSTEM.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Redes de drenagem e esgotamento sanitário. Fonte: Prefeitura de Laguna-SC	13
Figura 2 – Ilustração dos sistemas de abastecimento de água, drenagem e esgotamento sanitário.	14
Figura 3- Post do G1, sobre alagamentos no Recife. Fonte: G1.com. Acesso em: 26/09/20204	17
Figura 4- Quadro resumo da regulação.	18
Figura 5- Distribuição de casos de mortalidade por causas externas em Porto Alegre, 1996 e estimador de intensidade.	21
Figura 6- Estratégia adota.	22
Figura 7- Fluxo de atividades realizadas.	22
Figura 8- Mapa de localização da área de estudo.	23
Figura 9- Tábua de maré.	24
Figura 10- TABUA DE MARES, PREIA-MARES E BAIXA-MARES DE RECIFE (17 DE JULHO DE 2023)	24
Figura 11 - Filtro de cota do fundo.	26
Figura 12 - Configurando o join das informações de bacias com poços.	26
Figura 13- Poços afetados por bacia do sistema de esgotamento.	27
Figura 14 - Dashboard de monitoramento. Fonte: Autor	28
Figura 15- Percentual e quantidade de poços afetados por município.	29
Figura 16- Mapa de poços com afetados na maré alta e baixa.	29
Figura 17- Poços com possibilidade de extravasamento, em relação aos afetados na maré alta.	30
Figura 18- Total de poços afetados por bacia.	31
Figura 19- Etapas para validação dos resultados.	31
Figura 20- Tolerância padrão do ArcMap	32
Figura 21- Resultado da análise dos pontos que não coincidem com poços.	33
Figura 22- Pontos de possível interferência (descontinuidade de rede).	33
Figura 23- Concentração de poços afetados na maré alta.	34
Figura 24- Mapa de localização da área de interesse, e sistema de drenagem.	34
Figura 25- Reportagem sobre problemas com esgoto em Santo Amaro, Recife	35
Figura 26- Mapa de localização da área de interesse.	36
Figura 27- Identificação das cotas dos poços na área de influência.	37
Figura 28- Comparação dos resultados com pontos identificados em campo.	38

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SIG	Sistema de informações geográficas
RMR	Região Metropolitana do Recife
IBGE	O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SES	Sistema de esgotamento sanitário

## SUMÁRIO

### Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivo Geral .....	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1. Sistema de esgotamento sanitário e drenagem Urbana.....	12
3.2 Superfícies de referência e campo gravitacional .....	14
3.3 A influência da maré na Região metropolitana do Recife .....	16
3.4 Marco legal do saneamento e as mudanças na legislação de saneamento .....	18
3.5 Análise espacial .....	20
4. METODOLOGIA.....	21
4.1 Área de Estudo.....	23
4.2 Análise das informações de maré .....	24
4.3 Identificação dos poços afetados .....	25
5. RESULTADOS .....	29
5.1 Identificação de poços .....	29
6.2 Validação dos resultados e Metodologia Empregada .....	32
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	39
8. DIFICULDADES ENCONTRADAS .....	40
10. REFERÊNCIAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

As últimas décadas foram marcadas pelo crescimento populacional desordenado das grandes cidades em países subdesenvolvidos. Sendo, o operariado informal urbano é quem dita hoje o crescimento das cidades brasileiras. A escassez de medidas sanitárias configura-se em sérios problemas de saúde pública por meio de patologias infectocontagiosas (MASSA e CHIAVEGATTO FILHO, 2020).

O marco legal do saneamento, instituído pela lei de número 14.026, de 15 de julho de 2020, Art. 1º Esta Lei atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. A eficiência nos processos de manutenção e as exigências para atender as normas ambientais, tendem a ser alguns dos pontos mais críticos na prestação de serviços de saneamento.

A cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, está localizada na Região Nordeste do Brasil, é uma cidade costeira e estuarina, possuindo um relevo predominantemente plano e bem urbanizado. Sua região metropolitana se estende na região costeira, contemplando cerca de 15 municípios. Ao longo dos anos, a cidade vem sofrendo com a ocorrência de alagamentos devido às fortes chuvas, e pelas oscilações diárias da maré. Problema que se estende às demais cidades costeiras da RMR. É comum presenciar casos de vazamentos, ou transbordamentos das redes de esgotamento sanitário, trazendo diversos problemas socioambientais. Segundo SILVA JUNIOR, (2016), o município do Recife apresenta 159 pontos de alagamentos, catalogados pela Emlurb, como os mais críticos. Segundo a Emlurb (2013), 29 vias têm problemas de alagamento em toda sua extensão, principalmente nos bairros de Jardim São Paulo e Arruda, onde está a maior quantidade de ruas integralmente alagadas.

Um fator comum para esses casos, é a interligação das redes de esgotamento sanitário com as redes de drenagem de águas pluviais. Onde a vazão nas redes de esgotamento tem um aumento significativo da vazão, causado pela contribuição do sistema de drenagem, fazendo com que o Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) trabalhe acima de sua capacidade de projeto, mesmo considerando a vazão de pico. Segundo FREIRE e ANTUNES DO CARMO (2019), as tubulações de esgoto devem ter capacidade suficiente para transportar fluxos máximos de projeto para uma determinada frequência de precipitação do projeto. Projeto de Fluxos de Pico e Redes de Águas Pluviais - Gerenciamento Atual e Futuro de Bacias Hidrográficas Superficiais Urbanas.

O presente trabalho, visou realizar a identificação de todas as áreas que sofrem de alguma forma, influência das marés. O estudo, envolveu a coleta de cotas altimétricas, coletadas com métodos de levantamentos: geodésicos com Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e topográficos. além do uso de dados já existentes disponíveis em num banco de dados geográficos. Com a análise das altitudes

geoespacializadas, foi realizada uma validação desta análise que identifica as áreas de extravasamentos, a fim de comprovar a eficácia e validade dos resultados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a influência das marés e seu impacto no Sistema de esgotamento sanitário da RMR, identificando áreas propícias a extravasamento.

#### **2.2.1 Objetivos Específicos**

- a) Coletar dados dos níveis de marés e avaliar a influência das marés no Sistema de esgotamento sanitário;
- b) Identificar as áreas mais afetadas pelos níveis da maré na região metropolitana do Recife;
- c) Identificar áreas propícias a extravasamentos do sistema de esgotamento sanitário;
- d) Validar os resultados obtidos pela metodologia empregada com a análise das cotas.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1. Sistema de esgotamento sanitário e drenagem Urbana**

Segundo a ABNT 9.648/86, o sistema de esgotamento sanitário é definido como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Sua implantação e manutenção eficientes, são essenciais para se obter melhorias nos aspectos sociais, econômico, ambientais, higiênico e conseqüentemente econômico.

De maneira resumida, pode-se dizer que o sistema de esgotamento sanitário, é constituído pela junção do sistema de coleta, transporte e tratamento de efluentes, sejam eles domésticos ou de estabelecimentos comerciais. O objetivo principal deste sistema, é fazer com que o efluente gerado, seja devolvido tratado aos corpos hídricos, dessa forma não causando impactos ambientais.

Em uma rede coletora, as águas residuárias dos banheiros, lavatórios, cozinha e lavanderias das residências são coletados em uma ligação predial e são escoados por uma rede coletora até um coletor tronco. O esgoto escoa por tubulações implantadas nas vias públicas em profundidades e declividades que permitem deslocá-lo por gravidade

para regiões mais baixas, até interceptores, tubulações que não recebem ligações diretas, que por sua vez o direcionam até os emissários. A figura 01, ilustra resumidamente o fluxo do sistema de esgotamento sanitário, tendo início na ligação residencial, sendo transportada pelas redes coletoras até a estação de tratamento, e após tratado é direcionado ao seu destino, os corpos hídricos.



Figura 1-Redes de drenagem e esgotamento sanitário. Fonte: Prefeitura de Laguna-SC

No sistema de esgotamento sanitário, além dos trechos de rede, existem elementos de ligação entre as redes, os componentes e as conexões. Segundo GOUVEIA FILHO, et al (2019), o poço de visita é uma estrutura integrante das redes coletoras de esgotos de grande importância, pois nele é onde há o encontro do fluxo de esgotos provenientes de diversas instalações que então são orientados e seguem para o posterior tratamento.

Durante a implantação dos sistemas de esgotamento, é realizado o levantamento dessas informações em duas fases: projeto e locação. Para elaboração de um projeto de rede de esgotamento sanitário, é realizado um levantamento planialtimétrico cadastral, a fim de identificar a área e possíveis interferências ao projeto. Esse levantamento geralmente é realizado a partir do transporte de coordenadas de marcos geodésicos, que podem ser do IBGE ou da rede implantada pela própria empresa. O transporte das informações altimétricas é realizado por nivelamento geométrico, sendo as informações de todos os pontos baseadas na altitude ortométrica.

Esse é um ponto importante, pois toda a rede de esgoto tem seu fluxo por gravidade, com exceção de alguns casos em que o relevo do terreno não é favorável, e é necessário a implantação de redes e estações de bombeamento, conhecidas como estações elevatórias de esgoto e redes de recalque.

Segundo FESTI (2016), tradicionalmente, esgotos pluviais e sanitários combinados eram usados e transportados para a coleta de águas residuais municipais. No entanto, com chuvas fortes, volume de escoamento e descarga de cargas poluentes podem causar transbordamento grave e sobrecarga dos sistemas de distribuição e coleta de águas residuais existentes. Como resultado, a descarga de águas pluviais junto com os esgotos para as estações de tratamento tende a aumentar drasticamente o custo de bombeamento, e tratamento, pois as estações estariam recebendo um volume de efluentes acima do que está projetada para receber, podendo afetar a qualidade do tratamento. Isto é devido principalmente ao fato das redes de drenagem possuírem geralmente diâmetros maiores e conseqüentemente maiores vazões, como podemos ver na figura 02, que ilustra as redes dos sistemas de drenagem, abastecimento de água e esgotamento sanitário.



Figura 2 – Ilustração dos sistemas de abastecimento de água, drenagem e esgotamento sanitário. Fonte: Jornada de adoção, Imagem Esri.

Conforme visto na Figura 01, a rede de esgotamento sanitário, se diferencia das redes de drenagem principalmente pelo tipo de efluente, e pelas etapas realizadas até o destino de cada uma. Uma vez que o sistema de drenagem leva diretamente aos corpos hídricos, quando o sistema de esgotamento sanitário tem como destino as estações de tratamento de esgoto, que por sua vez lançam nos corpos hídricos os efluentes já tratados.

### 3.2 Superfícies de referência e campo gravitacional

As superfícies equipotenciais ou de superfícies de nível, caracterizam-se por apresentar o mesmo potencial em todos os seus pontos. O geóide é a superfície equipotencial que serve como referencial vertical à Geodésia e à Geofísica. Segundo

ARANA (2009) a superfície equipotencial do campo da gravidade de particular interesse é aquela que mais se aproxima ao nível médio dos mares não perturbado, estendido sobre toda a Terra. Ela é chamada geóide, Gauss o descreveu como uma superfície matemática da Terra, e, portanto, é a superfície “chave” na Geodésia, prestando um papel importante em posicionamento. Em uma primeira aproximação, o geóide pode ser representado pelo nível médio dos mares.

É conhecido que as deformações na superfície terrestre estão diretamente ligadas à aceleração da gravidade sobre um ponto. Segundo KHAN (1980), a aceleração da gravidade varia na superfície da terra como consequência de fatores como latitude, diferenças de elevações entre os pontos de coleta, irregularidades na topografia e as marés (variação do campo de gravidade da terra, produzida pela atração gravitacional do sol e da lua).

Segundo CALADO (2022) a maré é um fenômeno que ocorre devido a força de atração dos astros celestes na Terra, principalmente pela Lua e pelo Sol, sendo mais potencializada pela atração da Lua, face a sua massa e proximidade com a Terra. O resultado da força de maré atuando em toda superfície da Terra faz com ela se deforme, alongando-se na direção da resultante da atração Lunissolar (Lua e Sol).

ARANA (2009) define a altitude de um ponto na superfície física da Terra como sendo a distância, contada ao longo da vertical, da superfície equipotencial do campo da gravidade, denominada geóide, que tem por convenção altitude zero ao ponto. As altitudes mais comumente conhecidas e utilizadas atualmente são as altitudes ortométricas e as geométricas.

A escolha do tipo de altitude e da superfície de referência, são fundamentais para utilização em projetos e outras aplicações práticas de altimetria. Para realizar essa escolha, deve-se ter em mente que uma altitude pode ter significado apenas geométrico ou ter um sentido físico. No segundo caso, deve-se a sua constituição estar relacionada ao campo de gravidade. Saliente-se que o fluxo natural de água é regido pelo campo de gravidade e não por condições geométricas.

Segundo BLITZKOW et al (1999), deve ser considerada a necessidade de obtenção do valor absoluto da altitude num ou mais pontos, do conhecimento da sua eventual variação no tempo ou, finalmente, do conhecimento da simples diferença de altitude. Nesse caso implica em selecionar uma superfície de referência como origem, estabelecer procedimentos de observação, selecionar métodos analíticos de cálculo e fazer a determinação da altitude num ponto ou num conjunto de pontos, em suma, implantar uma rede altimétrica. Por outro lado, é comum a necessidade de controle e de monitoramento da altitude, de um ou mais pontos, no tempo, objeto da segunda questão. Isto ocorre em grandes estruturas de engenharia e na crosta terrestre, onde movimentos verticais podem ocorrer. As estruturas sofrem com deslocamentos ou deformações e a crosta tem movimentos de subducção (subsidência), obducção e deslocamento das placas tectônicas (DREWES et al., 1998).

Segundo ARANA (2009), a posição horizontal de um ponto sobre a superfície terrestre é determinada por sua latitude e longitude sobre um determinado elipsóide de referência. A altitude ortométrica é dependente do campo da gravidade da Terra. O datum vertical do sistema de altitudes ortométricas é o geóide. No Brasil, a determinação do datum vertical deu-se a partir do marégrafo instalado no litoral catarinense, mais precisamente no Porto Henrique Lajes, localizado na cidade de Imbituba-SC.

As altitudes ortométricas, obtidas, geralmente, através de nivelamentos geométricos. O Nivelamento Geométrico é o método que determina a diferença de nível entre pontos do terreno através de visadas horizontais, em miras posicionadas na vertical sobre os pontos, determinadas com um nível (NBR 13.133/1994).

Diz-se que a diferença de leitura das duas miras representa a diferença de altitude dos pontos. Uma primeira questão a se perguntar é de que altitude se trata. Mas, outro ponto a enfatizar é que, na verdade, o que se obtém é a separação (distância) entre as duas superfícies equipotenciais, supostas paralelas, que passam pela base das duas miras. O paralelismo se verifica para a distância de um lance (~100 m) ou de uma seção de nivelamento (~3 km). Em distâncias maiores as superfícies equipotenciais não são paralelas; a razão é que a distribuição de massa da Terra não é homogênea (BLITZKOW et al, 1999).

Ainda segundo BLITZKOW et al (1999), o que duas superfícies equipotenciais têm de constante entre elas é a diferença de potencial e não a distância. Assim, conclui-se que o nivelamento geométrico fornece resultados que dependem do trajeto percorrido. Para sanar a dificuldade é necessário introduzir uma grandeza física ao nivelamento o que é feito através da aceleração de gravidade.

### **3.3 A influência da maré na Região metropolitana do Recife**

A rede de macrodrenagem da região metropolitana do Recife é composta por diversos riachos espalhados em sua planície, o que a torna propícia a alagamentos em vários pontos das cidades. Segundo SILVA JR et al (2020), a cidade do Recife é uma cidade estuarina e costeira, situada na Região Nordeste do Brasil, fortemente urbanizada e que sofre com alagamentos causados pelas chuvas. O município conta com a macrodrenagem natural de um conjunto de bacias hidrográficas denominado “Estuário Comum do Recife”, que é constituído pelas desembocaduras do Capibaribe, Beberibe e Tejipió. Estas áreas de planície urbana costeira são de alta vulnerabilidade à inundação diante da elevação do nível do mar.

Segundo RODRIGUES e SOUSA (2022) as marés são periódicas variações no nível das águas dos oceanos. O aumento do nível é chamado de fluxo e a diminuição do nível é chamada de refluxo. Ao maior nível alcançado é dado o nome de preamar ou maré cheia, e ao menor nível alcançado é dado o nome de baixa-mar ou maré baixa.

Esse efeito pode ser mais facilmente notado, quando a maré se encontra influenciada pelo alinhamento da Lua e do Sol.

FONSECA NETO (2018) afirma que nessa situação, a maré atinge seu máximo fazendo com que alguns pontos da cidade tenham suas ruas alagadas, devido ao retorno da água do mar através dos canais e galerias de drenagem.

Como exemplo, a cidade Recife conta com um sistema de drenagem natural que envolve um conjunto de bacias hidrográficas denominado por “Estuário Comum do Recife”, que é formado pelas desembocaduras dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejiipió. Que por sua vez, tende a ser a cidade mais afetada pelos efeitos da maré.

Em algumas áreas da cidade do Recife, por exemplo, ocorrem alagamentos durante a preamar das marés de sizígia, com marés de 2,70m e sem a ocorrência de chuvas. Situação que pode ser exemplificada pela notícia da Figura 03, que traz um artigo na página do G1, relatando os alagamentos na Cidade do Recife.



Figura 3- Post do G1, sobre alagamentos no Recife. Fonte: G1.com. Acesso em: 26/09/20204

De acordo com FONSECA NETO (2018), o Recife possui peculiaridades geográficas que devem ser consideradas para a sustentabilidade do seu sistema de drenagem. As baixas cotas de seu território em relação ao nível do mar, áreas planas, lençol freático próximo à superfície e aflorante na estação chuvosa, influência dos níveis das marés, são características naturais que dificultam a drenagem das águas pluviais na cidade. Com as considerações do autor, e as situações reais, a ocorrências, de pontos em

que as redes de drenagem urbana e de esgotamento sanitário se encontram, a influência exercida pela maré no sistema de drenagem, se estende ao sistema de esgotamento sanitário.

### 3.4 Marco legal do saneamento e as mudanças na legislação de saneamento

No Brasil, a titularidade dos serviços de saneamento é dos municípios. Cabe aos municípios a organização e gestão dos serviços referentes à coleta de resíduos sólidos, sistema de esgotamento sanitário e o sistema de abastecimento de água.

Os serviços de voltados ao sistema de esgotamento sanitário, assim como os demais, seguem uma dinâmica de concessões públicas e privadas, onde os municípios podem prestar diretamente os serviços, ou delegar para outras entidades como companhias estaduais de saneamento e empresas prestadoras de serviços. Até 2019, a concessão dos serviços de saneamento para as empresas estaduais, poderia ser realizada sem licitação. Essas empresas seriam responsáveis pela gestão administrativa, financeira e técnica. A figura 04, traz um quadro resumo de como funciona a regulação do setor de saneamento do Brasil em linhas gerais.



Figura 4- Quadro resumo da regulação. Fonte: Autor

O projeto de Lei nº 3.261/2019 previu mudanças na Lei 11.445/2007, que foram consolidadas com a aprovação do novo marco regulatório, a Lei nº 14.026 de 2020, que altera a denominação e as atribuições do cargo de especialista em recursos hídricos para a Agência Nacional de Águas (ANA), e incumbe a esta, a competência de instrução normativa para regulação dos serviços públicos de saneamento básico, além das competências anteriores em relação aos recursos hídricos.

O marco legal do saneamento, instituído pela lei de número 14.026, de 15 de julho de 2020, Art. 1º Esta Lei atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e

Saneamento Básico (ANA) competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico.

Com essa atualização, podemos notar um aumento significativo dos processos de concessões e venda de empresas estatais, para empresas privadas que assumem os serviços de saneamento. Por outro lado, algumas empresas estatais, através do Marco, agora podem receber financiamento de entidades como o banco mundial, com o objetivo de melhorar ou contratar serviços e softwares que auxiliem no controle e otimização de processos, para atender as regulamentações da agência nacional de águas.

Segundo o primeiro parágrafo da lei 14.026, caberá à ANA estabelecer normas de referência sobre:

I - Padrões de qualidade e eficiência na prestação, na manutenção e na operação dos sistemas de saneamento básico;

II - Regulação tarifária dos serviços públicos de saneamento básico, com vistas a promover a prestação adequada, o uso racional de recursos naturais, o equilíbrio econômico-financeiro e a universalização do acesso ao saneamento básico;

Caberá ainda a ANA, estabelecer normas de referência sobre:

- Padronização dos instrumentos de negociação;
- Metas de universalização;
- Critérios para a contabilidade regulatória;
- Controle da perda de água;
- Metodologias de Cálculo de Indenizações;
- Governança das Entidades Reguladoras;
- Reuso dos efluentes sanitários tratados;
- Revisão dos contratos para incluir metas de expansão dos serviços, redução de perdas na distribuição de água e qualidade na prestação dos serviços.

O Marco do saneamento, põe em pé de igualdade as empresas públicas e privadas, que agora precisam atender diversos indicadores e métricas, e manter a eficiência operacional sem ocasionar impactos ao meio ambiente. Outro ponto importante, é que novas concessões só podem ser realizadas por meio de licitações.

Em Pernambuco, os serviços de saneamento (água e esgoto) são de titularidade da Companhia Pernambucana de Saneamento, a Compesa, em parceria com a BRK Ambiental por meio de uma concessão dos serviços de esgotamento sanitário para os municípios da região metropolitana.

A BRK Ambiental é uma empresa privada, do grupo Brookfield, que presta serviços em outros estados do país.

### 3.5 Análise espacial

Desde os tempos remotos até a atualidade, as informações e dados espaciais têm sido apresentados de forma gráfica pelos antigos geógrafos e cartógrafos e, utilizados por navegadores e demais profissionais. A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades rurais e urbanas, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. A obtenção de informações sobre a distribuição geográfica dos recursos naturais alavancou o desenvolvimento de inúmeros países, permitindo a ocupação territorial. (ROSA, 2011).

Ainda segundo ROSA (2011), a análise espacial faz a ligação entre o domínio essencialmente cartográfico e as áreas de análise aplicada, estatística e a modelagem, permitindo combinar variáveis georreferenciadas e, a partir delas, criar e analisar novas variáveis. Assim, a análise espacial significa também extrapolação e criação de nova informação susceptível de permitir uma melhor compreensão, numa perspectiva isolada ou integrada.

A análise espacial pode ser dada de uma forma simples, apenas com base na análise visual do padrão de distribuição de um evento em um mapa. O que usualmente chamamos de mapa temático, e que em muitos casos pode ser substituído por uma tabela. (DRUCK, et all, 2004).

Ainda segundo DRUCK, et all (2004), a ênfase da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita. Ou seja, a ideia central é incorporar o espaço à análise que se deseja fazer.

O exemplo famoso é considerado o primeiro, onde intuitivamente foi realizada a análise espacial, aconteceu em Londres no século XIX, onde ocorria uma epidemia de cólera. Um médico, chamado John Snow cruzou em um mapa duas informações, os locais onde ocorreram óbitos pela doença, e das bombas de água que abasteciam a cidade. Ao visualizar essas duas informações em um mapa, foi possível identificar claramente o epicentro da epidemia.

DRUCK, et all (2004), afirma que a análise espacial pode ser dividida em três tipos, de acordo com o objeto de estudo:

1. Eventos ou padrões pontuais – Fenômenos expressos através pontos de ocorrências distribuídos no espaço.
2. Superfícies contínuas – Estimadas a partir de um conjunto de amostras de campo, que podem estar distribuídas regular ou irregularmente.
3. Áreas com contagens e taxas agregadas – Trata-se de dados associados a levantamentos populacionais, como censos e estatísticas de saúde, e que originalmente se referem a indivíduos localizados em pontos específicos do espaço.

No caso de análise de padrões de ponto, o objeto de interesse é a própria localização espacial dos eventos em estudo. Como na situação analisada por Snow, o objetivo é estudar a distribuição espacial destes pontos, testando hipóteses sobre o padrão observado: se é aleatório, ou ao contrário se apresenta-se em aglomerados ou regularmente distribuído.

Uma ferramenta muito utilizada é o estimador de intensidade de Kernel, que surge como uma alternativa simples para analisar o comportamento de padrões de pontos em uma região, com base em um modelo matemático. Este modelo realiza de forma resumida, uma contagem dos pontos em uma área de influência, em relação à distância de cada um a localização de interesse.

Segundo DRUCK, et all (2004), o estimador de intensidade é muito útil para nos fornecer uma visão geral da distribuição de primeira ordem dos eventos. Trata-se de um indicador de fácil uso e interpretação. A figura 05 ilustra a aplicação do estimador de intensidade para o caso de mortalidade por causas externas em Porto Alegre, com os dados de 1996. A localização dos homicídios (vermelho), acidentes de trânsito (amarelo) e suicídios (azul) esta mostrada na figura 05, à esquerda e o estimador de intensidade dos homicídios é apresentado na figura 05. A superfície interpolada mostra um padrão de distribuição de pontos com uma forte concentração no centro da cidade e decrescendo em direção aos bairros mais afastados.

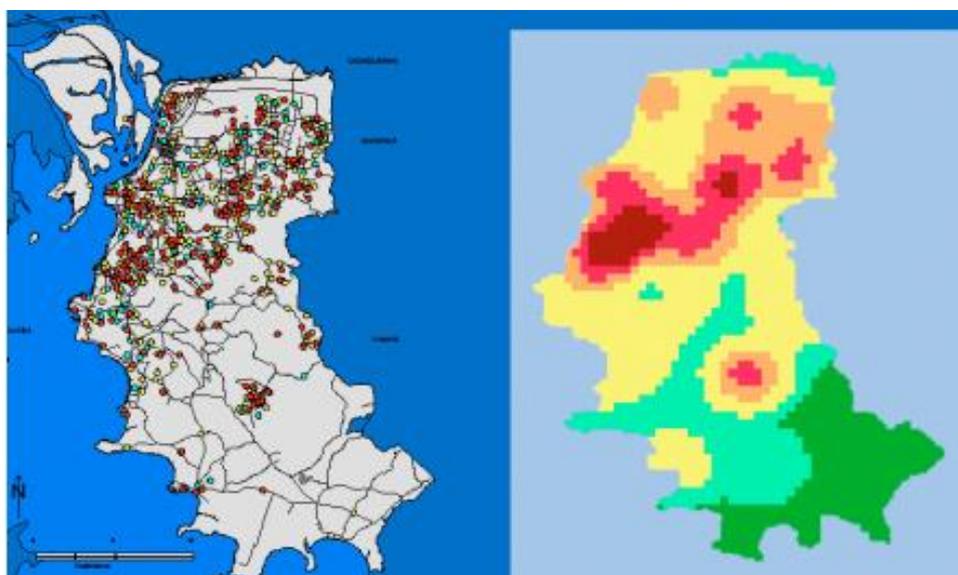


Figura 5- Distribuição de casos de mortalidade por causas externas em Porto Alegre, 1996 e estimador de intensidade. Fonte: Livro Análise Espacial de Dados Geográficos. Acesso em: 18/10/2024

#### 4. METODOLOGIA

A construção da metodologia abordada no presente trabalho foi realizada seguindo a estratégia ilustrada na Figura 06, sendo dividida em três fases: Investigação, metodologia e validação dos resultados.



Figura 6- Estratégia adota. Fonte: Autor

Na primeira fase, a investigação, foram utilizados três pilares principais (Necessidade, causa e solução) com o objetivo de definir o escopo do trabalho.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa para identificar uma necessidade ou problema a ser abordado. Conforme o item 3.3 do referencial teórico, a região metropolitana do Recife, enfrenta diversos problemas como enchentes durante os períodos de chuva e de maré alta, e conseqüentemente o seu sistema de esgotamento sanitário tende a ser afetado, ocasionando casos de transbordamento de esgoto. Após identificada a necessidade, foi realizada a identificação da causa do problema, neste caso a influência da maré no sistema de esgotamento sanitário.

Uma vez definidas a necessidade é identificada a causa, foi elaborada uma solução para apoiar na resolução dos problemas, e os critérios para sua execução que vem a ser a metodologia abordada no presente trabalho é representada no fluxo de atividade ilustrado na Figura 07.

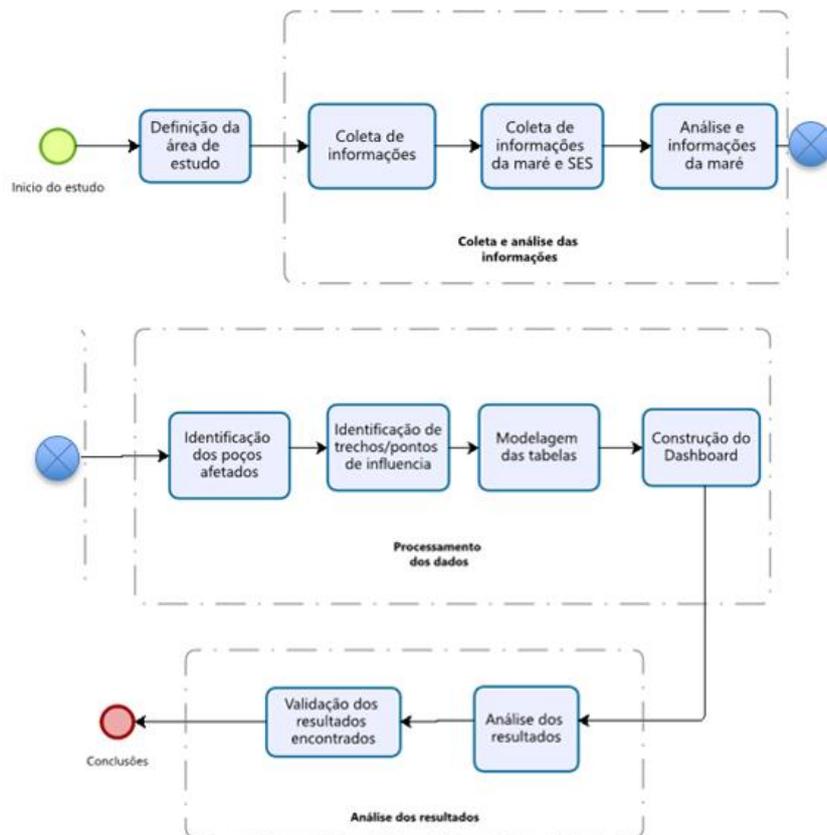


Figura 7- Fluxo de atividades realizadas. Fonte: Autor

Para que a solução proposta fosse aplicável, foram definidos alguns critérios com bases nos principais conceitos envolvidos na solução da base cartográfica e cadastral, que envolvem cuidados específicos de estruturação e de qualidade da base de dados geoespacial:

1. Estrutura consistente - O cadastro técnico precisa ser bem estruturado, ou seja, é necessário ter uma estrutura de banco de dados e um modelo de dados que contenham as informações necessárias;
2. Consistência topológica - O banco de dados precisa ter uma rede topológica e/ou geométrica que garanta a consistência e conectividade dos dados. Minimamente é necessário validações periódicas de conectividade, duplicidade e lógica dos dados cadastrados;
3. Fonte das informações altimétricas – É necessário que as informações altimétricas tenham como origem uma altitude com significado físico. Nesse caso, foi utilizada a altitude ortométrica.

#### 4.1 Área de Estudo

A área de estudo é constituída por quinze municípios da região metropolitana do Recife (RMR), Figura 08. Segundo o relatório 1.1 do Projeto Governança Metropolitana, desenvolvido na Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj). A RMR tem uma

população estimada de 3,7 milhões de pessoas (IBGE, Censo 2022) e quinze municípios a compõem: Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Goiana, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata. Com um perfil eminentemente urbano, a região conta com uma população e atividades rurais pouco expressivas.

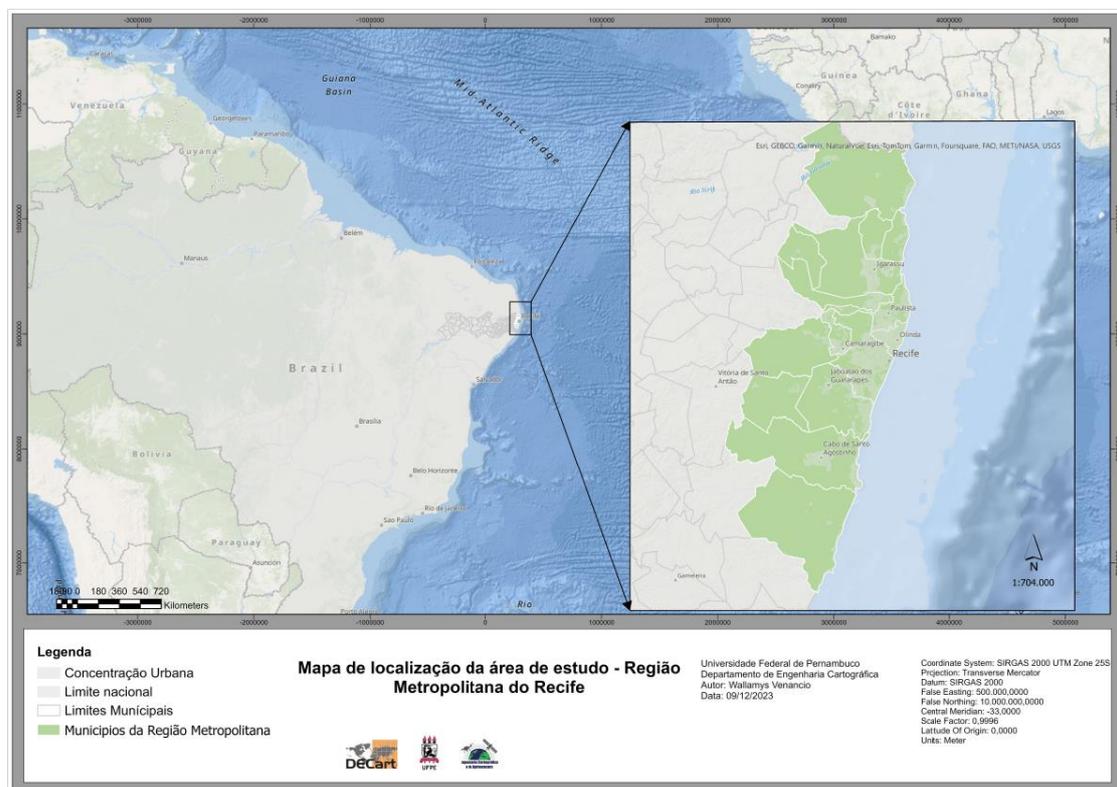


Figura 8- Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Autor

## 4.2 Análise das informações de maré

Na primeira etapa do trabalho, foi necessário realizar um levantamento de informações dos níveis das marés. O porto do Recife, disponibiliza uma tabela com esses dados, conforme apresentado nas Figuras 09 e 10, com as datas, horários e nível da maré. De forma gráfica e intuitiva, está disponível aos usuários, as informações, conforme Figura 10. Com esses dados, é possível analisar e identificar os maiores valores de nível das marés, e realizar o estudo proposto e prosseguir com a metodologia, conforme etapas propostas no fluxo de trabalho apresentado na Figura 06.

Maré mais alta: 2.5 m nos dias: 14,15,16  
 Maré mais baixa: 0 m no dia: 14

<b>01 Sex</b>	05:06h <b>2.2m</b>	11:24h <b>0.4m</b>	17:32h <b>2.1m</b>	23:36h <b>0.5m</b>	☾
sol nasce: 5:33h   lua nasce: 7:30h   sol se põe: 17:13h   lua se põe: 19:25h					
<b>02 Sab</b>	05:47h <b>2.2m</b>	12:04h <b>0.5m</b>	18:11h <b>2.0m</b>		☾
sol nasce: 5:33h   lua nasce: 8:15h   sol se põe: 17:13h   lua se põe: 20:13h					
<b>03 Dom</b>	00:11h <b>0.6m</b>	06:24h <b>2.1m</b>	12:43h <b>0.5m</b>	18:56h <b>2.0m</b>	☾
sol nasce: 5:33h   lua nasce: 8:57h   sol se põe: 17:13h   lua se põe: 21:01h					
<b>04 Seg</b>	00:53h <b>0.7m</b>	07:06h <b>2.0m</b>	13:24h <b>0.6m</b>	19:41h <b>1.9m</b>	☾
sol nasce: 5:33h   lua nasce: 9:38h   sol se põe: 17:13h   lua se põe: 21:47h					
<b>05 Ter</b>	01:36h <b>0.7m</b>	07:54h <b>2.0m</b>	14:13h <b>0.6m</b>	20:28h <b>1.8m</b>	☾
sol nasce: 5:33h   lua nasce: 10:18h   sol se põe: 17:14h   lua se põe: 22:33h					

Figura 9- Tábua de maré. Fonte: Porto do Recife (17 DE JULHO DE 2023)

Foram utilizadas informações de nível da maré no ano de 2023, disponibilizadas pelo porto do Recife, onde foram identificados os valores máximos, médios e mínimos do conjunto anual de dados. As informações coletadas, foram tabuladas e os dados utilizados nas próximas etapas.

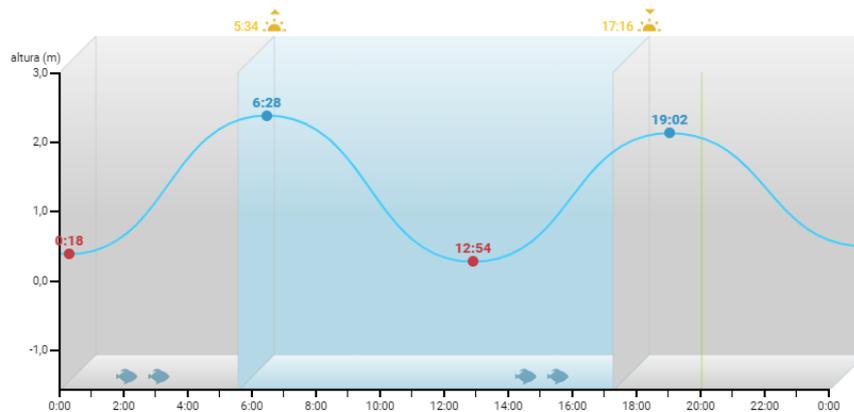


Figura 10- TABUA DE MARES, PREIA-MARES E BAIXA-MARES DE RECIFE (17 DE JULHO DE 2023)

### 4.3 Identificação dos poços afetados

Para identificação dos poços afetados pela influência da maré, foi realizada uma análise de todos os poços da RMR, por meio dos dados de cotas altimétricas de fundo, calculados pelas cotas de profundidade (valores da diferença entre a cota da tampa/terreno e cota de fundo) e cota da tampa, na Figura 6, é apresentado um exemplo da tela do ArcGIS, Query Builder onde são evidenciados os valores de cada uma das cotas. O objetivo deste procedimento, é a identificação dos poços afetados, ou seja, todos os poços que estejam abaixo do nível da maré.

As informações altimétricas dos poços foram originadas de levantamentos topográficos realizados durante a implantação do sistema de esgotamento ou em fase de cadastramento, que é o caso de sistemas já existentes.

Com base nisso, valores altimétricos dos poços foram definidos, para em seguida comparar com as informações de nível de maré (disponibilizadas pelo porto do Recife). Os dados de nível de maré foram tabulados, sendo: valores de maior e menor maré, assim como o valor médio.

Foram utilizados os dados do cadastro técnico do sistema de esgotamento sanitário, que estão armazenados em formato GDB (geodatabase). A partir desse banco de dados, se identificará os poços do sistema que possuem cota de fundo abaixo das altitudes das marés baixa, média e alta.

Para realização das análises espaciais, foi utilizado o software Arcmap na versão 10.8.1, componente da plataforma ArcGIS da ESRI. A licença utilizada é do tipo usuário nomeado, de propriedade do autor.

Finalmente, para identificar os poços, utilizou-se a cota de fundo, pois nos trechos de rede esgoto, a rede tende a ter origem no fundo do poço inicial (poço a montante) e segue o fluxo por gravidade para o poço seguinte (poço a jusante) geralmente de cota menor.

Foram adotados os valores máximos, médio e mínimo obtidos na tábua de maré, sendo:

- Maré baixa - Cota de fundo menor ou igual a 0 (zero) metros;
- Maré média - Cota de fundo menor ou igual a 1,3 metros;
- Maré alta - Cota de fundo menor ou igual a 2,6 metros;

No primeiro momento, foram dotados os valores da maré alta, e utilizou-se um filtro classificatório que serviu para selecionar todos aqueles valores que possuísem a cota de fundo menor que o valor da maré alta, ou seja, menor ou igual 2,6 m, conforme demonstrado na Figura 11.

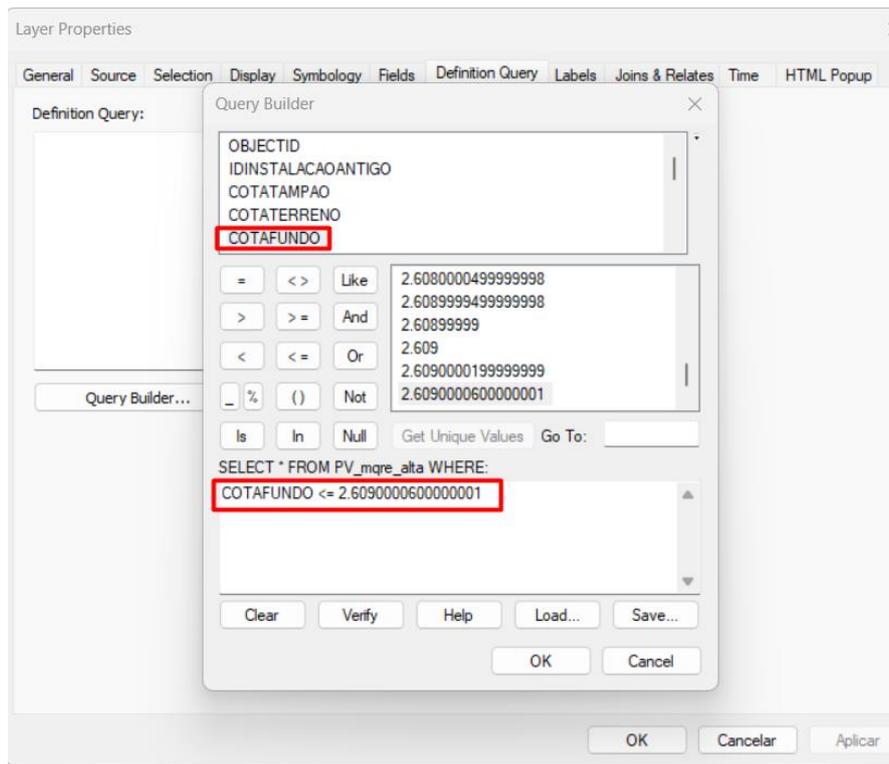


Figura 11 - Filtro de cota do fundo. Fonte: Autor

O mesmo processo foi realizado para a identificação dos poços afetados na maré média, com o objetivo de ampliar a análise realizada para esses valores.

Sabendo que a operação dos sistemas de esgotamento sanitário é realizada por regiões ou bacias de contribuição, delimitadas pelo fluxo e contribuição das redes, foi necessário criar uma relação entre os poços e suas respectivas bacias ou áreas. Para isso, foi usada a função “Join Spatial”, que faz uma análise espacial, onde é realizada a união das informações das feições apontadas em uma única tabela de atributos, conforme mostrado na Figura 12.

Sabendo que a operação dos sistemas de esgotamento sanitário é realizada por regiões ou bacias de contribuição, delimitadas pelo fluxo e contribuição das redes, foi necessário criar uma relação entre os poços e suas respectivas bacias ou áreas. Para isso, foi usada a função “Join Spatial”, usada para resultar uma análise espacial, onde é realizada a união das informações das feições apontadas em uma única tabela de atributos, agregando ao dado de entrada, que neste caso foram os polígonos das Bacias de elevatórias, as informações da tabela de poços, especificamente os totais de feições intersectadas pelo limite dos polígonos, conforme mostrado na Figura 12.

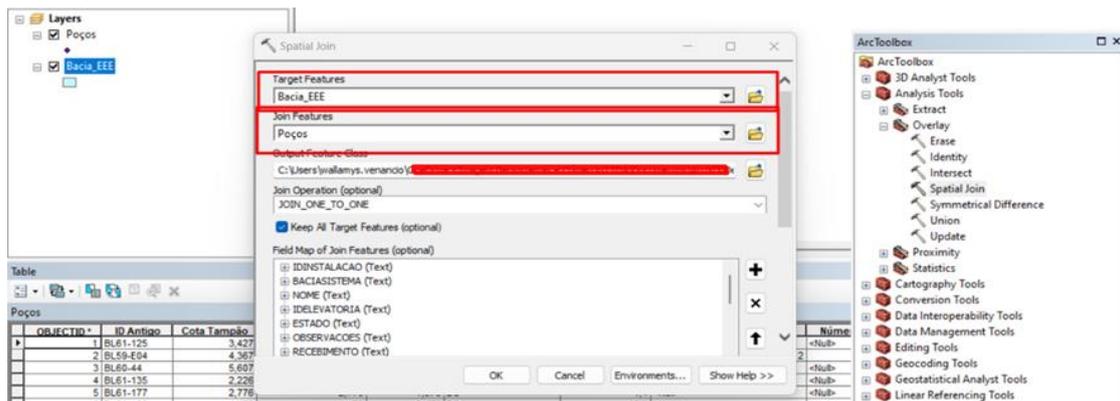


Figura 12 - Configurando o join das informações de bacias com poços. Fonte: Autor

Como resultado, obtivemos uma camada que agrega aos polígonos das bacias, as informações descritivas dos poços, como o quantitativo de poços afetados contidos em cada bacia. Obtendo assim o quantitativo total de poços que podem sofrer influências das marés, como pode ser visto na tabela de atributos da feição de resultado, Figura 13. Nesta tabela, tem-se o nome de cada bacia, e o quantitativo de poços afetados, por exemplo, bacia EE-RC-01, são contabilizados 60 poços que são afetados pela maré. A nomenclatura das bacias segue uma codificação padrão de projetos.

OBJECTID	SHAPE	Bacia Sistema	Nome	POÇOS COM INFLUÊNCIA NA MARÉ ALTA	SHAPE Length	SHAPE Area
1	Polygon	03	EE-RC-01	69	1091,780881	32961,302487
2	Polygon	15	EES-10	2	2772,256336	283085,256986
3	Polygon	15	EE VILA CARDEAL	3	3535,505755	483166,82241
4	Polygon	03	ETEC-13	39	1018,630155	65217,15357
5	Polygon	07	INDEFINIDA23	1	887,208196	12250,254773
6	Polygon	26	LAN_RJP_72	4	1666,203076	88389,842987
7	Polygon	07	EEC-28	2	2053,876775	117289,930666
8	Polygon	07	EEC-36	1	1308,597941	57542,48877
9	Polygon	07	INDEFINIDA41	2	2678,829104	144152,136674
10	Polygon	03	EEX-19	61	1301,627902	48327,62655
11	Polygon	18	EE-C 28	17	1171,393281	39558,015054
12	Polygon	15	EES-24	39	2175,146433	56807,306271
13	Polygon	18	EE2-6	106	4158,456608	309176,858351
14	Polygon	18	EE2-4	106	3374,654124	90820,653742
15	Polygon	18	EE2-3A	86	2270,271917	67322,124162
16	Polygon	18	EEC-13	196	3499,33494	408063,199563
17	Polygon	03	EEC-17	17	2747,584746	450515,753397
18	Polygon	03	EEX-10	140	4140,178921	542914,124306
19	Polygon	03	EEX-07	484	7142,004247	1191209,3054
20	Polygon	03	INDEFINIDA89	11	703,213872	20193,703668
21	Polygon	03	EE CABANGA	568	10734,301328	2102273,207835
22	Polygon	03	EE ILHA DE DEUS 2	390	898,911318	42662,788279

Figura 13- Poços afetados por bacia do sistema de esgotamento. Fonte: Autor

Após realizadas as análises, tendo em mãos os dados já modelados, foi realizada a construção de um dashboard que permite a compilação e visualização geral dos resultados obtidos por essas análises espaciais e tabulares, conforme Figura 14. Para elaboração do Dashboard, foi necessário publicar os dados em um banco de dados hospedado no ArcGIS Online, onde é possível realizar a consulta dos resultados, assim como diversas análises, como por exemplo, gráficos de barras de quantitativo de poços afetados por bacia e município, e diversos indicadores numéricos como por exemplo: Totais de poços afetados na maré média, totais de poços afetados na maré alta, e poços com possibilidade de extravasamento na maré alta.

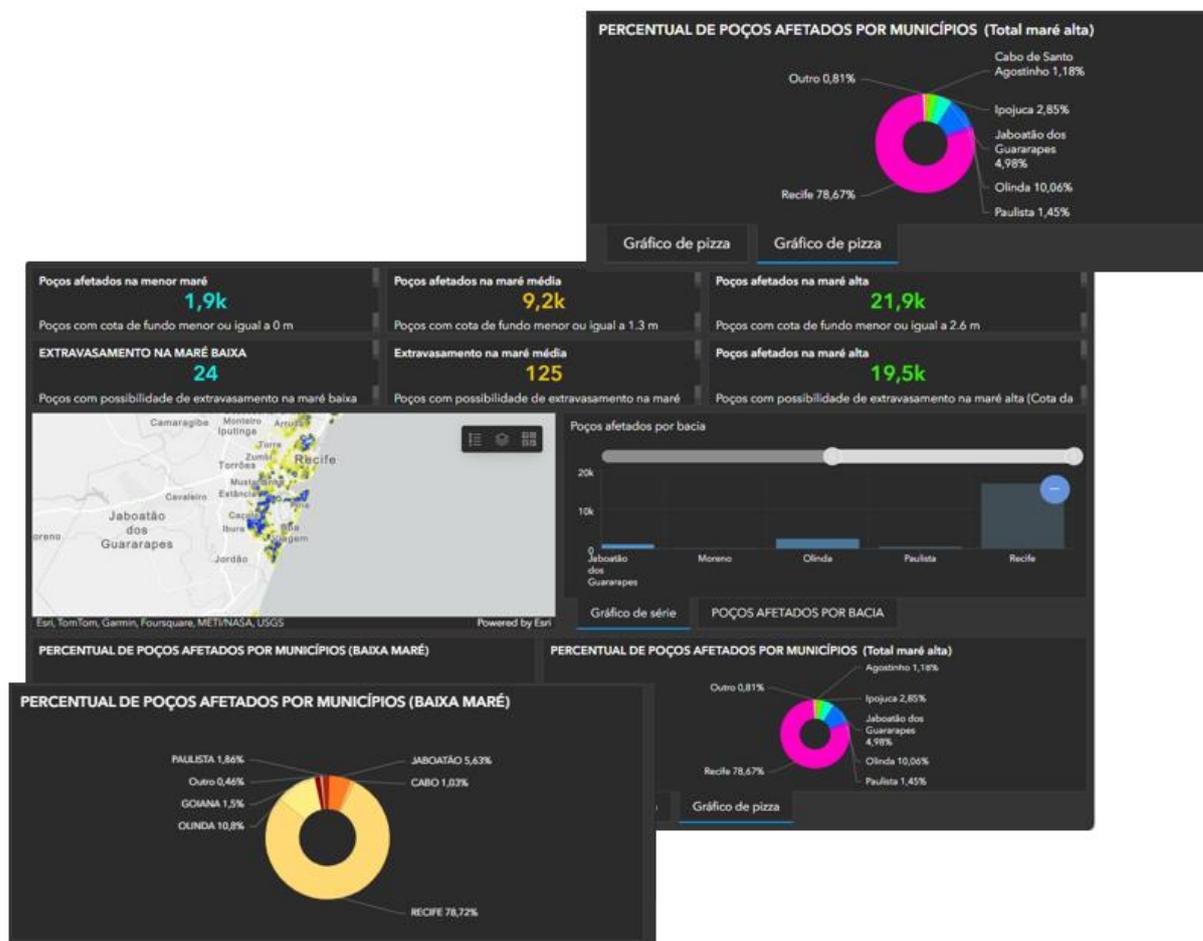


Figura 14 - Dashboard de monitoramento. Fonte: Autor

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Identificação de poços

Com o estudo realizado no subitem 4.3, foi possível identificar que o maior percentual de poços que podem ser afetados pela elevação do nível da maré que estão localizados no município de Recife, conforme o gráfico da Figura 15, tendo que 76,41% dos poços afetados, seguido do município de Olinda, com um percentual de 11,39%, e reduzindo para pouco menos de 5% para Jaboatão dos Guararapes e demais, com menos de 4%;

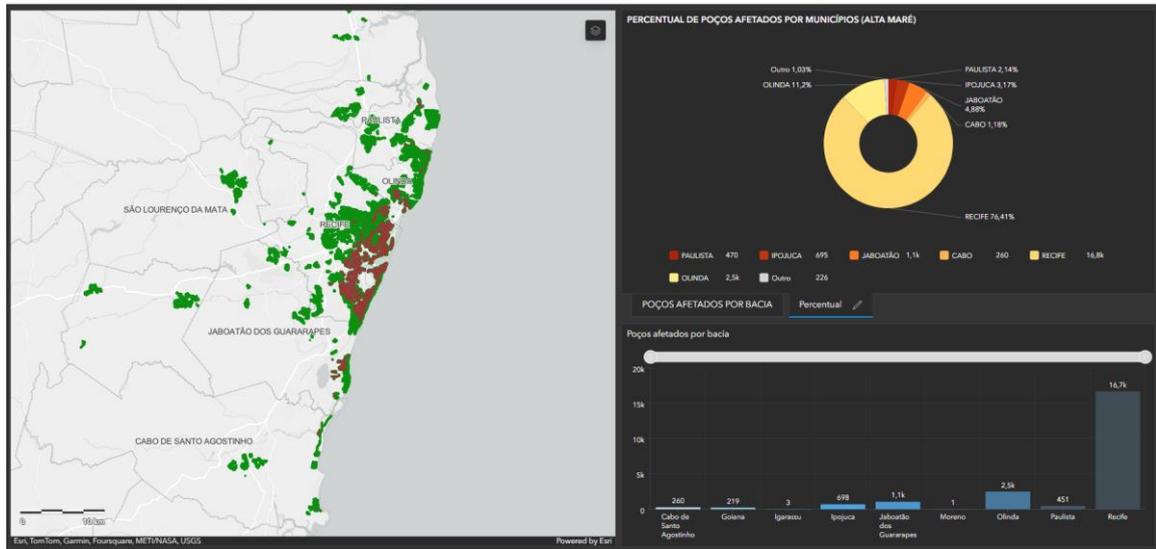


Figura 15- Percentual e quantidade de poços afetados por município. Fonte: Autor

É importante ressaltar que a influência da maré no sistema de esgotamento, pode ocorrer até no menor nível de maré, como apresentando no mapa comparativo da figura 16, onde se tem o comparativo dos poços afetados na maré alta, representado por símbolos pontuais na cor laranja, e na maré baixa, símbolo pontual na cor amarela.

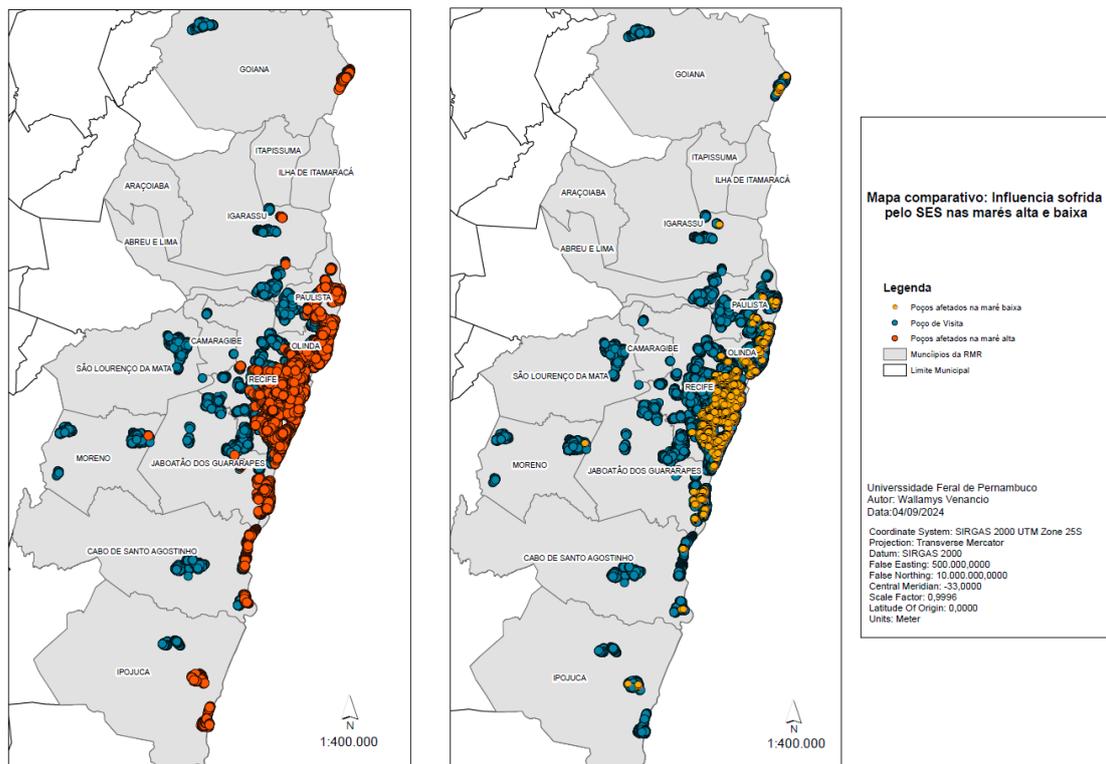


Figura 16- Mapa de poços com afetados na maré alta e baixa. Fonte: Autor

O mapa de intensidade de kernel extraído do dashboard, visto no subitem 4.3, Figura 14, possibilita identificar de forma visual as áreas com maior concentração de

poços e trechos afetados, assim como áreas propícias a extravasamentos nos períodos de alta da maré. Este tipo de aplicação gera mapas dinâmicos que variam de acordo com a escala de visualização.

A Figura 17 ilustra o mapa de intensidade gerado, a partir da concentração dos poços com possibilidade de extravasamento, ou seja, a densidade destes poços realizada com base em sua localização. Por se tratar de um mapa de visualização, cujo objetivo é refletir espacialmente os dados consolidados nos indicadores e gráficos, existe uma ausência de elementos de representação cartográfica, como escala e sistema de coordenadas.

A fácil identificação das áreas de maior concentração de poços e conseqüentemente, trechos afetados, possibilita uma melhor alocação e distribuição de recursos operacionais voltados à manutenção do sistema de esgotamento sanitário, como limpeza preventiva e desobstrução de rede nesses trechos, assim evitando ou diminuindo os impactos gerados. Também possibilita um melhor planejamento e identificação de áreas com maior necessidade de intervenção ou substituição da rede, uma vez que esses trechos podem ser substituídos por novas redes que sejam mais adequadas aos impactos mapeados.

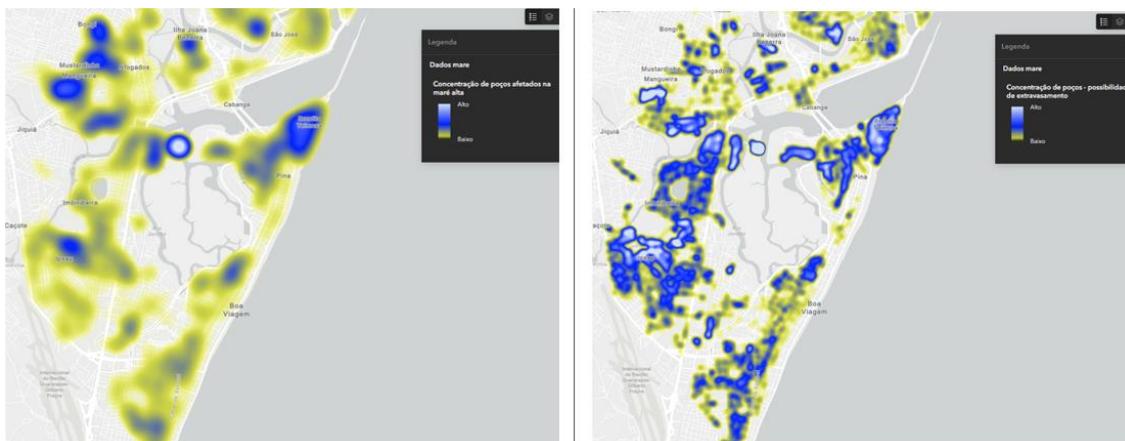


Figura 17- Poços com possibilidade de extravasamento, em relação aos afetados na maré alta. Fonte: Autor

A figura 180 mostra através de um mapa temático quantitativo, resultado de uma análise espacial onde foi possível identificar os totais de poços afetados por bacia de operação, com o objetivo de facilitar a identificação das áreas mais afetadas, assim possibilitando a alocação de recursos e ações de manutenção.

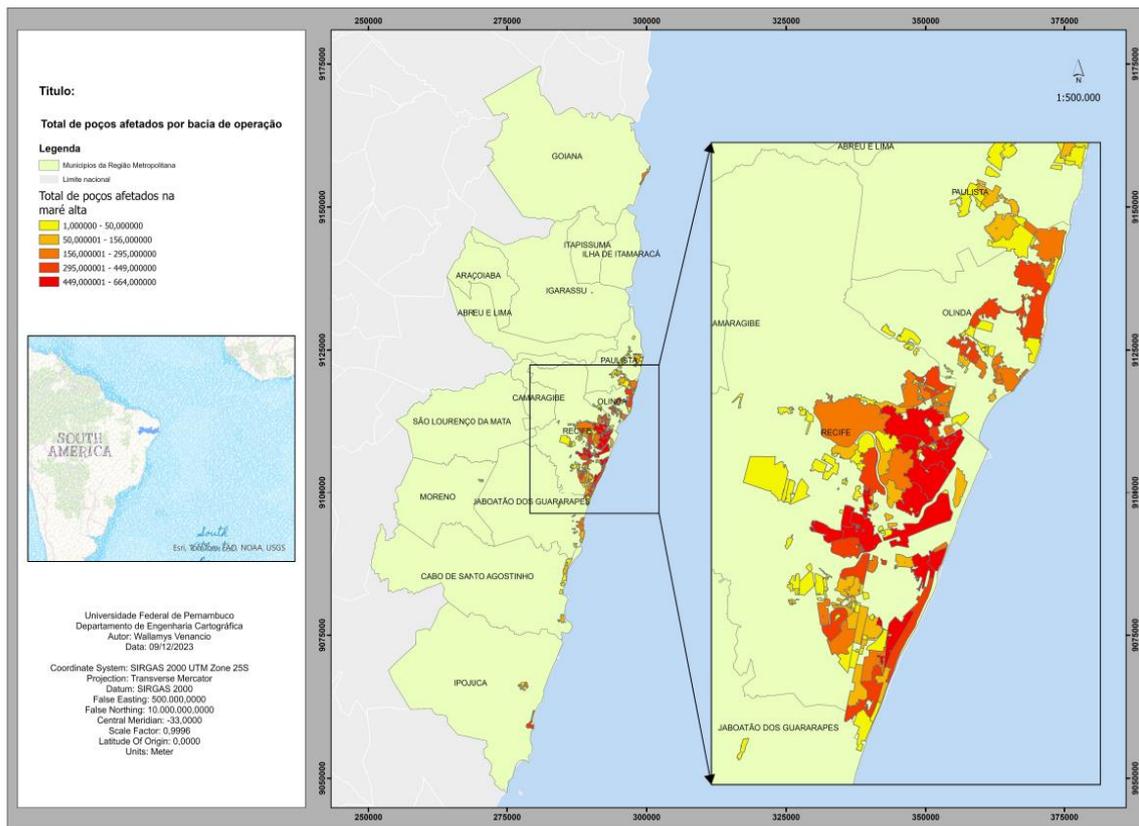


Figura 18- Total de poços afetados por bacia. Fonte: Autor

## 6.2 Validação dos resultados e Metodologia Empregada

Corroborando com as análises realizadas no tópico 6.1, onde foi identificado que a cidade do Recife seria a mais afetada, para validar a metodologia empregada, foi definida uma área para realizar um estudo de caso, com o objetivo de validar os resultados encontrados. A Figura 19, mostra as os paços realizados para validação dos resultados encontrados.

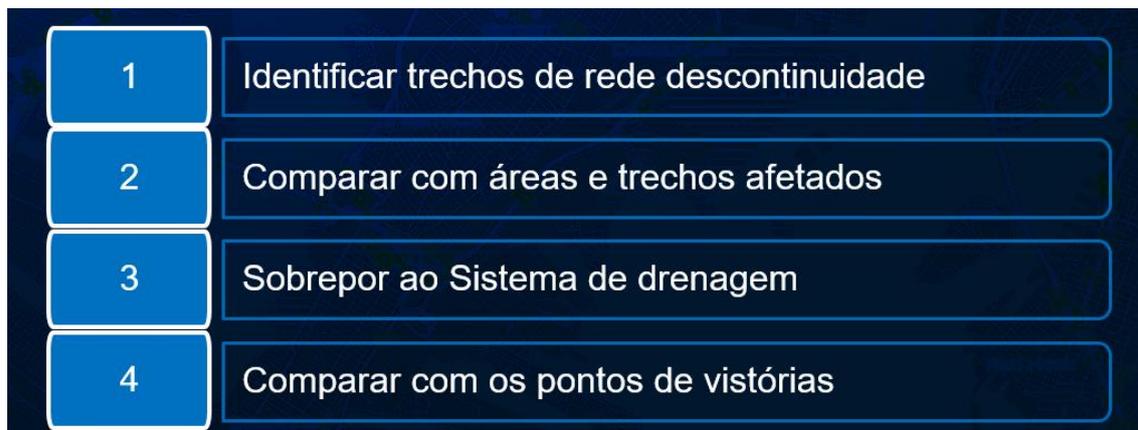


Figura 19- Etapas para validação dos resultados. Fonte: Autor

Para isto, foram utilizados o cadastro de rede de esgoto e os dados de drenagem da prefeitura do Recife.

Como é de conhecimento geral, que as redes de esgotamento sanitário, tem seu fluxo determinado pela gravidade (segundo do trecho de maior altitude para o de menor altitude). Com essa informação, no ambiente SIG, o caminhamento da rede é desenhado seguindo essa definição do fluxo, em que se extrai os *endpoints* de cada trecho (ponto final do segmento). Um fato importante a destacar, é que todos os trechos de rede de esgoto, devem terminar em um componente da rede, seja um poço de visita, caixa de passagem, estação elevatória ou de tratamento. Dessa forma, se um trecho de rede não tem um componente do sistema associado a seu *endpoint*, logo ele deve estar ligado a outro elemento que não faz parte do sistema.

Os dados disponibilizados do SES, no ambiente SIG, passam por análises de inconsistências, periodicamente, para verificar erros de topologia, conectividade e inconsistência de informações, onde todos os trechos com falta de componentes ou informações inconsistentes, são verificados em campo.

Seguindo a lógica estabelecida anteriormente, foram extraídos todos os *endpoints* dos trechos de rede e realizada uma seleção espacial para identificar quais destes, não coincidem com um componente do sistema de esgotamento sanitário. Foram gerados aproximadamente 74 mil pontos a partir dos *endpoints*, considerando todos os trechos de rede.

Primeiramente foram utilizados os pontos gerados para selecionar todos os poços que estivessem na mesma localização, considerando um raio de um metro, já que a precisão considerada por *default* (no ArcMap) na seleção espacial é de 0,001 metros, conforme Figura 20.

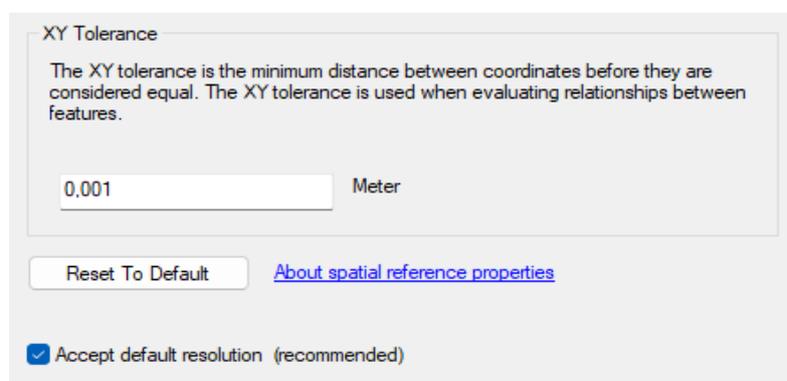


Figura 20- Tolerância padrão do ArcMap Fonte: Autor

Após selecionados todos os pontos, invertamos a seleção, tendo em vista que o objetivo é identificar os pontos que não coincidem, ou seja, todos os trechos de rede cujo final não esteja conectado a um poço de visita.

Com base na análise espacial realizada, foram identificados que 1961 pontos não coincidem com um componente do SES, como pode ser visto na Figura 21, tabela de atributos resultante da análise espacial.

OBJECTID*	SHAPE*	Categoria Rede	Tipo Rede Esgoto	Material	Diâmetro	Forma Principal
1	Point	DT	E	PVC	150	Circular
2	Point	DT	E	PVC	150	Circular
4	Point	RE	E	DES	<Null>	Circular
17	Point	RE	E	FoFo	600	Circular
25	Point	RE	E	FoFo	700	Circular
26	Point	RE	E	FoFo	700	Circular
28	Point	RE	E	FoFo	250	Circular
29	Point	RE	E	FoFo	250	Circular
30	Point	RE	E	FoFo	250	Circular
33	Point	RE	E	FoFo	300	Circular
34	Point	RE	E	FoFo	100	Circular
35	Point	RE	E	FoFo	600	Circular
36	Point	RE	E	FoFo	500	Circular
37	Point	RE	E	DES	<Null>	Circular
38	Point	RE	E	FoFo	250	Circular
39	Point	DT	E	FoFo	250	Circular
40	Point	RE	E	FoFo	120	Circular
41	Point	RE	E	FoFo	250	Circular
42	Point	DT	F	PFAD	110	Circular

(1961 out of 74816 Selected)

Figura 21- Resultado da análise dos pontos que não coincidem com poços. Fonte: Autor

Foram comparados os resultados obtidos no processamento acima (Figura 22), com o resultado geral, em uma determinada área. A área escolhida, foi o bairro de Brasília Teimosa, onde é possível ver (Figura 23) que existe uma grande concentração de poços que podem ser afetados na maré alta.

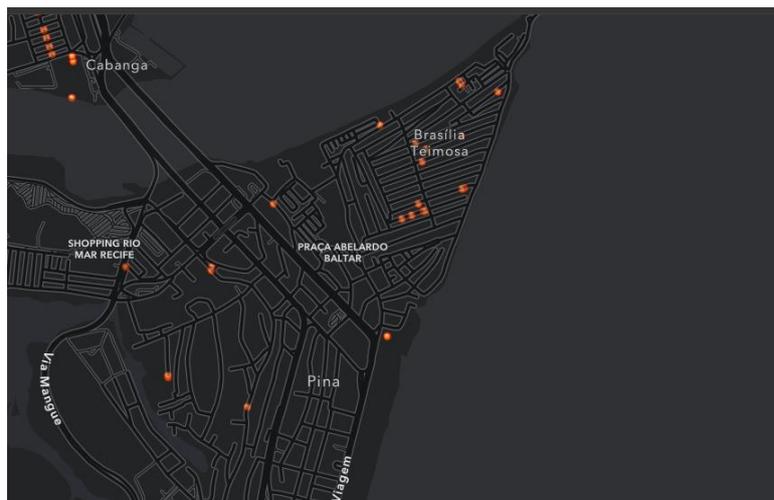


Figura 22- Pontos de possível interferência (descontinuidade de rede). Fonte: Autor



Figura 23- Concentração de poços afetados na maré alta. Fonte: Autor

Ao seguir com a análise dos resultados, pode-se verificar que a grande maioria destes pontos interceptavam ou estavam muito próximos do sistema de drenagem (trechos em azul), como pôde-se identificar os pontos em amarelo na Figura 24, que ilustra uma ampliação do mapa em uma área de destaque.

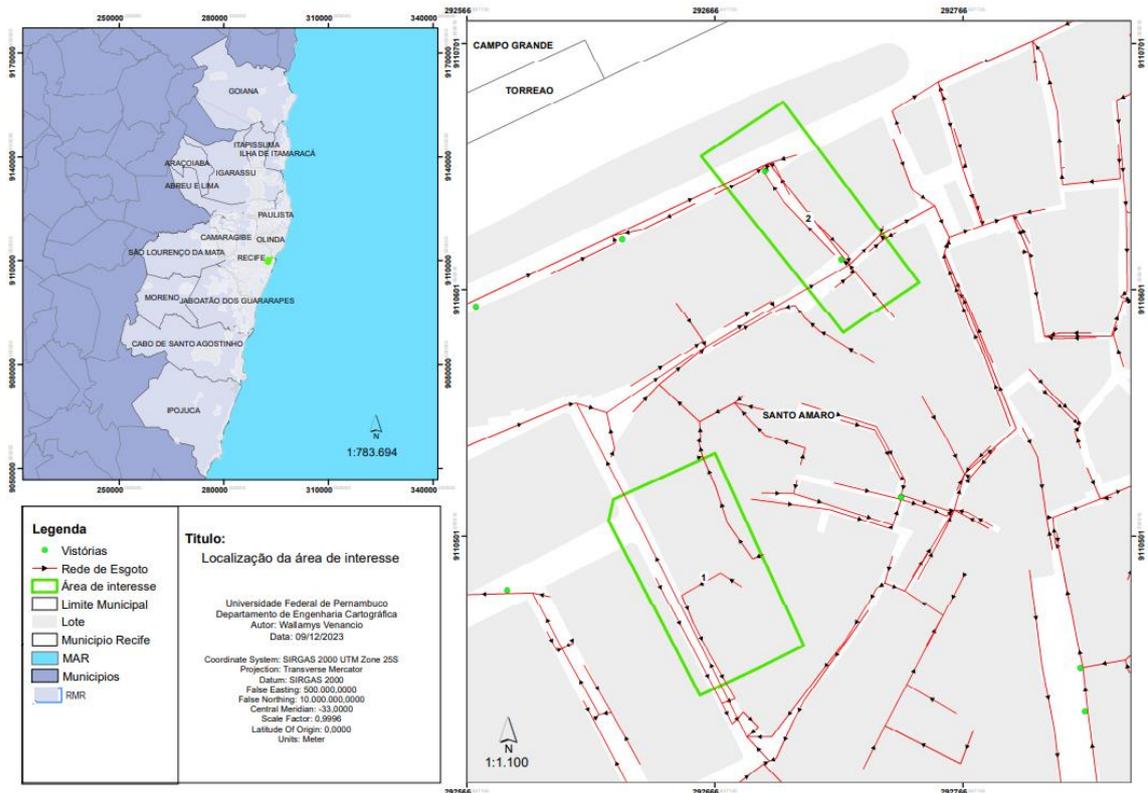


Figura 24- Mapa de localização da área de interesse, e sistema de drenagem. Fonte: Autor

A consolidação dos resultados, em um dos trechos, pode ser identificada, pela reportagem do dia 05 de novembro de 2023, no G1, em que os moradores de uma comunidade no bairro de Santo Amaro, em Recife, relataram os problemas de

vazamentos e transbordamento da rede de esgoto (G1.com). Na reportagem, os moradores comentaram que os problemas se agravam em dias de alta da maré. Na Figura 25, ilustra uma imagem extraída da reportagem, que registra no local durante a reportagem, e destacando os vestígios da água, misturada com o esgoto.



Moradores reclamam de ruas com esgoto estourado no Recife

Figura 25- Reportagem sobre problemas com esgoto em Santo Amaro, Recife (Fonte:G1, acesso dia 05/11/2023)

O caso citado na reportagem, indica que os resultados obtidos no estudo, coincidem com uma das áreas identificadas, conforme apresentado no croqui, extraído do mapa, Figura 26, nela, é possível verificar a localização da área onde foram relatados os problemas na reportagem, destacada com o polígono 01, na cor verde mais ao sul, pode-se ainda encontrar, mais especificamente o endereço situado na rua Fausto Rabelo, bairro de Santo Amaro em Recife.

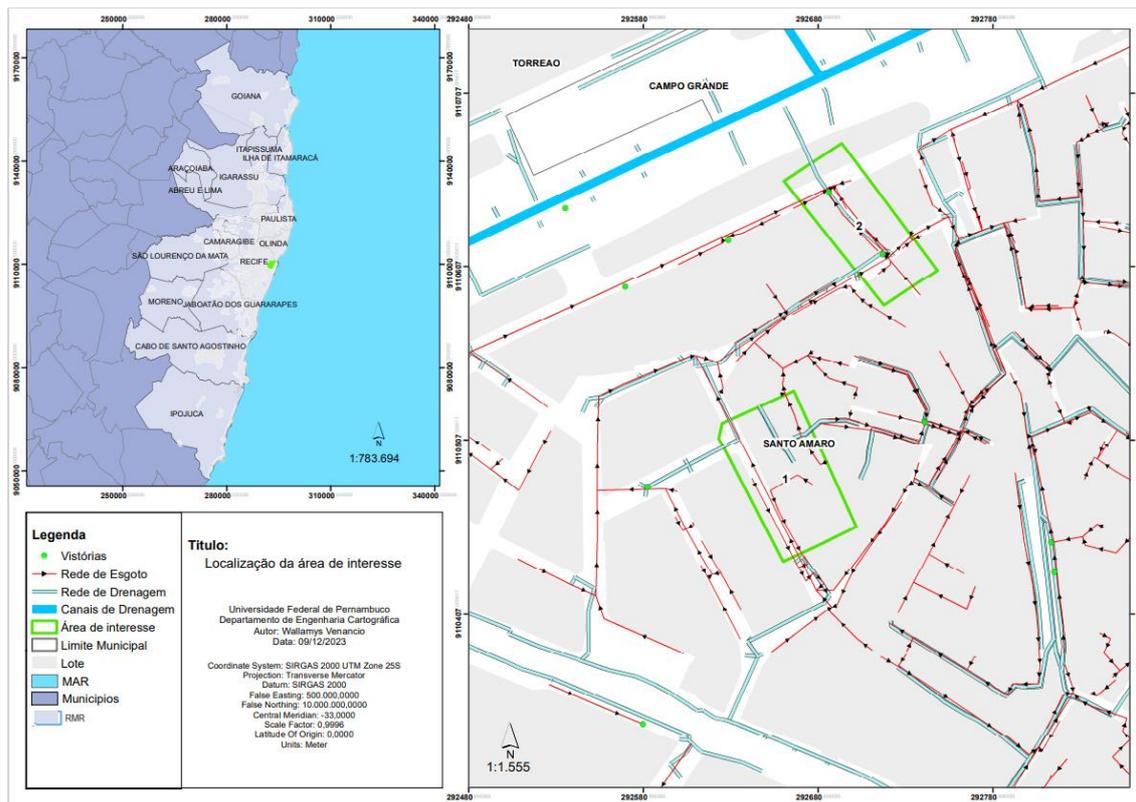


Figura 26- Mapa de localização da área de interesse. Fonte: Autor

Pode-se notar pelo mapa da Figura 26, que no entorno da área destacada existem vários trechos de drenagem.

Analisando o mapa, é possível notar que seguindo o fluxo da rede (identificado com as setas) mais a frente temos dois pontos de possível conexão com a rede de drenagem, além de ser uma área muito próxima ao canal de drenagem.

Foram identificados também, dois pontos de possível conexão com a drenagem, onde possivelmente existe influência durante a alta da Maré, como destacado na Figura 27.

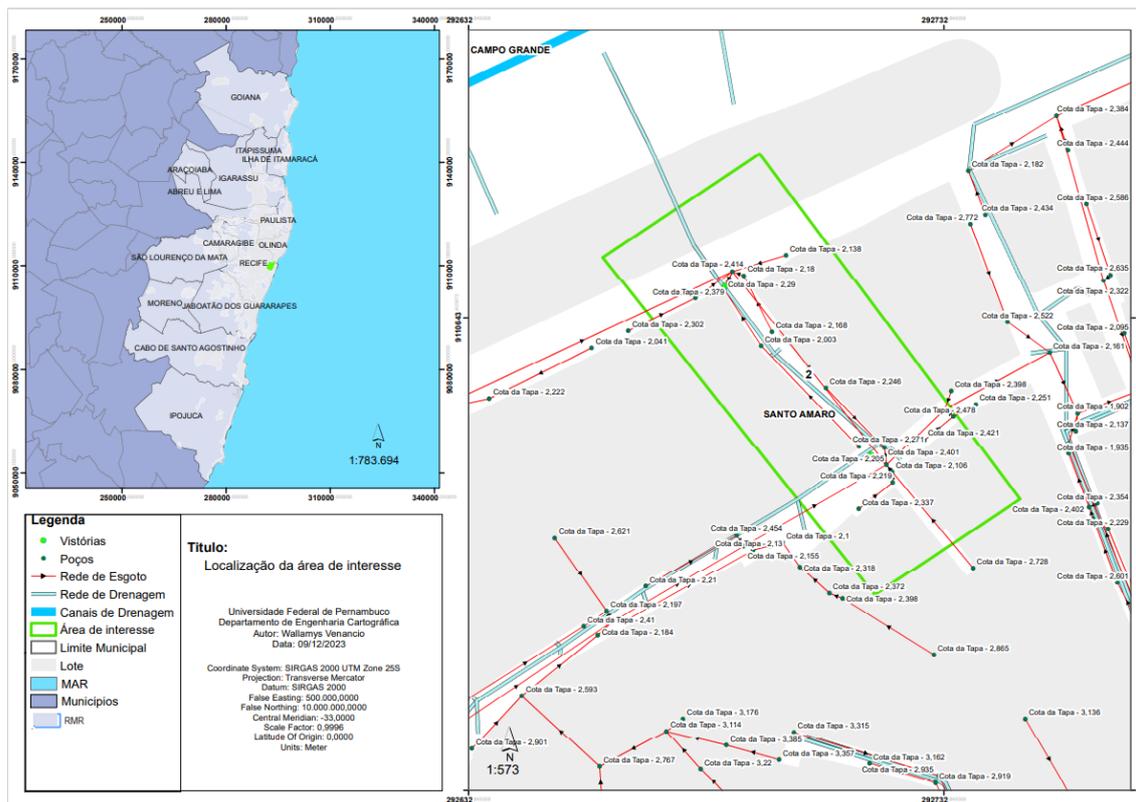


Figura 27- Identificação das cotas dos poços na área de influência. Fonte: Autor

Ainda no mapa da figura 27, é possível verificar que todos os poços na área destacada em verde, possuem cota do terreno inferior ao nível da maré alta. Desta forma, além de receberem contribuição dos efluentes da rede de drenagem, com o aumento da vazão existe grande risco de extravasamento, que se estende da área em destaque a todos os trechos a montante da rede, o que explica os problemas relatados pelos moradores da comunidade.

Foi realizada, ainda, uma outra análise com o objetivo de consolidar os resultados obtidos assim como a análise anterior. Foram utilizados, dados de vistorias de campo, onde foram identificados pontos de interligação da rede de esgotamento sanitário com rede de drenagem, representando na cor verde, Figura 28.

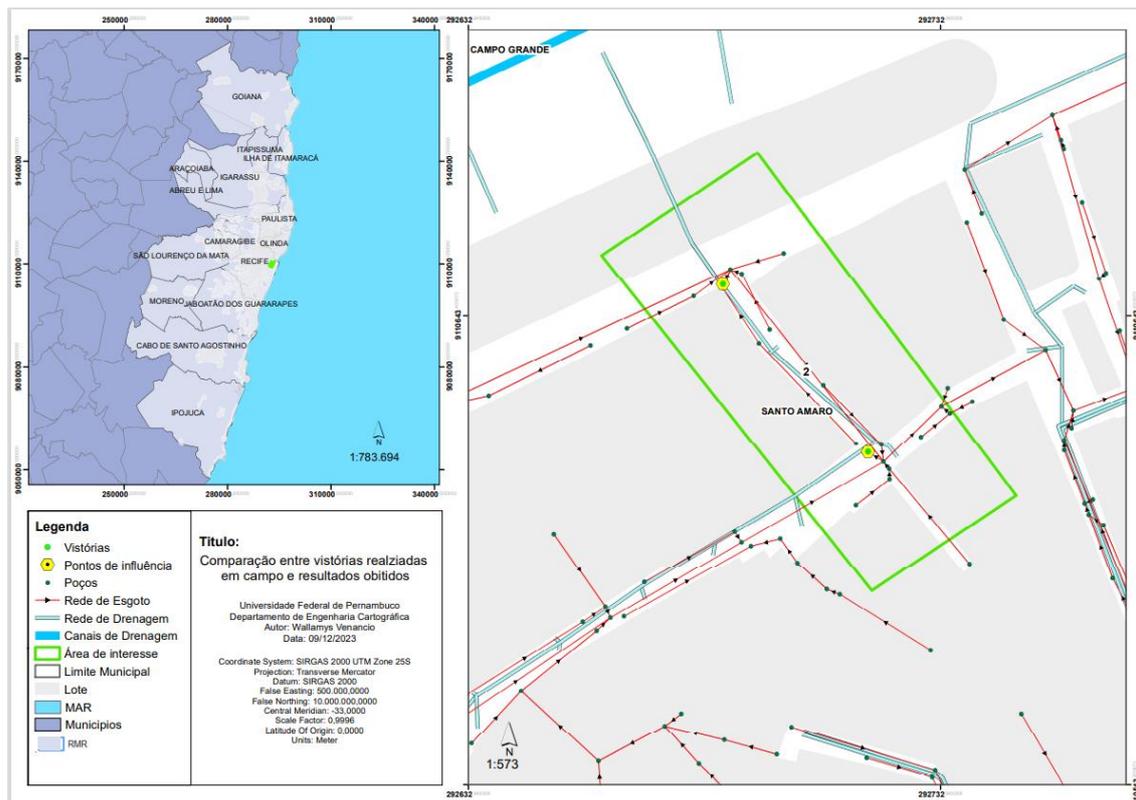


Figura 28- Comparação dos resultados com pontos identificados em campo. Fonte: Autor

Assim, pode-se observar que na área em destaque, os todos pontos de possível influência, que foram identificados no processo metodológico, coincidem exatamente com pontos já identificados pelas equipes de campo do cadastro técnico.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Quanto aos resultados obtidos da identificação das áreas de extravasamento, pode-se se verificar que a cidade do Recife, possui um percentual preocupante, com um cenário impactante quando se analisa os efeitos causados pelo contato dos corpos hídricos ou sistemas de drenagem com o sistema de esgotamento sanitário, e consequentemente a ação das marés. Ao levar em conta o ponto de vista econômico, se exige maior emprego de recursos de manutenção e operação do SES, e quanto ao ponto de vista ambiental, os transbordamentos e descarte irregular do esgoto oferecem riscos ambientais e biológicos à sociedade.

Na área de estudo, a RMR, foi constatado que os municípios de Recife e Olinda são os mais afetados pela influência da maré na rede de esgotamento sanitário. Em relação a metodologia elaborada para identificação dos poços e trechos afetados, ela se mostrou eficaz e eficiente, sendo primordial o uso de critérios de qualidade quanto a consistência topológica, a exemplo, a conectividade, e quanto a acurácia posicional, referente a precisão dos levantamentos e informações do cadastro.

Sendo assim, os resultados diretos obtidos pela análise espacial, assim como as possibilidades de demais análises podem ser realizadas com a aplicação em SIG criada,

podendo proporcionar uma maior efetividade nas ações de manutenção e operação destes sistemas, sem que seja necessário um empenho significativo de recursos financeiros, tendo em vista que tanto a análise quanto à aplicação pode ser replicada em plataformas *open source*.

Os resultados das análises proporcionam, para as empresas uma maior efetividade na identificação e tratamento dos problemas operacionais. Possibilitando previamente o planejamento de ações corretivas como limpezas preventivas, substituição dos trechos de rede ou tamponamento. Evitando assim o deslocamento de equipes de revisão de cadastro, manutenção e obras durante o período de alta da maré, onde não é possível em alguns casos ter acesso ao interior da rede.

Ainda com base nos resultados obtidos, a metodologia assim como a ferramenta de visualização elaborada, podem ser replicadas a regiões com aspectos similares e mesmo padrão de cadastro técnico. Sendo assim, recomenda-se a utilização da metodologia de análise para qualquer entidade ou empresa, seja concedente ou executora de serviços de saneamento, cuja operação esteja situada em regiões litorâneas ou que possua grande carga de recursos hídricos.

Contudo, para que as análises sejam precisas e confiáveis, recomenda-se que sejam realizadas análises periódicas da topologia e qualidade dos dados, assim como sua atualização.

## **8. DIFICULDADES ENCONTRADAS**

Com base no processo realizado, e todos os problemas enfrentados durante a elaboração desta análise e da solução proposta, foram elencadas as principais dificuldades encontradas:

- Dificuldade na obtenção de dados atualizados, pela falta de compartilhamento das empresas de saneamento;
- Escassez de literatura sobre a temática de saneamento;
- Impossibilidade de validação de campo dos resultados, por não ser possível realizar vistorias nos poços sem a presença das empresas responsáveis;
- Entender a relação entre as altitudes (referenciais geodésicos) e a ação das marés.

## 10. REFERÊNCIAS

ABNT. NBR-13.133 – **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. NBR12.208: **Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: Abnt, 2011.

ARANA, M. J. **Introdução à geodesia física**. Departamento de Cartografia, Unesp. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648. **Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário**. ABNT, 1986. Disponível em: [Impacts of urbanization and clima... preview & related info | Mendeley](#)

BRASIL. Lei nº. 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm). Acesso em: dezembro de 2023.

BLITZKOW, D. **Sistemas de altitudes e a determinação do geóide**. Curso proferido no Instituto Oceanográfico da Armada (INOCAR). Quiaquil, Equador, 2003.

BLITZKOW, Denizar; CAMPOS, Ilce De Oliveira; DE FREITAS, Sílvio R. C. **ALTITUDE: O QUE INTERESSA E COMO EQUACIONAR?** Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/ptr/lgt/FTP/altitude.pdf>. Acesso em: 11 de setembro 2024

CALADO, L. G.L.; GARNÉS, S. J. A. **A influência da maré em eventos de precipitações extremas: estudo de caso em recife-pe**, 2022. disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/366867305\\_A\\_Influencia\\_da\\_Mare\\_em\\_Eventos\\_de\\_Precipitacoes\\_Extremas\\_Estudo\\_de\\_Caso\\_em\\_Recife-PE\\_2022?enrichId=rgreq-137e4ea6526a634d380b9b8dca562204-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM2Njg2NzMwNTtBUzoxMTQzMTI4MTEwMTE4MzQyM0AxNjcyODYzODQ0ODYw&el=1\\_x\\_2&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/366867305_A_Influencia_da_Mare_em_Eventos_de_Precipitacoes_Extremas_Estudo_de_Caso_em_Recife-PE_2022?enrichId=rgreq-137e4ea6526a634d380b9b8dca562204-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM2Njg2NzMwNTtBUzoxMTQzMTI4MTEwMTE4MzQyM0AxNjcyODYzODQ0ODYw&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf). Acesso em: dezembro de 2023

CALADO, L. G.L. **Análise do nível do mar na américa do sul**, 2019. Acesso em: dezembro de 2023.

FREIRE, D. A.; ANTUNES DO CARMO, J. **Peak Flows and Stormwater Networks Design—Current and Future Management of Urban Surface Watersheds**. *Water*, Basel, v. 11, n. 4, p. 759, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11040759>. Acesso em: dezembro de 2023.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S.R.P. **Documento técnico sobre o sistema de referência vertical para a América do Sul**. *SIRGAS*, Boletim Informativo n. 6, 1998, p. 23–31.



ROSA, R. **Análise espacial em Geografia**. 2011. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6571/3571>. Acesso em: 30 out. 2024.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; CABRAL, J. J. S. P.; FONSECA NETO, G. C.; SILVA, P. O.; GUERRA, C. M. F.; SILVA, S. R. Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 3, p. 302-318, 2020.

SILVA JUNIOR, M. A. B. DA, & SILVA, S. R. DA. (2016). **Impacts of urbanization and climate change in the drainage system of Recife-PE**. Revista Brasileira de Geografia Física, 9(6). <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160143TSUTIYA>.

Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).