

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA**

**Análise do impacto do aumento do nível do mar em
um sistema de macrodrenagem no Espírito Santo**

Pedro Augusto da Costa Leite

Itajubá, agosto de 2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA**

Pedro Augusto da Costa Leite

**Análise do impacto do aumento do nível do mar em
um sistema de macrodrenagem no Espírito Santo**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós
- Graduação em Engenharia Hídrica para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Hídrica**

**Área de Concentração: Gestão de sistemas
hídricos**

Orientadora: Dra. Ana Paula Moni Silva

Coorientador: Dr. Enrique Vieira Mattos

**Agosto de
2023
Itajubá**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA**

Pedro Augusto da Costa Leite

**Análise do impacto do aumento do nível do mar em
um sistema de macrodrenagem no Espírito Santo**

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Ana Paula Moni Silva (Orientador)

Prof. Dr. Enrique Vieira Mattos (Coorientador)

Prof. Dr. Benedito Cláudio da Silva

Prof. Dra. Maria Claudia Costa de Oliveira

Itajubá

2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,
que abdicaram de seus sonhos para
que eu pudesse realizar os meus.
Sem vocês eu nada seria.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida que sempre iluminaram o meu caminho e meus pensamentos, me dando força e coragem para enfrentar as dificuldades.

À minha família, em especial aos meus pais Neuza e Wagner, pelos ensinamentos, orações, amor e incentivo.

À minha esposa Letícia, pela parceria, apoio, paciência e amor durante toda a caminhada.

Aos professores e orientadores, Ana Paula Moni Silva e Enrique Vieira Mattos, pelo aprendizado, confiança, conhecimento compartilhado e compreensão.

À Tetra Tech, pela disponibilização da licença do *software* SOBEK, utilizado nesse estudo.

Aos amigos Marco Antonio Corrêa, Carlos Eduardo Nakao Inouye e Rafael Torella di Romagnano S. da Costa da equipe de Recursos Hídricos da Tetra Tech pela amizade, por todo o conhecimento compartilhado e pelos aprendizados que proporcionaram um melhor desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes de alguma forma na minha vida, compreenderam as ausências e torceram por mim.

À Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI por contribuir para minha formação.

À todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

Nas últimas décadas, o mundo, e em especial o Brasil vem sofrendo com eventos pluviométricos extremos, com maior intensidade e maior frequência, aumentando assim o número de alagamentos e inundações e consequentemente ocasionando prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Uma das ferramentas para a gestão e solução dos problemas de macrodrenagem é o Plano Diretor de Macrodrenagem (PDM), que serve como um instrumento básico da política pública para o planejamento de longo prazo dos sistemas de macrodrenagem. A avaliação do impacto do aumento do nível do mar na elaboração de PDM em regiões costeiras torna-se necessária, visando possibilitar o planejamento urbano frente aos impactos das mudanças climáticas. Este trabalho tem como objetivo demonstrar a importância do desenvolvimento de cenários de avaliação do impacto do aumento do nível do mar nos sistemas de macrodrenagem na elaboração de Planos Diretores de Macrodrenagem em Zonas Costeiras, através de um estudo de caso no litoral do Espírito Santo. A metodologia proposta consiste na simulação hidrodinâmica de eventos extremos de precipitação aliados ao aumento do nível do mar, para a bacia do Rio da Draga em Vila Velha – ES, utilizando o software SOBEK. Verificou-se através das simulações que a ocorrência de um evento de tempo de recorrência de 25 anos associado ao aumento do nível do mar de 1,0 m resulta em um aumento de aproximadamente 9 vezes a área de inundação, com lâmina máxima no ponto de referência com 0,80 m de altura, que não ocorrem no cenário de implantação de obras. A falta de uma metodologia de análise do impacto do aumento do nível do mar no desenvolvimento dos planos diretores em regiões litorâneas pode trazer falhas de execução das análises e obras ineficientes, devendo, portanto, ser considerada no PDM de zonas costeiras.

Palavras-chaves: Drenagem, Plano Diretor de Macrodrenagem, Simulação hidrodinâmica, SOBEK

ABSTRACT

In recent decades, the world, especially Brazil, has been experiencing extreme rainfall events with greater intensity and frequency, leading to an increase in the number of floods and inundations, resulting in economic, social, and environmental losses. One of the tools for managing and addressing macrodrainage issues is the Macrodrainage Master Plan (MMP), which serves as a fundamental instrument of public policy for the long-term planning of macrodrainage systems. Evaluating the impact of rising sea levels in the development of MMPs in coastal regions becomes necessary to enable urban planning in response to climate change impacts. This work aims to demonstrate the importance of developing scenarios to assess the impact of rising sea levels on macrodrainage systems in the formulation of Macrodrainage Master Plans in Coastal Zones, using a case study in the Espírito Santo coastline. The proposed methodology involves hydrodynamic simulation of extreme precipitation events combined with rising sea levels for the Rio da Draga basin in Vila Velha - ES, using the SOBEK software. The simulations revealed that the occurrence of a 25-year recurrence interval event, combined with a 1.0-meter rise in sea level, results in an approximately 9-fold increase in the flooded area, with a maximum water depth of 0.80 meters at the reference point, which does not occur in the scenario without the implementation of protective infrastructure. The lack of a methodology for analyzing the impact of rising sea levels in the development of master plans in coastal regions can lead to flawed analyses and inefficient infrastructure projects, making it crucial to consider this factor in the Coastal Macrodrainage Master Plans

Keywords: Drainage, Master Plan for Macro-Drainage, Hydrodynamic Simulation, SOBEK.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Índice do Termo de Referência para Elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas (Ministério das Cidades, 2011).	23
Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada no presente estudo.....	27
Figura 3 – Bacia do Rio da Draga.	28
Figura 4 – Distribuição das seções levantadas ao longo do rio da Draga e Córrego do Congo.	29
Figura 5 – Seção batimétrica 57 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	30
Figura 6 – Seção batimétrica 58 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	30
Figura 7 – Seção batimétrica 59 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	31
Figura 8 – Seção batimétrica 60 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	31
Figura 9 – Seção batimétrica 61 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	32
Figura 10 – Seção batimétrica 62 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	32
Figura 11 – Seção batimétrica 63 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	33
Figura 12 – Seção batimétrica 64 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	33
Figura 13 – Seção batimétrica 65 – Córrego do Congo (PDAU – RMGV).....	34
Figura 14 – Seção batimétrica 66 – Córrego do Congo (PDAU – RMGV).....	34
Figura 15 – Uso do solo. (PDAU – RMGV).....	35
Figura 16 – Curve Number.....	36
Figura 17 – Imagens do satélite GOES-16 do canal infravermelho (10,3 μm) entre o período de 01/03/2020	37
Figura 18 – Constant Plan Position Indicator (CAPPI) em 3 km de altura de precipitação (mm/dia) para o dia 02/03/2020. Em vermelho é representado o contorno da Bacia do Rio da Draga.	38
Figura 19 – Precipitação horária entre os dias 1 e 2 de março de 2020 registrada nos pluviômetros de Terra Vermelha e Vila Velha.....	39
Figura 20 – Amplitude de maré no estuário do rio da Draga. (PDAU – RMGV).....	39
Figura 21 – Topografia da bacia do Rio da Draga.	40
Figura 22 – Modelo SOBEK desenvolvido.....	41
Figura 23 – Evento ocorrido no Rio da Draga em 2013.....	42
Figura 24 – Resultado da simulação do evento de calibração.....	42
Figura 25 – Mancha de inundação pré-desenvolvimento para a bacia do Rio da Draga.	44
Figura 26 – Rio da Draga evento registrado (2013)	45
Figura 27 – Mancha de inundação para o cenário pós-desenvolvimento.....	47
Figura 28 – Mancha de inundação para TR 25 anos e com maré aumentada em 0,50 m – Cenário 01.	49
Figura 29 – Mancha de inundação para TR 25 anos e com maré aumentada em 1,0 m – Cenário 02.	50
Figura 30 – Mancha de inundação para TR 10 anos e com maré natural – Cenário 03.....	51
Figura 31 – Mancha de inundação para TR 10 anos e com maré aumentada em 1,0 m – Cenário 04.	52
Figura 32 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 01.	54
Figura 33 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 02.	55

Figura 34 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 03.	56
Figura 35 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 04.	57
Figura 36 – Mancha de inundação referente ao aumento do nível do mar em 1,0 m na região do Rio da Draga (Climate Central, 2023).	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre o cenário pós-desenvolvimento e os cenários simulados.58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivos	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Histórico da evolução da drenagem urbana	15
2.2. Cenário atual	17
2.3. Tecnologias	19
2.4. Planos diretores de macrodrenagem	21
2.5. Planos diretores de macrodrenagem em zonas costeiras	24
3. METODOLOGIA	25
3.1. Caracterização metodológica	25
4. ESTUDO DE CASO	28
4.1. Região de estudo	28
4.2. Dados públicos do PDAU - RMGV	29
4.2.1. Batimetria	29
4.2.2. Uso e ocupação do solo	35
4.2.3. Curve Number	35
4.2.4. Caracterização do evento pluviométrico de calibração	36
4.2.5. Estudo maregráfico	39
4.3. Dados públicos do IEMA	40
4.3.1. Topografia	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1. Calibração do modelo	41
5.2. Cenário Pré-Desenvolvimento	42
5.3. Cenário Pós-Desenvolvimento	46
5.4. Resultados dos cenários com elevação de nível do mar	48
5.5. Análise comparativa	53
6. CONCLUSÃO	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o mundo, e em especial o Brasil vem sofrendo com eventos pluviométricos extremos, com maior intensidade e maior frequência, aumentando assim o número de alagamentos e inundações e conseqüentemente ocasionando prejuízos econômicos, sociais e ambientais. As mudanças antropogênicas levaram à modificações significativas no clima e nos sistemas climáticos das cidades e seus cidadãos já começaram a experimentar efeitos de magnitude sem precedentes (LEITE *et al.*, 2022).

Os efeitos desses eventos são mais agravados em regiões urbanizadas, devido ao aumento da impermeabilização do solo ocasionado pelo crescimento populacional e as atividades econômicas. Esses eventos climáticos impactam em sua maioria, grupos de baixa renda, que ocupam regiões de encostas sujeitas à deslizamentos ou regiões próximas ao leito dos rios e córregos sujeitas à alagamentos e inundações. (MARENGO *et al.*, 2020).

Segundo Marengo (2020), desde 2010 os desastres naturais no Brasil, ocasionaram 31 enchentes e dois deslizamentos de terra de proporções significativas no estado do Rio de Janeiro. Esses eventos levaram a 1.559 mortes, deixando 162.500 pessoas desabrigadas, afetando 3 milhões de pessoas e ocasionado um prejuízo da ordem de 15 milhões de reais.

Dessa forma, conhecidos os processos das cheias e suas conseqüências, faz-se necessário planejar a ocupação do espaço urbano com a infraestrutura e as condições que evitem ou minimizem os impactos socioeconômico financeiros decorrentes de enchentes (MARQUES, 2006).

Uma das ferramentas para a gestão e solução dos problemas de macrodrenagem é o Plano Diretor de Macrodrenagem (PDM), que serve como um instrumento básico da política pública para o planejamento de longo prazo dos sistemas de macrodrenagem. O PDM visa acompanhar o desenvolvimento urbano, garantindo assim que o sistema de macrodrenagem funcione adequadamente mesmo com o aumento da impermeabilização do solo ao longo dos anos.

Atualmente, diversos softwares dão suporte ao prognóstico dos sistemas de macrodrenagem frente a um evento crítico, representando o escoamento em modelos bidimensionais, embasando diversos planos diretores e projetos de menor porte. Um dos softwares utilizados para a modelagem de sistemas de drenagem é o SOBEK desenvolvido pela empresa holandesa Deltares.

Os modelos podem ser desenvolvidos através da entrada de informações hidráulicas (bueiros, galerias, canais, bombeamentos, etc.), hidrológicas e maregráficas das bacias de estudo, permitindo a calibração dos mesmos em relação a eventos críticos registrados e posteriormente a simulação de eventos críticos de tempo de recorrência superiores. A utilização de modelos permite que vários cenários críticos possam ser testados juntamente com alternativas de soluções estruturais, possibilitando um resultado mais preciso e rápido.

Geralmente, os alagamentos urbanos estão associados às falhas na infraestrutura de drenagem, seja por subdimensionamento do sistema, ausência de manutenção ou aumento da impermeabilização do solo. Com o clima em mudança, tais falhas podem ser relacionadas ao agravamento dos eventos de chuva intensa e à restrição da maré na saída do sistema. Na possível combinação de tais variáveis climáticas (chuva e maré), considerando os eventos hidrológicos para o futuro, os efeitos serão refletidos na abrangência dos alagamentos, fazendo-os chegar a locais antes não alagáveis, aumentando as cotas de lâmina d'água e os tempos de permanência (MIGUEZET *et al.*, 2011).

Como consequência do exposto, a avaliação do impacto do aumento do nível do mar na elaboração de Planos Diretores de Macrodrenagem, conforme avaliado nesse trabalho através de um estudo de caso no litoral do estado do Espírito Santo, possibilitada devido a disponibilidade de dados públicos do Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana de Vitória (PDAU-RMGV), torna-se necessária, visando possibilitar o planejamento urbano frente aos impactos das mudanças climáticas.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral analisar cenários de impacto do aumento do nível do mar nos sistemas de macrodrenagem na elaboração de Planos Diretores de Macrodrenagem em Zonas Costeiras, através de um estudo de caso no litoral do Espírito Santo.

A metodologia se baseia na análise dos níveis de água obtidos na simulação de um sistema de macrodrenagem em zona costeira, propondo análises pertinentes ao tema, que possam ser incorporadas em novos Planos Diretores.

O trabalho atende ao seu objetivo geral por meio dos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar os eventos pluviométricos da região com dados de radar meteorológico;
- Aplicar um modelo hidrodinâmico em 2D para a simulação de um estudo de caso de sistema de macrodrenagem em zona costeira.

-Avaliar as diferenças entre diferentes cenários de modelagem, buscando analisar as diferenças das manchas de inundação quando comparados cenários com o regime natural de marés em relação ao regime com eventual aumento de nível, levando-se em consideração a utilização de evento ocorrido na bacia de estudo.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Histórico da evolução da drenagem urbana

Historicamente, desde os primórdios da civilização, o homem desenvolveu suas comunidades e cidades próximas à corpos hídricos, visando suprir suas necessidades básicas de água, acesso à navegação e à pesca. A ocupação dos leitos dos rios, fez com que a população ficasse exposta ao risco de inundações ao longo dos períodos de cheia e a impermeabilização do solo aumentou o escoamento superficial, levando a ocorrência de alagamentos, ocasionando prejuízos econômicos e à vida (LEITE *et al.*, 2022).

Com o surgimento de problemas ocasionados pelos alagamentos e inundações, as civilizações ao longo do tempo foram desenvolvendo meios para reduzir os impactos, inicialmente por medidas estruturais, drenando a água pluvial de regiões críticas e posteriormente agregando medidas não estruturais, desenvolvendo a gestão da drenagem urbana.

Inicialmente, por métodos de tentativa e erro, as civilizações desenvolveram sistemas mistos, com o objetivo de transportar águas pluviais e esgotos, posteriormente com o desenvolvimento de técnicas de engenharia, que englobavam a utilização de novos materiais, metodologias hidrológicas e construtivas, as civilizações desenvolveram sistemas distintos para o escoamento de águas pluviais e esgotos, conhecidos por sistemas separadores absolutos.

Na segunda metade do século XX o avanço se deu no desenvolvimento de modelos computacionais e sistemas de monitoramento, que aumentaram as possibilidades de dimensionamento de sistemas complexos e de grande porte, com dados pretéritos de eventos registrados para a calibração dos mesmos (BURIAN *et al.*, 2002).

Segundo Webster (1962), a civilização Hindu, desenvolveu em 3.000 anos a.C. no aglomerado de Mohengo-Doro, atual Paquistão, um sistema que drenava as águas das vias com coletores que foram implantados com dimensões e alturas para atender desde as vazões mais reduzidas a vazões maiores.

A civilização Mesopotâmica, desenvolveu nas cidades de Ur e Babilônia, a cerca de 2.000 a.C. uma infraestrutura de drenagem e saneamento, com sarjetas, coletores e sumidouros (MANER, 1966).

A civilização Romana, foi a única civilização em toda a Ásia Ocidental e Europa, que desenvolveu sistemas de drenagem planejados, com sarjetas, canais em superfície e

subterrâneos e coleta de águas pluviais em telhados. Isso foi necessário para drenar partes baixas das cidades e o excedente das águas importadas através de grandes aquedutos e que não eram totalmente consumidas. Após a queda do Império Romano, com o declínio populacional das grandes cidades pelas migrações para o campo, os sistemas de água, esgoto e drenagem foram abandonados e poucos avanços tecnológicos foram feitos e implantados, sendo a drenagem urbana nesse período um serviço considerado desnecessário pela perspectiva pública (BURIAN *et al.*, 2002).

No continente americano, um dos registros mais antigos de sistemas de drenagem é a drenagem da cidadela de Machu Picchu, a capital do Império Inca, que foi construído com boas técnicas de execução após anos de experiência de tentativas e erros (BURIAN *et al.*, 2002).

Os grandes sistemas de drenagem urbana na América do Norte foram construídos no século XVIII, durante a era colonial, na Nova Inglaterra, com implantação de sistemas unitários (BURIAN *et al.*, 2002).

Em Paris, ao longo dos séculos XVIII e XIX, foram desenvolvidas obras de dimensões significativas de drenagem das águas residuais, mas somente em 1880 foi desenvolvido um plano geral de drenagem e projetos que levaram a construção de grandes coletores enterrados (MATOS, 2003).

Nos Estados Unidos da América, o primeiro sistema de drenagem foi projeto em Chicago no ano de 1.858 e o segundo em Nova York em 1870, com critérios de dimensionamento baseados fundamentalmente nas experiências e práticas europeias (MATOS, 2003).

No século XX a drenagem urbana foi amplamente desenvolvida, com avanços na implantação, em conceitos e métodos, aprimoramento de metodologias de avaliações quantitativas de escoamento, com implantação da visão qualitativa. Nesse século também foram desenvolvidos sistemas de monitoramento, modelos computacionais e foi desenvolvido um olhar ambiental (BURIAN *et al.*, 2002).

No Brasil, a evolução dos sistemas de drenagem pode ser analisada juntamente com o processo de urbanização do Brasil que teve início na metade do século XX, na década de 1930, pelo processo industrial. Posteriormente, esse processo foi intensificado em 1950 pela industrialização promovida pelos governantes do período, atraindo milhares de pessoas à região sudeste do Brasil, que possuía a maior infraestrutura e maior quantidade de indústrias no período. Segundo IBGE (2010), na década de 1970 aproximadamente 56% da população

brasileira se encontrava em áreas urbanas, valor que chegou a 84% da população em 2010 (TUCCI, 2015).

O processo de urbanização acelerado gerou grandes cidades e regiões metropolitanas sem a devida infraestrutura urbana mínima, devido à falta de investimentos no período (TUCCI, 2015).

2.2. Cenário atual

A nível mundial, devido à grande diferença econômica entre os países, os estudos apresentados se diferem em relação a abordagem dos problemas. Os países desenvolvidos apresentam estudos de maior nível de complexidade, com uso de tecnologias mais avançadas e focando em uma gestão descentralizada, onde a população e os municípios são vistos como um todo e não unitariamente e países subdesenvolvidos ainda buscam implantar a gestão descentralizada.

De acordo com Lumbroso *et al.* (2016), na década passada, em toda a África as inundações impactaram um maior nível de pessoas do que a seca. O aumento significativo do risco de inundação em algumas regiões não está relacionado apenas a eventos extremos de chuva, mas também pelos fatores humanos e ambientais, como a urbanização não planejada e por baixos níveis de investimento em infraestrutura de drenagem e gestão de inundações (TAZEN *et al.*, 2018).

O Banco de Desenvolvimento Africano (2011), avaliou que os impactos causados às infraestruturas de transportes por inundações, serão maiores na África do que em qualquer outra região do mundo, impactando diretamente no produto interno bruto (PIB).

De acordo com Tang *et al.* (2016) historicamente, a China nos primórdios da sua civilização no período da Dinastia Tang (833 DC), modificou a localização da cidade de Ningbo para a planície de inundação onde se encontra, concluindo extensas obras de engenharia projetadas para reduzir o risco de inundações, limitando a entrada da maré, garantindo o abastecimento público e o desenvolvimento agrícola.

Apesar da grande diferença econômica entre os países africanos e a China, a explosão demográfica teve um avanço mais rápido do que o desenvolvimento da infraestrutura de drenagem e que aliada ao aquecimento global, ainda prejudica diversas regiões da China (TANG *et al.*, 2016).

Nos Estados Unidos, segundo Garcia *et al.* (2015), muitas bacias hidrográficas são monitoradas em tempo real, facilitando a tomada de decisões em situações emergenciais. O primeiro

protótipo desse tipo de ferramenta foi implantado no final de 1960 em Mineápolis no estado de Minnesota, que posteriormente foi difundido em todo o mundo, especialmente na Europa e América do Norte.

No Brasil, o sistema unitário foi implantado no Rio de Janeiro em 1857, Recife em 1873 e São Paulo em 1883, contudo, devido às elevadas precipitações pluviais (cerca de 3 a 4 vezes superiores aos países europeus), muitas áreas sem pavimentação e limitações de recursos financeiros, o sistema foi modificado para “separador parcial”, de modo que esses sistemas de esgotamento recebiam uma parcela das águas de chuva, provenientes de telhados e pátios das construções que eram encaminhadas juntamente com as águas residuárias e águas de infiltração.

No sistema separador parcial o sistema de esgotos urbanos é constituído de redes de esgotos e de galerias de águas pluviais. Em 1912, a cidade de São Paulo adotou o sistema separador absoluto em substituição ao sistema separador parcial. No sistema separador absoluto, adotado no Brasil, as águas residuárias e as águas de infiltração que constituem o esgoto sanitário, veiculam em um sistema independente denominado sistema de esgoto sanitário. As águas pluviais são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente. (TSUTIYA *et al.*, 2009).

As cidades brasileiras, em geral, têm sofrido sistematicamente com as falhas dos sistemas de drenagem, com grandes prejuízos materiais e risco à saúde e à vida da população, fortalecendo o senso comum da necessidade de ampliação de galerias e execução de obras de canalização e retificação de corpos d’água. Assim, tem-se observado que o crescimento da cidade cria e amplia pontos de alagamentos e que o tratamento dos problemas por canalização apenas transfere os volumes de um ponto a outro, criando uma falsa sensação de segurança, o que permite a ocupação cada vez mais próxima dos corpos d’água (SOUZA *et al.*, 2013).

A gestão da drenagem urbana, na maioria dos municípios brasileiros, ainda não é tratada com a devida importância pelos gestores, dada a ausência de um planejamento específico para o setor. De forma geral, o gerenciamento da drenagem urbana é realizado pelas secretarias de obras municipais e apresenta-se desvinculado das ações planejadas para os demais setores relacionados, como água, esgoto e resíduos sólidos. Iniciativas isoladas de algumas cidades têm sido observadas no sentido de promover uma regulamentação para a drenagem urbana associada aos dispositivos de ordenamento do uso e ocupação do solo. No entanto, estas iniciativas ainda carecem de uma visão integrada aos processos urbanos e da consideração de conceitos que os aproximem à sustentabilidade (CRUZ *et al.*, 2007).

O Brasil nas últimas décadas desenvolveu e incentivou a elaboração de planos diretores de macrodrenagem, sendo o Termo de Referência para Elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas desenvolvido pelo Ministério das Cidades o documento orientativo para a elaboração desses estudos, com as informações necessárias a respeito dos tipos de avaliação a serem realizadas para um bom diagnóstico e prognóstico do sistema de drenagem para um horizonte de projeto de até 30 anos.

Alguns planos desenvolvidos e em desenvolvimento na última década, com incentivo dos órgãos estaduais e federais, visaram realizar um planejamento integrado da gestão da drenagem urbana de grandes centros urbanos, como por exemplo o Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT) e o Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana de Vitória (PDAU – RMGV).

O PDMAT, foi elaborado pela primeira vez 1998 e foi revisado em 2008 e 2013 e englobou uma das áreas mais densamente povoadas do mundo, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), abrangendo 39 municípios. O diagnóstico da situação atual do sistema de macrodrenagem foi realizado através da modelagem hidrodinâmica, com a utilização de estações telemétricas e chuvas do banco de dados de radar meteorológico.

O PDAU-RMGV, foi elaborado entre os anos 2020 e 2023, e englobou 7 municípios da região metropolitana de Vitória, são eles: Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória. Esses municípios, em especial Vila Velha, sofrem há décadas com inundações frequentes, ocasionadas pelo crescimento populacional desordenado e pelo impacto das marés, que impossibilitam ou reduzem o escoamento das águas pluviais urbanas, agindo como uma barreira que eleva os níveis de montante do escoamento. O diagnóstico realizado, contou com a utilização de modelagem hidrodinâmica, calibrada utilizando estações telemétricas com o histórico de vazões e precipitações da região e posteriormente foram realizadas diversas simulações com outros eventos críticos realizados e chuvas de projeto para tempos de retorno diversos.

2.3. Tecnologias

A análise de sistemas de macrodrenagem depende de uma ampla gama de informações hidrológicas e hidráulicas, tais como:

- Uso e ocupação do solo atual e futuro;
- Séries pluviométricas e fluviométricas;

- Quantis de precipitações extremas;
- Séries maregráficas;
- Topografia;
- Seções hidráulicas dos corpos hídricos;
- Cadastros de estruturas hidráulicas;
- Cadastros de sistemas de bombeamento;

Dada a vasta quantidade de informações necessárias para a análise, ao longo do tempo foram desenvolvidos softwares capazes de modelar os sistemas existentes, possibilitando a avaliação de cenários e o planejamento de longo prazo.

Segundo Canholi (2014), as etapas de uma modelagem podem ser estruturadas da seguinte forma:

1. Escolha do modelo hidrológico ou hidráulico a ser utilizado e respectivos parâmetros necessários à modelagem;
2. Escolha do software e preparação / inserção dos dados de entrada;
3. Simulação;
4. Calibração dos parâmetros dos modelos;
5. Simulação de cenários;

A seguir são apresentados os principais softwares utilizados na simulação de sistemas de macrodrenagem:

- **HYDROLOGIC MODELING SYSTEM (HEC - HMS)**

Desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos no ano 2000, o HEC-HMS é um software livre de modelagem hidrológica de bacias hidrográficas que simula o processo de transformação chuva-vazão em sistemas de bacias e sub-bacias hidrográficas. Ele possibilita estimar o escoamento superficial, calculando as vazões resultantes de uma determinada precipitação de entrada em diferentes pontos da rede de macrodrenagem, por meio dos modelos tradicionalmente utilizados em hidrologia para planejamento e projeto em drenagem urbana.

- **RIVER ANALYSIS SYSTEM (HEC – RAS)**

Desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, o HEC-RAS é um software livre de modelagem hidráulica que permite a simulação do escoamento em canais abertos sob regime permanente e não permanente com ou sem o transporte de sedimentos em 1D e 2D em rios, canais, bueiros, entre outras estruturas hidráulicas. A interface gráfica permite a construção de projetos com um único trecho ou com uma rede de canais.

- **STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)**

Desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*U.S. Environmental Protection Agency – Usepa*) em 1971 o Storm Water Management Model – SWMM, é um software livre de modelagem dinâmica do tipo chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial de sistemas de micro e macrodrenagem, especialmente em áreas urbanas.

O SWMM utiliza uma abordagem distribuída para o cálculo das vazões, integrando a modelagem da microdrenagem e da macrodrenagem. Essa simulação integrada da rede de galerias com o escoamento superficial possibilita a simulação de alagamentos, que são fenômenos hidráulicos muito comuns em bacias urbanas, decorrentes da sobrecarga nas galerias e bueiros de drenagem e que ocasionam o transbordamento dessas bacias e o aumento do nível d'água nas ruas sem que necessariamente tenha havido transbordamento dos córregos e canais principais.

- **SOBEK**

Desenvolvido pela empresa holandesa Deltares em 1977, o SOBEK é um software pago constituído de um pacote de módulos integrados aplicáveis às questões de gerenciamento de águas fluviais em áreas rurais ou urbanas.

O SOBEK oferece uma ampla gama de funcionalidades para simulação e análise de sistemas de água, incluindo rios, canais, escoamentos pluviais, águas costeiras e estuarinas.

No Brasil, o SOBEK foi utilizado no Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê - PDMAT e no Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana de Vitória – PDAU-RMGV.

2.4. Planos diretores de macrodrenagem

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) é uma importante ferramenta com a qual as comunidades podem avaliar e dar prioridades a problemas e necessidades potenciais presentes

e futuras, além de considerar as alternativas de gerenciamento da drenagem. O plano diretor de drenagem é preparado para considerar, em detalhe, quais práticas e medidas de gerenciamento devem ser consideradas para uma área urbanizada ou em urbanização (NEA/UFSC,2002).

Os planos diretores são tradicionalmente utilizados para tratar de funções únicas como a provisão de drenagem , a mitigação de inundações , análise custo/benefício ou avaliação de risco. Esses planos prescrevem alternativas práticas e específicas de gerenciamento e planejamento. Planos de drenagem multi-objetivos estendem essa definição tradicional incluindo o zoneamento, o uso do solo, a qualidade da água, os habitats, a recreação e as considerações estéticas. (MARQUES, 2006).

Os PDDrU ou, mais recentemente, Planos de Manejo de Águas Pluviais (PMAP), surgem como elemento central da gestão drenagem urbana. Esses planos estabelecem as diretrizes para a gestão das águas pluviais em uma bacia hidrográfica e visam, fundamentalmente, reduzir o volume de escoamento, velocidade, taxas, frequência e duração dos alagamentos. Estas medidas são uma tentativa de minimização dos efeitos adversos ao meio ambiente, especialmente dos aspectos quali-quantitativos dos corpos d'água receptores, com conseqüente redução de perdas econômicas, melhoria das condições de saúde da população e meio ambiente da cidade (VILLANUEVA *et al.*, 2011).

Na elaboração do PDDrU deve ser mantida a sua coerência com as outras normas urbanísticas do município, com os instrumentos da Política Urbana e da Política Nacional de Recursos Hídricos (PARKINSON *et al.*, 2003).

O desenvolvimento do PDDrU deve se pautar na participação pública de diversos setores da sociedade, promovendo um olhar descentralizado das proposições de intervenções, incentivando a adoção de medidas sustentáveis, alinhadas ao desenvolvimento urbano e que se adeque ao orçamento público, não onerando o município com o dispêndio em custos de manutenção elevados.

O PDDrU deve ser elaborado, utilizando técnicas e informações precisas, diagnosticando os problemas, realizando o prognóstico frente ao uso e ocupação do solo ao longo de um determinado horizonte de projeto e propondo alternativas estruturais e não-estruturais para minimização ou extinção dos impactos de um evento crítico determinado, que esteja alinhado as mudanças climáticas.

- **TERMO DE REFERÊNCIA PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DIRETOR DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011)**

Desenvolvido pelo Ministério das Cidades no ano de 2011, o Termo de Referência para Elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas é o principal documento orientativo para a elaboração do PDDrU,

O documento apresenta o índice de tópicos conforme a Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Índice do Termo de Referência para Elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas (Ministério das Cidades, 2011).

ÍNDICE	
1	INTRODUÇÃO 4
2	DRENAGEM SUSTENTÁVEL 5
2.1	Impactos na gestão das águas urbanas 5
2.2	Histórico da gestão 6
2.3	Saneamento Ambiental e Gestão Integrada 7
2.4	Política da drenagem sustentável..... 8
2.4.1	Objetivos 8
2.4.2	Princípios 8
2.4.3	Estratégias 9
2.4.4	Metas 9
3	TERMO DE REFERÊNCIA: PLANO DIRETOR DE ÁGUAS PLUVIAIS 11
3.1	Antecedentes 11
3.2	Bases do Plano 11
3.3	Características de (nome da cidade) 12
3.4	Fundamentos do Plano de Águas Pluviais 12
3.4.1	Política 13
3.4.2	Medidas 15
3.5	Diretrizes Gerais 17
3.6	Atividades 18
3.6.1	Consolidação do Plano de Trabalho 18
3.6.2	Preparação das Bases Cartográficas 19
3.6.3	Levantamento de Dados e Informações 20
3.6.4	Formulação de Cenários 22
3.6.5	Diagnóstico e Prognóstico das Inundações 23
3.6.6	Otimização das Medidas Estruturais de Controle 23
3.6.7	Levantamentos Complementares de Campo 24
3.6.8	Anteprojetos das Medidas Estruturais de Controle 24
3.6.9	Proposição de Medidas de Controle Não-Estruturais 25
3.6.10	Análises Benefício-Custo 25
3.6.11	Elaboração do Programa Municipal de Drenagem 26
3.6.12	Divulgação do Plano e Discussão com a Comunidade 26
3.6.13	Elaboração do Manual de Drenagem Urbana 27
3.7	Qualificação dos Produtos 27
3.7.1	Banco de Dados Georreferenciado 28
3.7.2	Relatórios 28
3.8	Preço 29
3.9	Prazo e cronograma 29
3.10	Local de execução dos serviços 30
3.11	Forma de remuneração 30
3.12	Equipe técnica 30

Os objetivos do Termo de Referência são os seguintes:

- Destacar os princípios e objetivos da drenagem sustentável dentro do Saneamento Ambiental como base para orientação, análise e aprovação dos investimentos do Ministério das Cidades;
- Orientar a preparação do termo de referência de plano diretor de águas pluviais, objeto de Termo de Compromisso entre os municípios e o Ministério das Cidades, e apoiados com recursos do Orçamento Geral da União (OGU).

O documento apresenta as bases da Drenagem Sustentável, orientando a elaboração e execução de estudos e projetos a serem elaborados para minimizar os impactos das cheias. Posteriormente é apresentado o Termo de referência para Planos de Águas Pluviais.

2.5. Planos diretores de macrodrenagem em zonas costeiras

Os planos diretores de macrodrenagem em zonas costeiras possuem uma variável de grande impacto que não existe nos planos em regiões interiores, a maré.

A maré restringe o fluxo da água, funcionando como uma barreira para o escoamento das águas, aumentando o nível de remanso e se seu ápice se der em um período de eventos de vazões extremas pode ocasionar inundações em áreas estuarinas.

Esse tipo de situação requer um conjunto de boas práticas que não são abordados no Termo de Referência para Elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011) e muitas vezes são desenvolvidas sem nenhuma padronização ou recomendação de boas práticas.

No primeiro semestre de 2023 foi finalizado o Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana de Vitória (PDAU – RMGV), que abrange os municípios de Vitória, Vila Velha, Fundão, Serra, Cariacica, Viana e Guarapari. O plano foi desenvolvido, considerando cenários críticos de eventos pluviométricos com marés de tempo de recorrência de 25 anos, para um cenário de uso e ocupação do solo de 2040.

O Termo de Referência (TR) do PDAU – RMGV seguiu as recomendações do TR do Ministério das Cidades, porém assim como o documento do Ministério, não determinou a necessidade de uma análise de maré, de aumento do nível do mar ou utilização de imagens de radar meteorológico.

3. METODOLOGIA

Esse capítulo apresentará os passos realizados, desde a etapa de levantamento de dados, escolha do local de estudo de caso, desenvolvimento do modelo, desenvolvimento de cenários, geração das manchas de inundação e análises dos resultados.

3.1. Caracterização metodológica

A metodologia proposta para análise do impacto do aumento do nível do mar no sistema de macrodrenagem em região costeira foi baseada na simulação hidrodinâmica de eventos extremos de precipitação aliados ao aumento do nível do mar. Para isso deverá ser desenvolvido um modelo hidrodinâmico através da inserção de diversas informações a respeito do sistema de drenagem local, tais como seções batimétricas, estruturas hidráulicas, topografia, uso e ocupação do solo, precipitação e maré. O *software* de simulação adotado é o SOBEK, um software pago, que possui as funcionalidades necessárias para o objetivo proposto nesse trabalho.

As etapas metodológicas aplicadas no presente estudo são apresentadas na Figura 2.

Inicialmente definiu-se para estudo de caso a bacia do Rio da Draga, situada em Vila Velha – ES, que possui seu exutório no mar, devido a disponibilidade de dados públicos da bacia no PDAU-RMGV, que foi finalizado no ano de 2023.

Após a definição da bacia, realizou-se o levantamento de dados públicos disponíveis necessários para a modelagem tais como histórico de chuvas, chuvas de projeto, histórico de marés, tipo de solo, uso e ocupação do solo, topografia, estruturas hidráulicas e seções batimétricas.

Posteriormente realizou-se uma análise de consistência dos dados recebidos, visando eliminar ou corrigir eventuais informações inconsistentes.

Após a obtenção e consistência dos dados, inseriu-se as informações no modelo SOBEK com os respectivos ajustes e conversões necessários para a entrada.

Realizou-se a calibração do modelo utilizando um evento pluviométrico registrado e seu resultado foi comparado com manchas de estudos existentes e imagens de satélite.

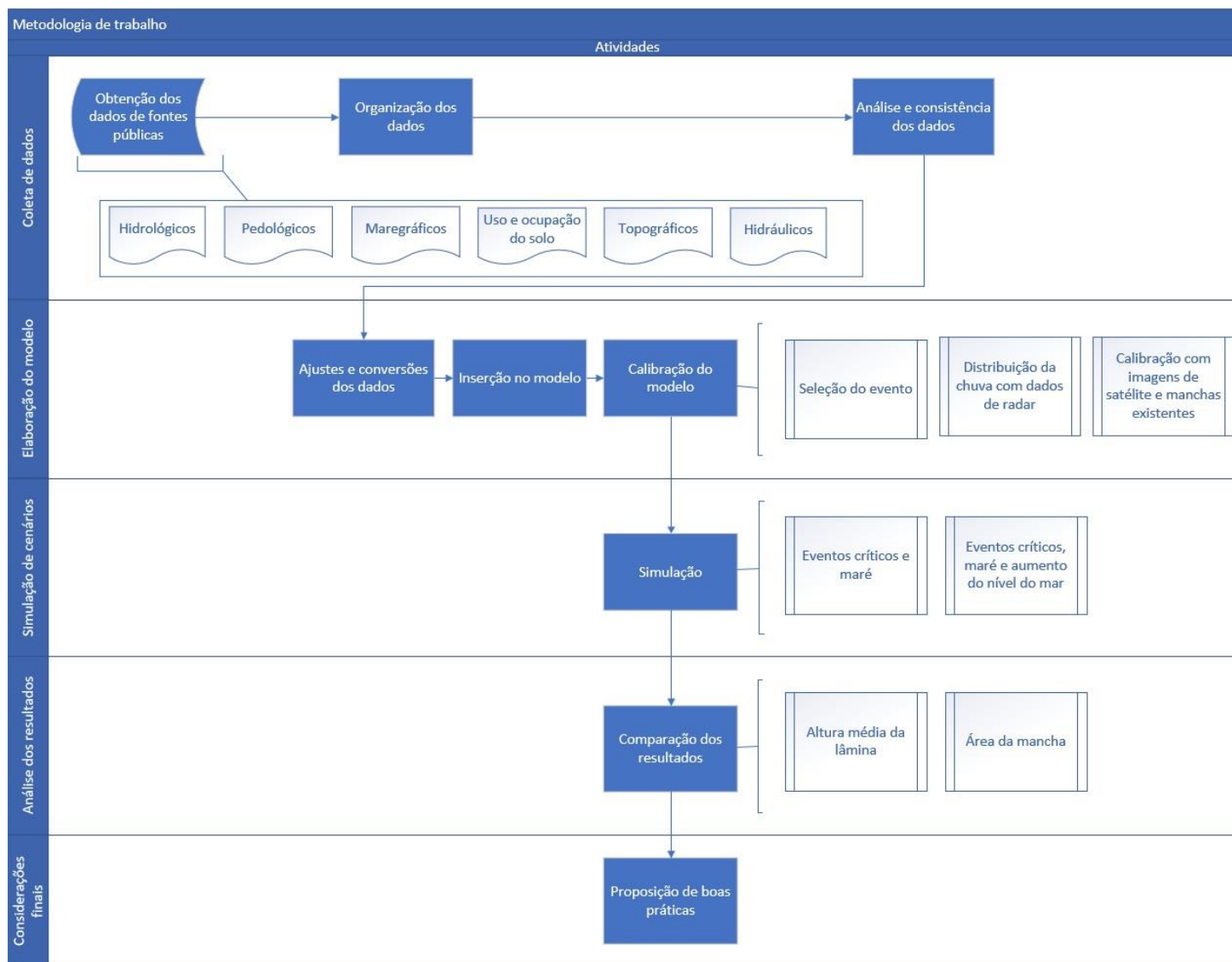
Após a calibração simulou-se o evento crítico de Tempo de Recorrência de 25 anos¹, considerando a maré de calibração e a implantação das obras previstas no PDAU-RMGV para a bacia (cenário Pós-Desenvolvimento).

Posteriormente, simulou-se eventos críticos de diferentes Tempo de Recorrência, considerando o aumento gradativo do nível do mar, incrementando os valores da maré de calibração utilizada.

As manchas de inundação obtidas foram comparadas visando verificar se o aumento do nível do mar ocasiona aumento da área inundada e altura média da lâmina.

¹ O Termo de Referência para Elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas – Diretrizes e Parâmetros do Ministério das Cidades orienta que o Plano avalie os impactos que ocorrerá na drenagem para riscos maiores que 10 anos. O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais desenvolvido pela Prefeitura de São Paulo, o Plano Diretor de Curitiba e o Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana de Vitória consideram a avaliação dos impactos de eventos de tempo de recorrência de 25 anos.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada no presente estudo.



4. ESTUDO DE CASO

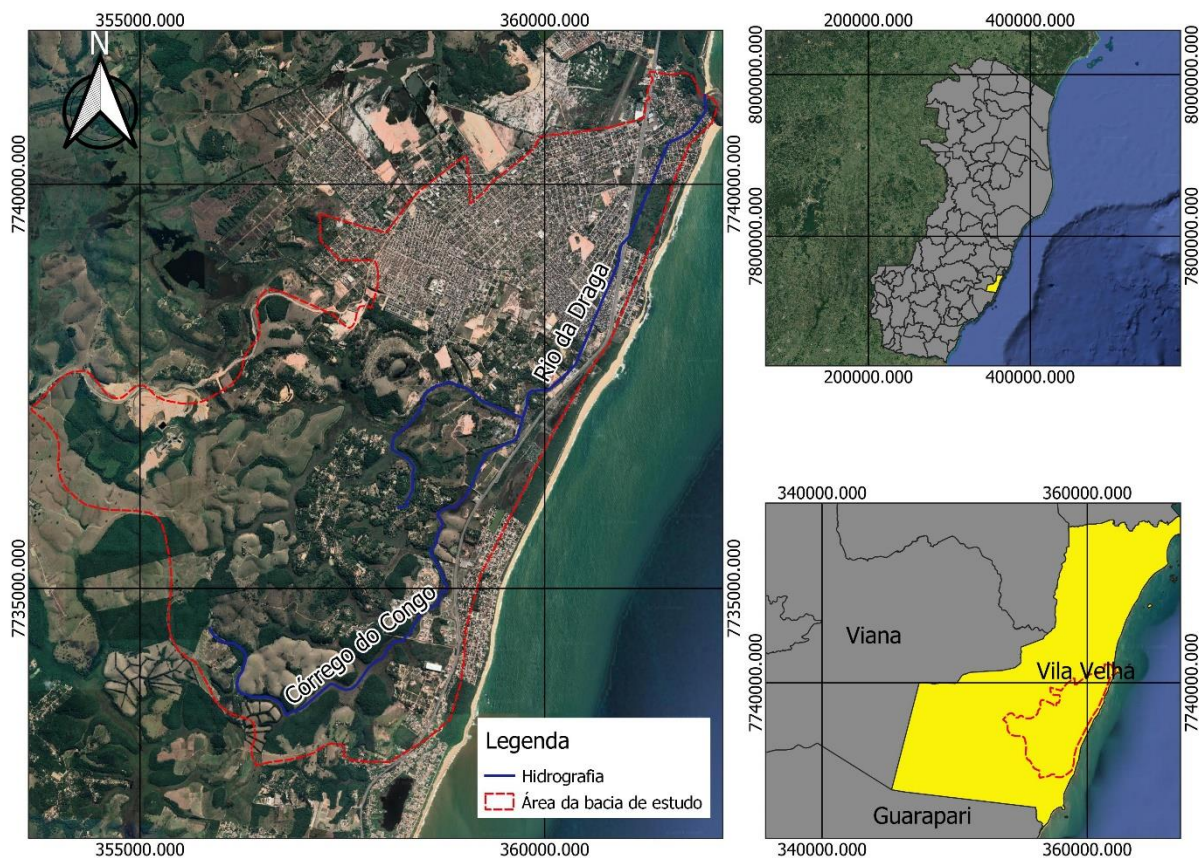
4.1. Região de estudo

O presente trabalho é aplicado na bacia do rio da Draga, situada no município de Vila Velha, litoral do Espírito Santo e possui uma área de drenagem de aproximadamente 33,0 km².

Para a realização deste trabalho serão empregados os dados públicos do Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana da Grande Vitória (PDAU – RMGV) e imagens do radar do CEMADEN situado no município de Santa Teresa – ES. Maiores detalhes sobre estes dados serão explicados nas seções seguintes.

A Figura 3 a seguir apresenta a localização da área de estudo, em nível estadual e municipal, detalhando a área de drenagem e caminhamento do Rio da Draga e Córrego do Congo que compõem a bacia hidrográfica de estudo.

Figura 3 – Bacia do Rio da Draga.



4.2. Dados públicos do PDAU - RMGV

Para a elaboração do modelo serão utilizados dados públicos do PDAU – RMGV que foi elaborado entre os anos de 2020 e 2023, com informações recentes e a nível suficiente para o desenvolvimento do trabalho.

A seguir é apresentada uma descrição dos dados utilizados.

4.2.1. Batimetria

O PDAU – RMGV realizou entre os meses de maio e junho de 2021 um levantamento batimétrico nos rios seleccionados para estudo na RMGV, entre eles o rio da Draga.

O levantamento foi realizado utilizando um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) modelo Stonex S8 Plus para aquisição dos dados e com correção feita com técnica NTRIP (Networked Transport of RTCM via internet Protocol).

Ao todo, foram levantadas oito seções ao longo da extensão do rio da Draga e duas seções ao longo do Córrego do Congo, em pontos de singularidades. A Figura 4 apresenta a localização das seções levantadas pelo PDAU-RMGV.

Figura 4 – Distribuição das seções levantadas ao longo do rio da Draga e Córrego do Congo.

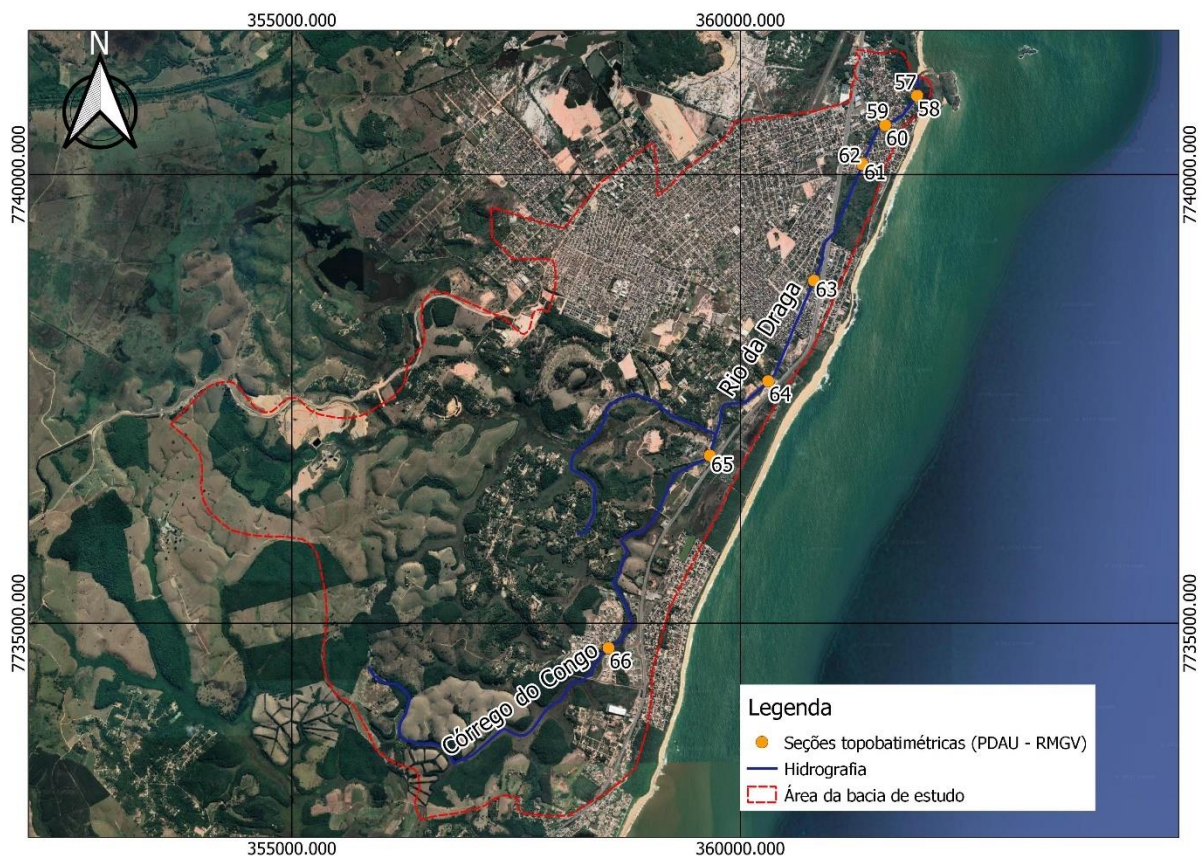


Figura 7 – Seção batimétrica 59 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV)

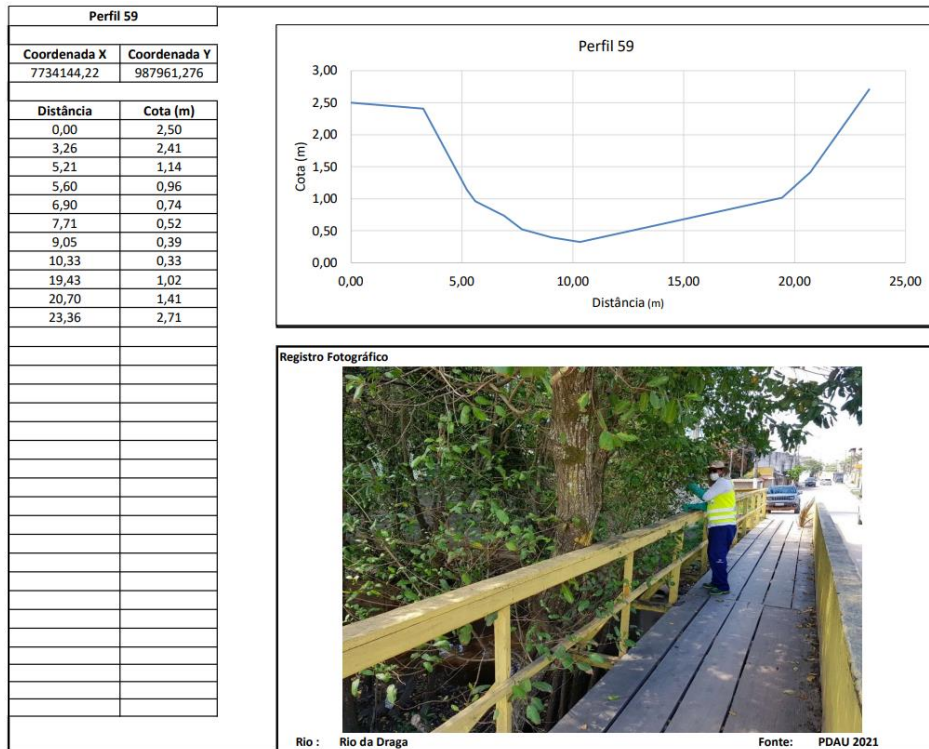


Figura 8 – Seção batimétrica 60 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV)

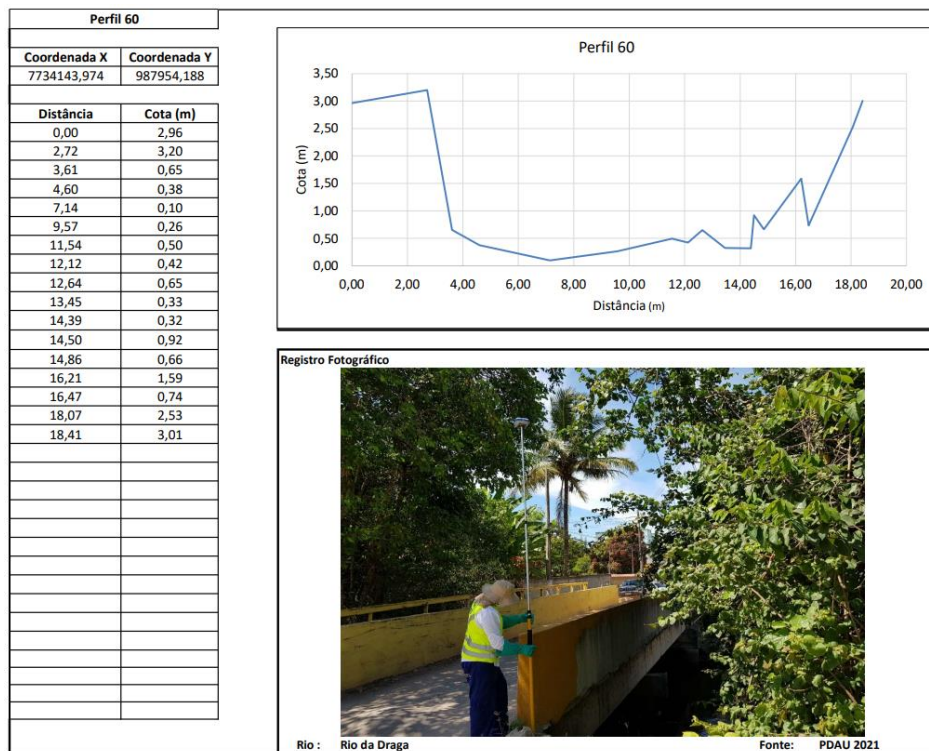


Figura 9 – Seção batimétrica 61 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV)

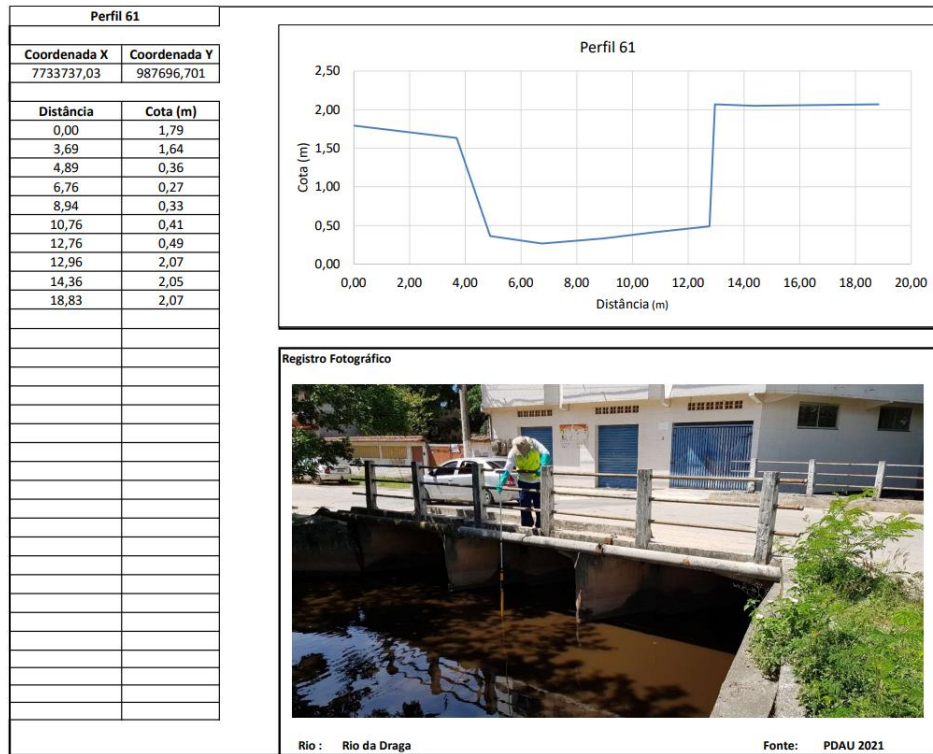


Figura 10 – Seção batimétrica 62 - Rio da Draga. (PDAU – RMGV)

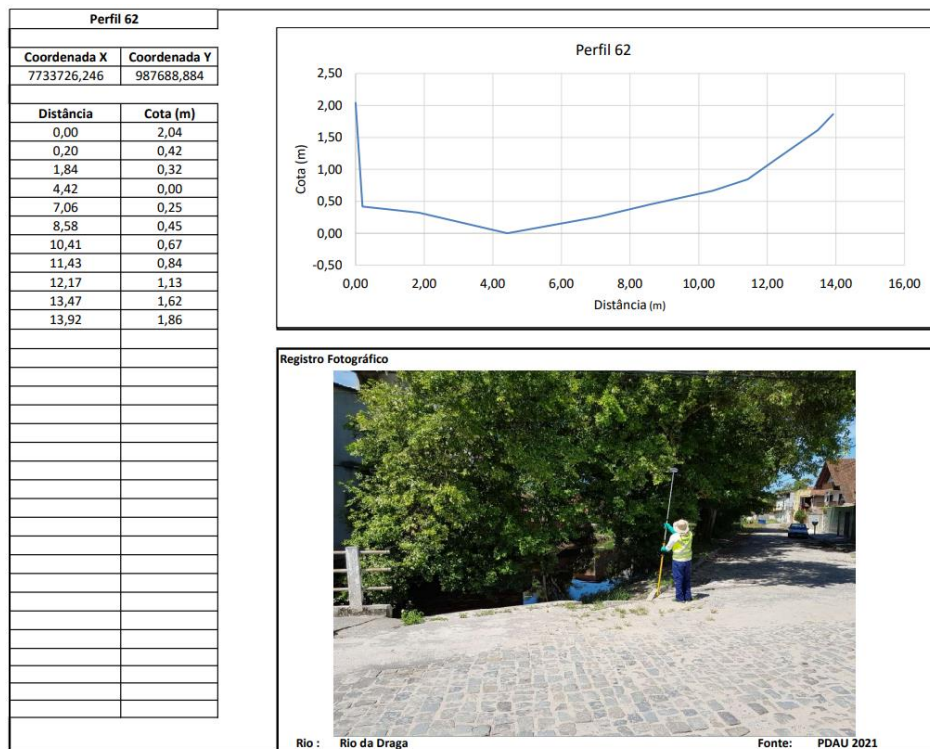


Figura 13 – Seção batimétrica 65 – Córrego do Congo (PDAU – RMGV)

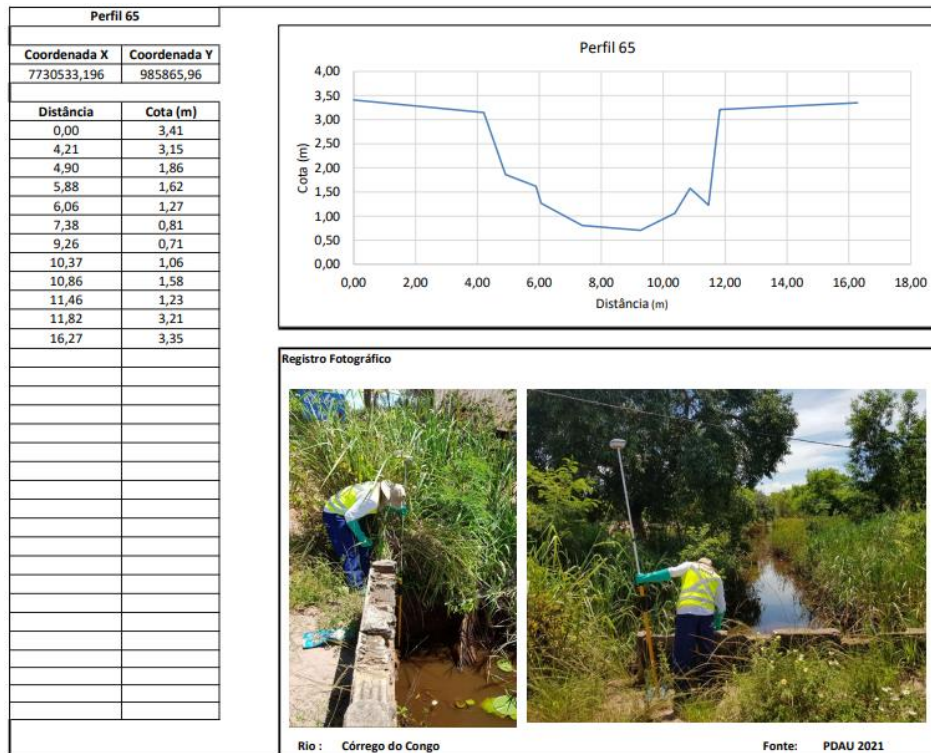


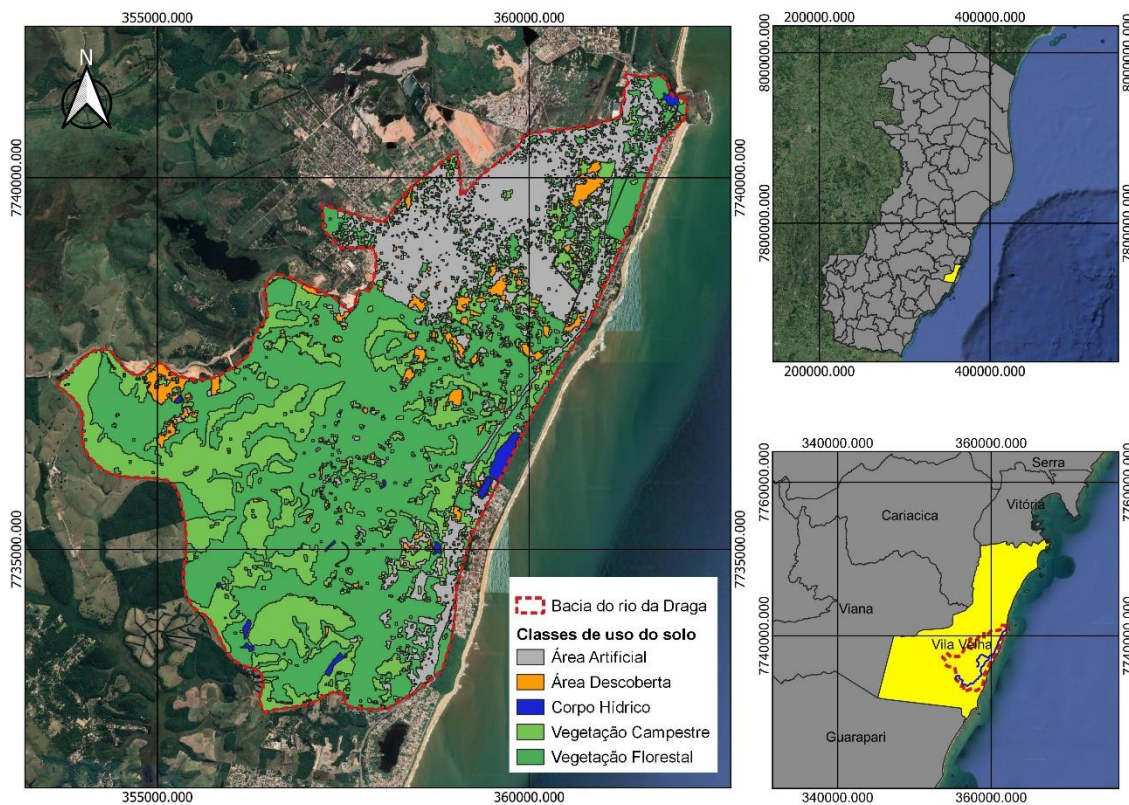
Figura 14 – Seção batimétrica 66 – Córrego do Congo (PDAU – RMGV)



4.2.2. Uso e ocupação do solo

O estudo de Uso e ocupação do solo do PDAU – RMGV foi desenvolvido para o ano de 2020, através da classificação supervisionada de imagens de satélite disponibilizadas pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) com resolução de 0,5 m para o ano de 2020, baseando-se nas classes baseadas na Nota Técnica nº 46/2018 / SPR da ANA. A Figura 15 apresenta o resultado da classificação supervisionada para a bacia do Rio da Draga, onde percebe-se que a região próxima ao exutório da bacia é urbanizada, diferente da região das cabeceiras, onde há o predomínio de vegetação.

Figura 15 – Uso do solo. (PDAU – RMGV)

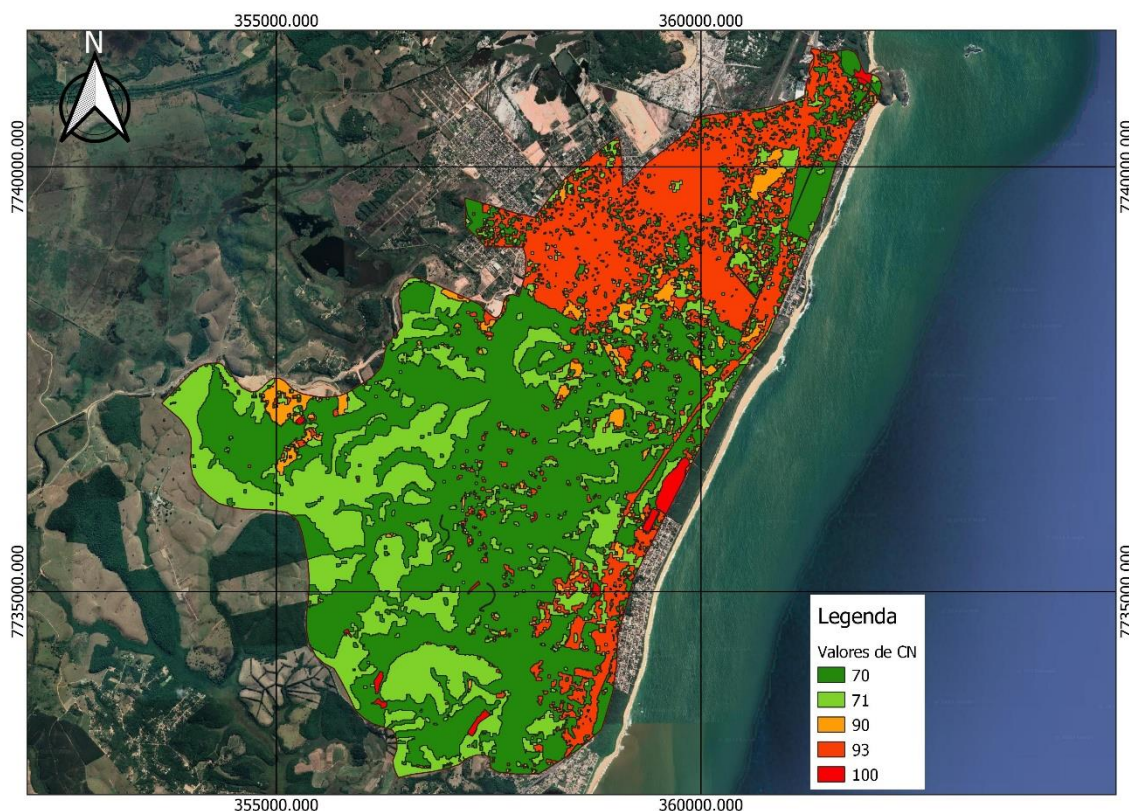


4.2.3. Curve Number

O Curve Number (CN) é um coeficiente empírico adimensional utilizado pelo Soil Conservation Service (SCS) em estudos hidrológicos, objetivando a determinação da capacidade do solo em gerar escoamento superficial. O CN depende de duas informações cruciais para sua quantificação: da pedologia e do tipo de uso do solo. Cruzando as duas informações, se obtém um valor que varia de 0 a 100, onde valores maiores representam solos mais impermeáveis e valores menores solos mais permeáveis. (PDAU – RMGV, 2023)

O PDAU-RMGV desenvolveu o estudo de curve number utilizando a base pedológica indicada na Nota Técnica nº 46/2018/SPR da ANA (2018), o resultado pode ser visto na Figura 16 a seguir.

Figura 16 – Curve Number.



(PDAU – RMGV)

4.2.4. Caracterização do evento pluviométrico de calibração

O PDAU – RMGV realizou a calibração de evento pluviométrico ocorrido entre 01 e 02 de março de 2020, utilizando os dados pluviométricos locais e realizando uma comparação visual entre a mancha de inundação gerada pela modelagem e as manchas de inundação fornecidas por diferentes fontes de informação tais como: Planos Diretores Municipais de Macrodrenagem, Planos Municipais de Saneamento Básico, Cartas de Suscetibilidade à Inundações do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e imagens aéreas do Google Earth.

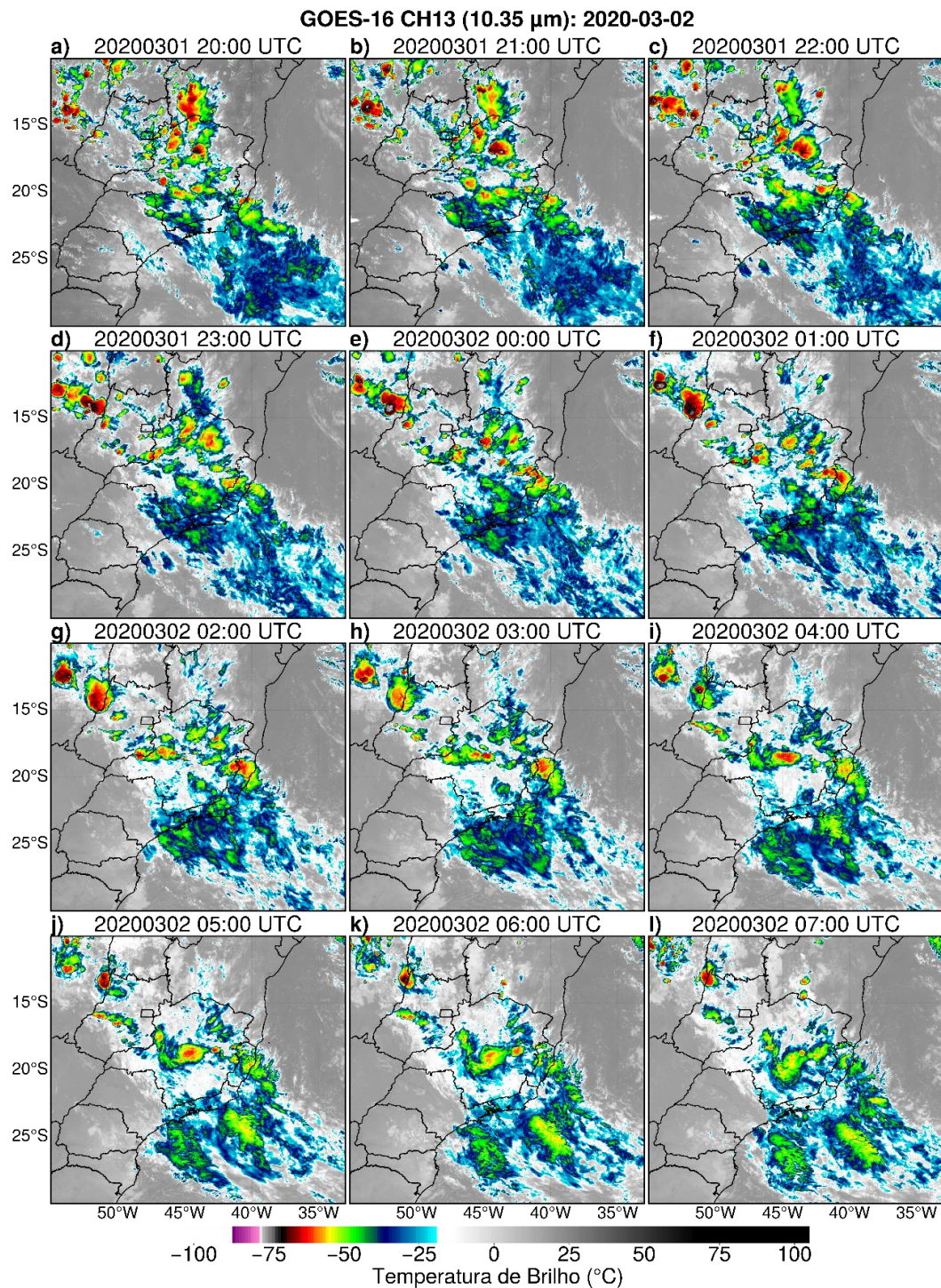
Segundo LEITE *et al.* (2022), que caracterizou o referido evento utilizando dados de pluviômetros na região de interesse e dos dados do radar meteorológico de Santa Teresa – ES, durante o período analisado houve a atuação de um sistema convectivo na região que se deslocou no sentido sudeste, da região norte de Minas Gerais, para o trecho compreendido entre

o litoral norte do estado de São Paulo até o norte do litoral do estado do Espírito Santo. O sistema apresentou baixas temperaturas (atingindo valores abaixo de -50°C), indicando a existência de nuvens com bastante gelo e alta probabilidade de chuva na área de estudo no dia 02/03/2020 às 03:00h (Figura 17 h).

Figura 17 – Imagens do satélite GOES-16 do canal infravermelho ($10,3\ \mu\text{m}$) entre o período de 01/03/2020

20:00 UTC e 02/03/2020 07:00 UTC.

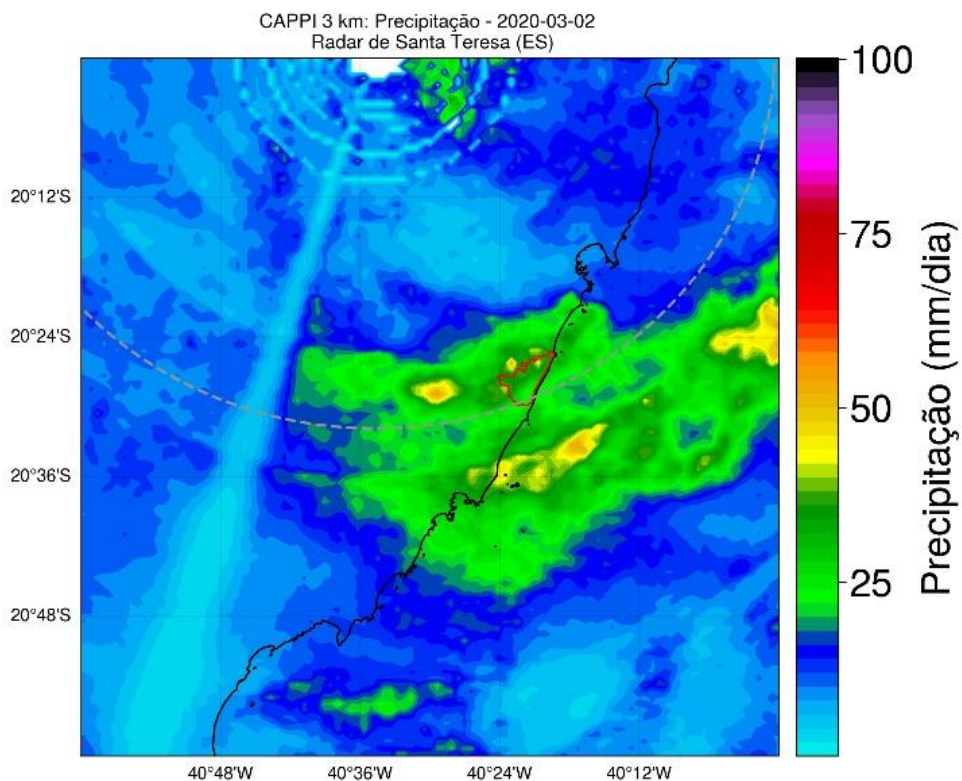
(LEITE *et al.* 2022)



A Figura 18 apresenta o CAPPI de 3 km de altura de precipitação acumulado para o dia 2 de março de 2020. Nota-se uma extensa área com alto (~ 40 mm/dia) acumulado de precipitação abrangente a região da bacia (região destacada em vermelho). Estes resultados indicando que toda a região estava sobre efeito de forte instabilidade atmosférica.

Figura 18 – Constant Plan Position Indicator (CAPPI) em 3 km de altura de precipitação (mm/dia) para o dia 02/03/2020. Em vermelho é representado o contorno da Bacia do Rio da Draga.

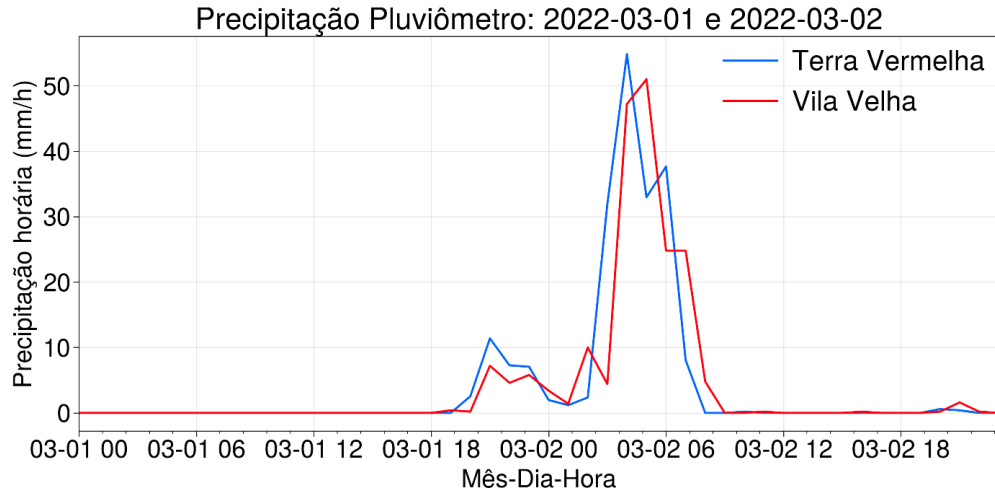
(LEITE *et al.* 2022)



Com a análise do histórico das estações pluviométricas Vila Velha – A634 (INMET) e Terra Vermelha – 320520006A (CEMADEN) foi possível verificar que os valores de altura da lâmina de chuva precipitada são relativamente semelhantes entre as estações, tendo registrado 172,1 mm/dia para a estação Terra Vermelha e 174,2 mm / dia para a estação Vila Velha. A precipitação média pelo método de Polígonos de Thiessen, foi de 172,8 mm.

Figura 19 – Precipitação horária entre os dias 1 e 2 de março de 2020 registrada nos pluviômetros de Terra Vermelha e Vila Velha.

(LEITE *et al.* 2022)

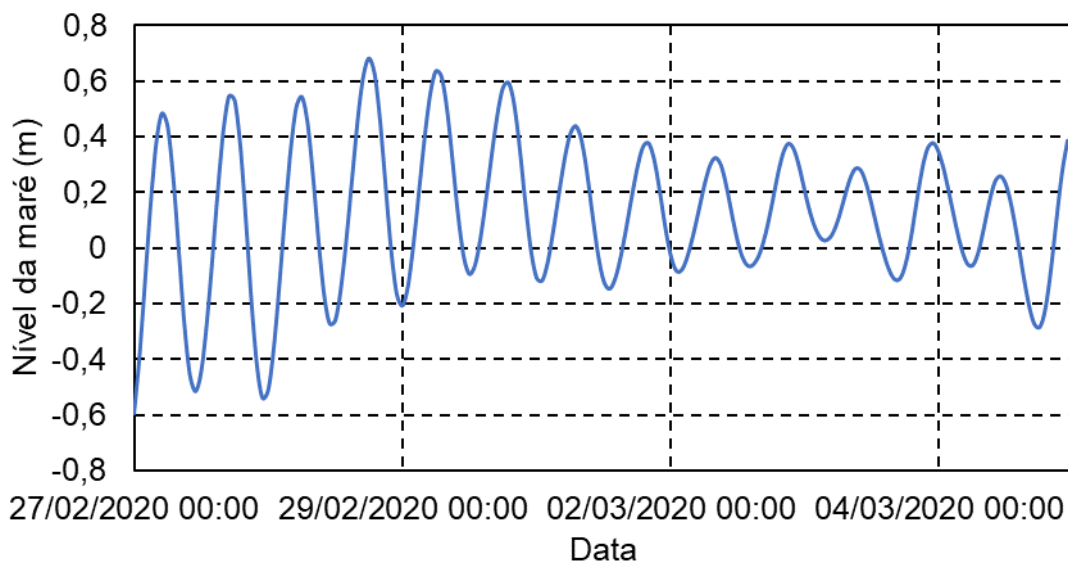


4.2.5. Estudo maregráfico

O PDAU-RMGV desenvolveu um estudo maregráfico, visando reproduzir o cenário de elevação do nível do mar no período de calibração e os cenários para condições máximas para determinado período de retorno.

No presente estudo, utilizou-se a previsão de marés para a região disponibilizado pelo PDAU-RMGV, para o período de estudo, conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Amplitude de maré no estuário do rio da Draga. (PDAU – RMGV)

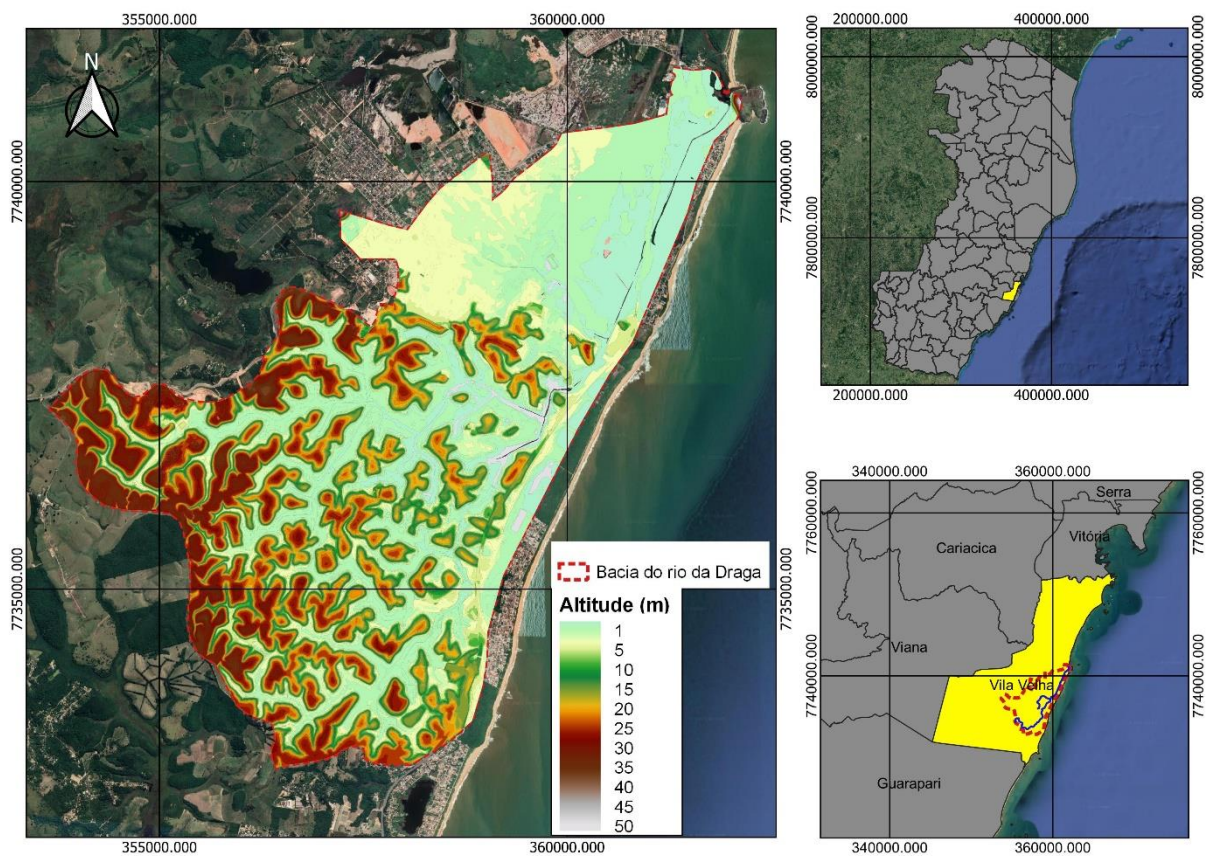


4.3. Dados públicos do IEMA

4.3.1. Topografia

A Figura 21 apresenta a Topografia de alta resolução, com 2 m de resolução espacial, disponibilizada na base de dados do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) no GEOBASES e utilizada no PDAU-RMGV e considerada no presente estudo.

Figura 21 – Topografia da bacia do Rio da Draga.



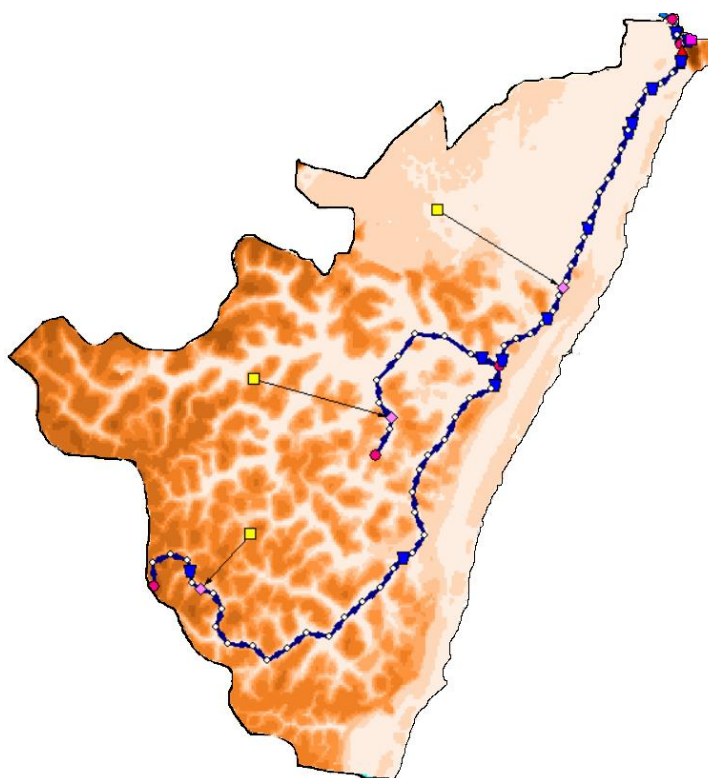
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Calibração do modelo

A calibração do modelo foi realizada através da simulação do evento crítico apresentado no item 4.2.4, ocorrido em março de 2020. A verificação da calibração do modelo, devido a falta de estações fluviométricas no corpo hídrico e indisponibilidade de imagens de satélite para o período do evento, foi feita através da análise de imagens de satélite de um evento crítico ocorrido em dezembro de 2013.

A Figura 22 apresenta a esquematização do modelo desenvolvido no software SOBEK.

Figura 22 – Modelo SOBEK desenvolvido.



A seguir, na Figura 23 é apresentada a mancha de inundação do evento ocorrido em 2013 que serviu para a calibração do modelo. Posteriormente, na Figura 24 é apresentado o resultado da simulação do evento de março de 2020 para o rio da Draga.

Figura 23 – Evento ocorrido no Rio da Draga em 2013.



Figura 24 – Resultado da simulação do evento de calibração.



Através dos resultados obtidos, foi possível verificar que as áreas registradas pela inundação ocorrida em 2013 são similares as da mancha de inundação do evento ocorrido em 2020, que possibilitou validar a modelagem realizada.

5.2. Cenário Pré-Desenvolvimento

O cenário pré-desenvolvimento desse trabalho foi simulado considerando as informações citadas anteriormente e utilizadas no PDAU-RMGV, simulando um evento crítico de tempo de recorrência de 25 anos, com altura de chuva de 195 mm discretizada pelo método Huff, e nesse trabalho considerou-se a maré registrada entre os dias 27 de fevereiro e 04 de março de 2020, que foi utilizada no evento de calibração.

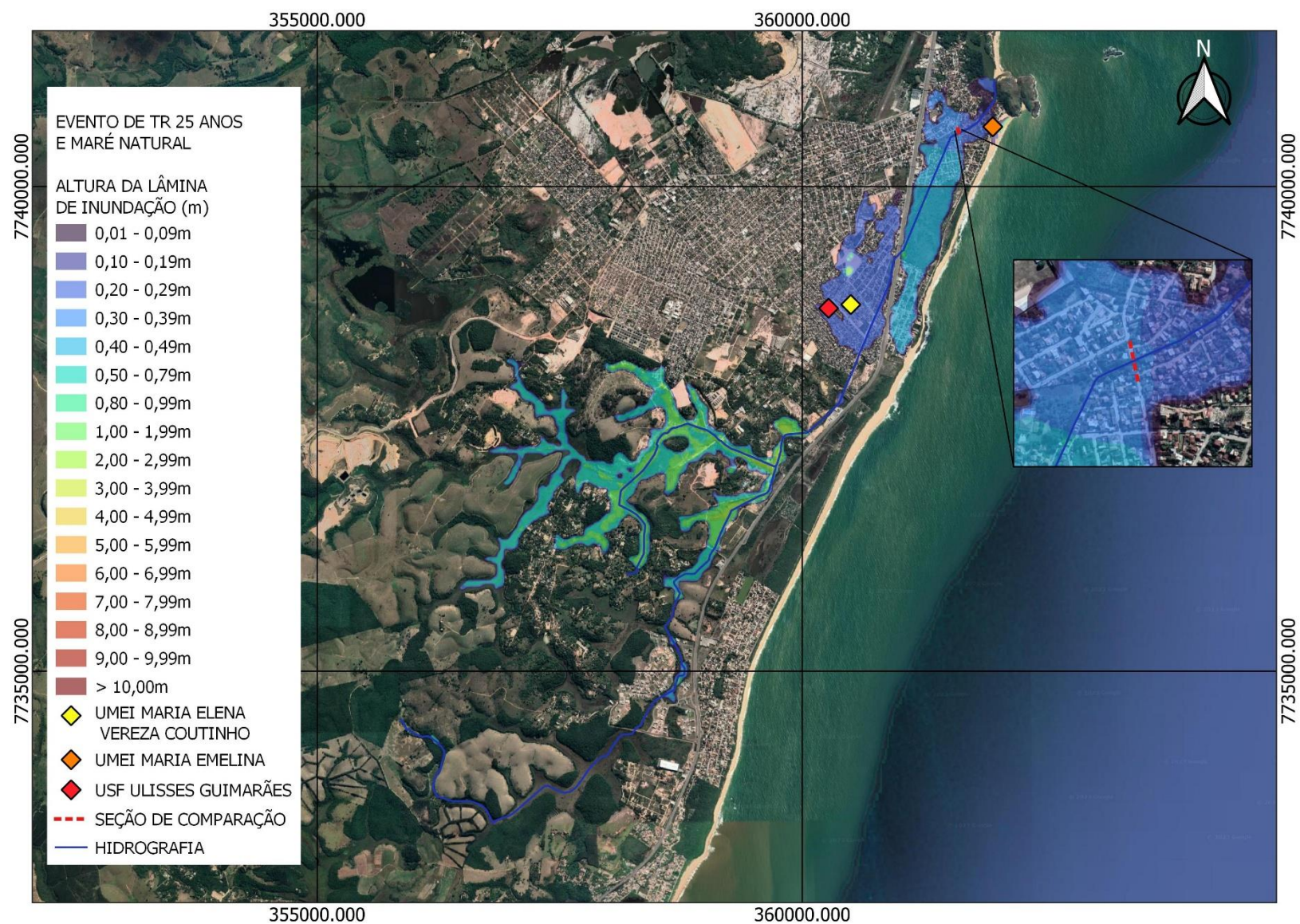
A Figura 25 apresenta a mancha de inundação do cenário prognóstico, onde as cores representam a altura da lâmina de inundação em metros.

Os resultados da simulação do cenário pré-desenvolvido demonstram que algumas áreas da bacia são diretamente impactadas pelo evento crítico de cheia, que atinge regiões não

urbanizadas a montante e áreas urbanizadas na região estuarina da bacia, sendo necessário implantar medidas visando eliminar as manchas de inundação.

Nesse cenário, a Unidade Municipal de Ensino Infantil (UMEI) Maria Elena Vereza Coutinho e Maria Emelina, bem como a Unidade de Saúde Familiar Ulisses Guimarães são atingidas pela mancha de inundação do evento crítico simulado.

Figura 25 – Mancha de inundação pré-desenvolvimento para a bacia do Rio da Draga.



A seguir é apresentada a mancha de inundação de calibração do evento de março de 2020 para o rio da Draga, onde é possível verificar que as áreas registradas pela inundação ocorrida em 2013 são similares as da mancha de inundação do evento ocorrido em 2020.

Figura 26 – Rio da Draga evento registrado (2013)



5.3. Cenário Pós-Desenvolvimento

O cenário pós-desenvolvimento considerado no presente estudo, se refere a simulação de um evento crítico de tempo de recorrência de 25 anos, considerando a maré natural, registrada para o mesmo período do evento de calibração, com a inserção de uma intervenção visando eliminar as manchas em áreas urbanas.

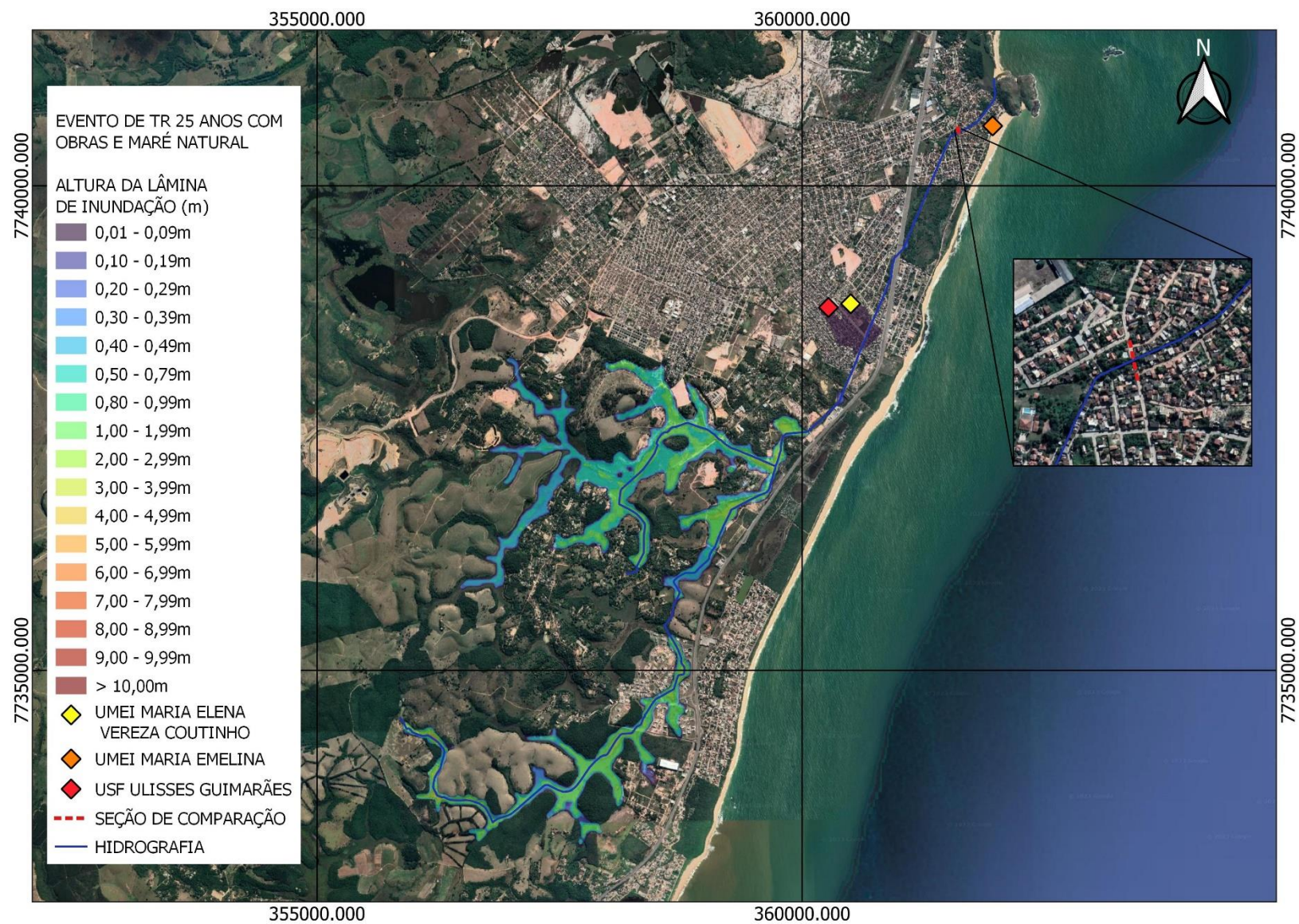
Para a bacia em estudo verificou-se que o aumento da condutividade no trecho urbano, através da limpeza e a regularização da calha em um trecho de aproximadamente 3.800 metros, diminui as manchas na área urbanizada. A intervenção proposta diminui o coeficiente de Manning de 0,05 para 0,02, compatível com revestimento de gabião, de acordo com a classificação de CHOW (1959).

A Figura 27 apresenta o resultado da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento.

Através dos resultados da simulação do cenário pós-desenvolvimento, é possível perceber que houve uma redução da área de inundação e da altura da lâmina inundada nas áreas remanescentes urbanizadas, demonstrando a eficiência da proposição para a bacia em estudo.

Além disso, nesse cenário, a UMEI Maria Emelina não é atingida pela mancha de inundação e a UMEI Maria Elena Vereza Coutinho bem como a Unidade de Saúde Familiar Ulisses Guimarães são atingidas pela mancha de inundação com lâminas de até 9 cm, inferiores a lâmina de 40 cm do cenário pré-desenvolvimento.

Figura 27 – Mancha de inundação para o cenário pós-desenvolvimento.



5.4. Resultados dos cenários com elevação de nível do mar

A partir do cenário pós-desenvolvimento, que reduziu a mancha de inundação na área urbana para o evento de TR 25 anos, considerou-se o aumento do nível do mar e, ou, eventos críticos de tempo de recorrência diferentes, visando avaliar o impacto do aumento do nível do mar nos sistemas de macrodrenagem.

Assim, foram simulados 4 cenários de eventos críticos considerando diferentes elevações do nível do mar:

- Cenário 01: simulação referente ao cenário pós-desenvolvimento, considerando a maré natural aumentada em 0,50 m. Esse cenário visa verificar o impacto do aumento do nível do mar na mancha de inundação do evento crítico usual para o dimensionamento de estruturas de macrodrenagem.
- Cenário 02: simulação referente ao cenário pós-desenvolvimento, considerando a maré natural aumentada em 1,0 m. Esse cenário visa verificar o impacto do aumento do nível do mar na mancha de inundação do evento crítico usual para o dimensionamento de estruturas de macrodrenagem.
- Cenário 03: simulação referente ao evento de tempo de recorrência de 10 anos, com 164,4 mm de altura de chuva, considerando a maré natural. Esse cenário visa verificar a mancha de inundação de um evento crítico de tempo de recorrência inferior ao usual para dimensionamento de estruturas de macrodrenagem;
- Cenário 04: simulação referente ao evento de tempo de recorrência de 10 anos considerando a maré natural aumentada em 1,0 m. Esse cenário visa verificar a mancha de inundação de um evento crítico inferior ao usual para dimensionamento de estruturas de macrodrenagem com o aumento do nível do mar.

A Figura 28 a seguir apresenta o resultado da simulação do cenário 01, referente ao evento de TR25 anos e maré aumentada em 0,5 m.

A Figura 29 a seguir apresenta o resultado da simulação do cenário 02, referente ao evento de TR25 anos e maré aumentada em 1,0 m.

A Figura 30 a seguir apresenta o resultado da simulação do cenário 03, referente ao evento de TR10 anos e maré natural.

A Figura 31 a seguir apresenta o resultado da simulação do cenário 04, referente ao evento de TR10 anos e maré aumentada em 1,0 m.

Figura 28 – Mancha de inundação para TR 25 anos e com maré aumentada em 0,50 m – Cenário 01.

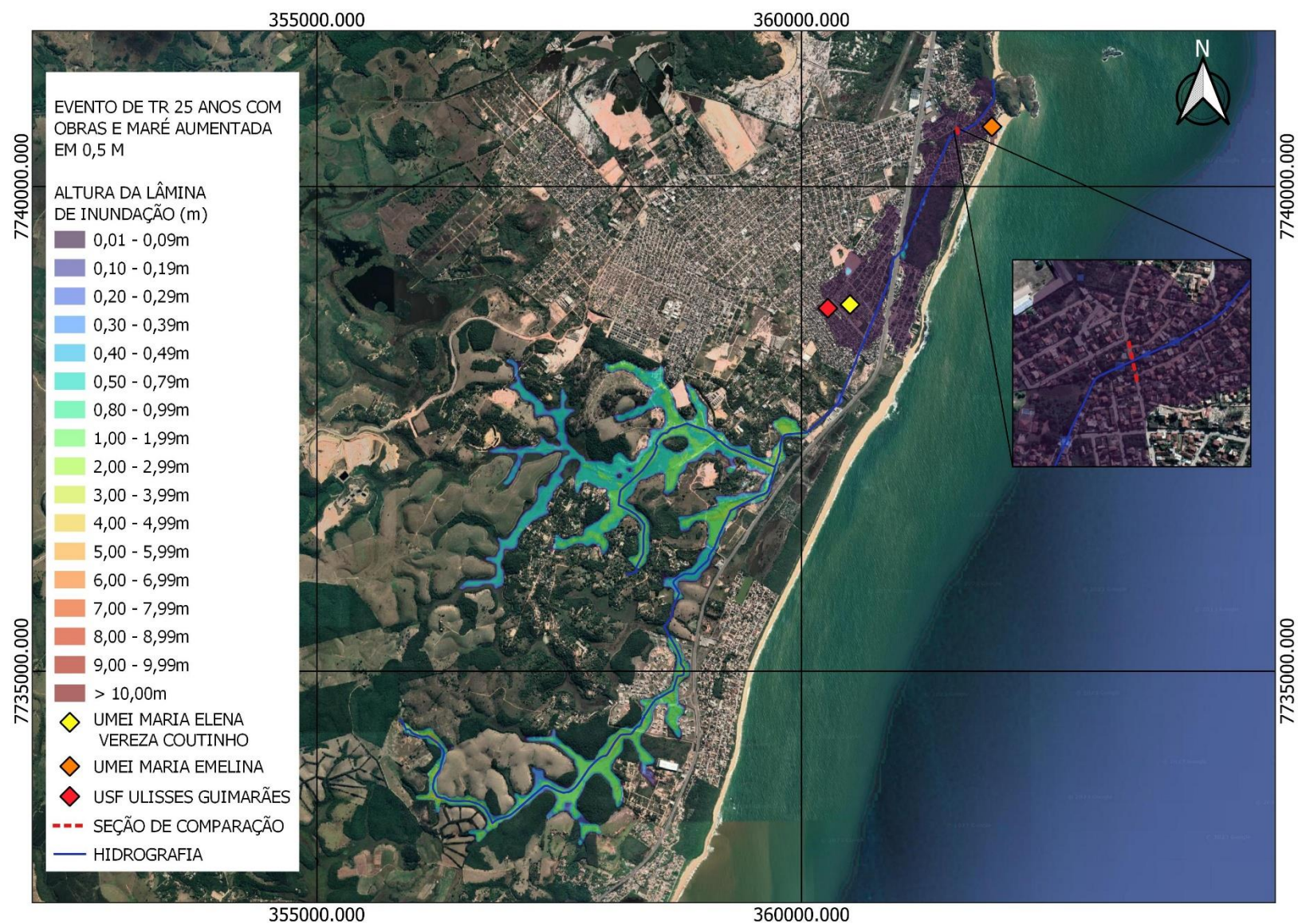


Figura 29 – Mancha de inundação para TR 25 anos e com maré aumentada em 1,0 m – Cenário 02.

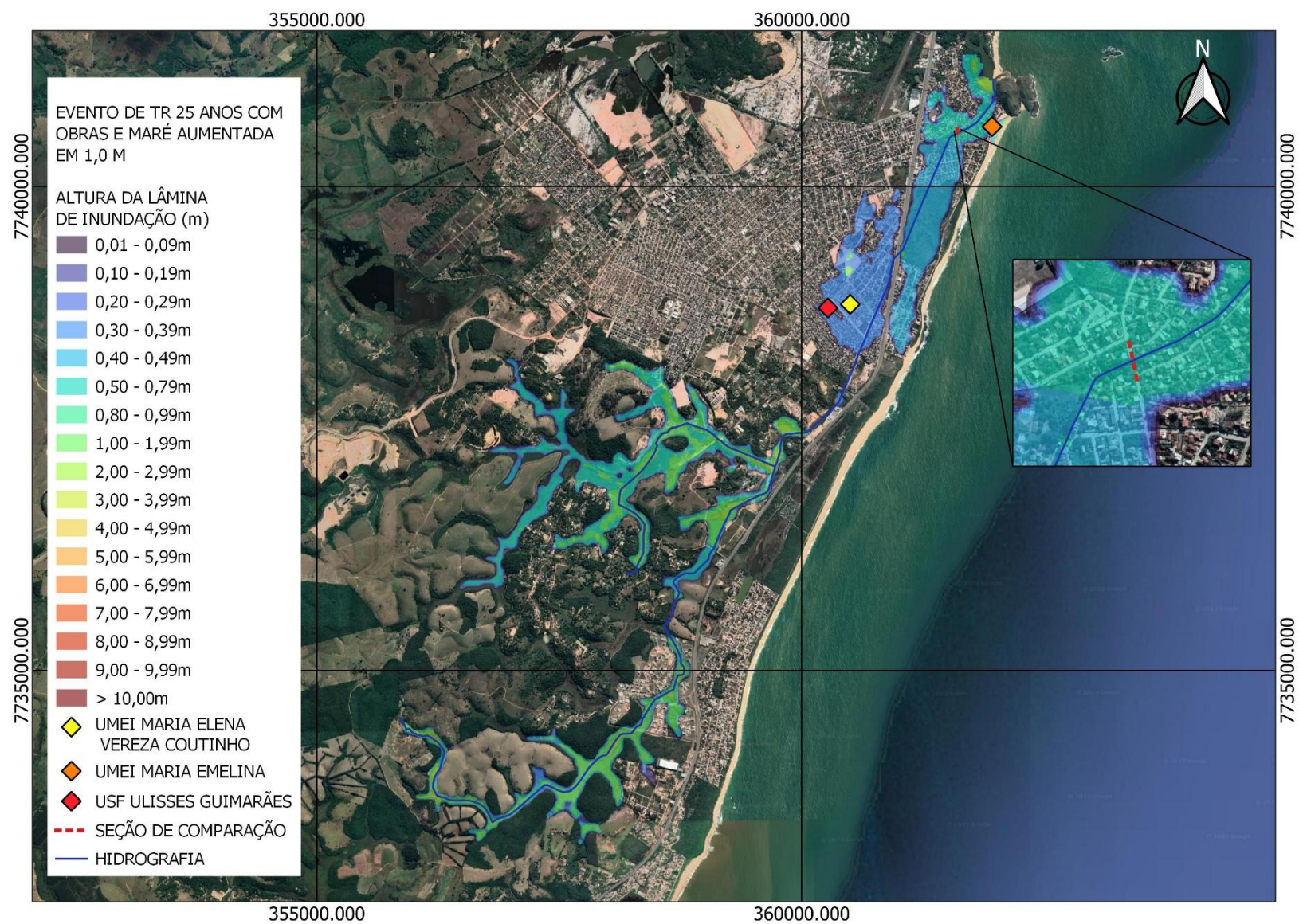


Figura 30 – Mancha de inundação para TR 10 anos e com maré natural – Cenário 03.

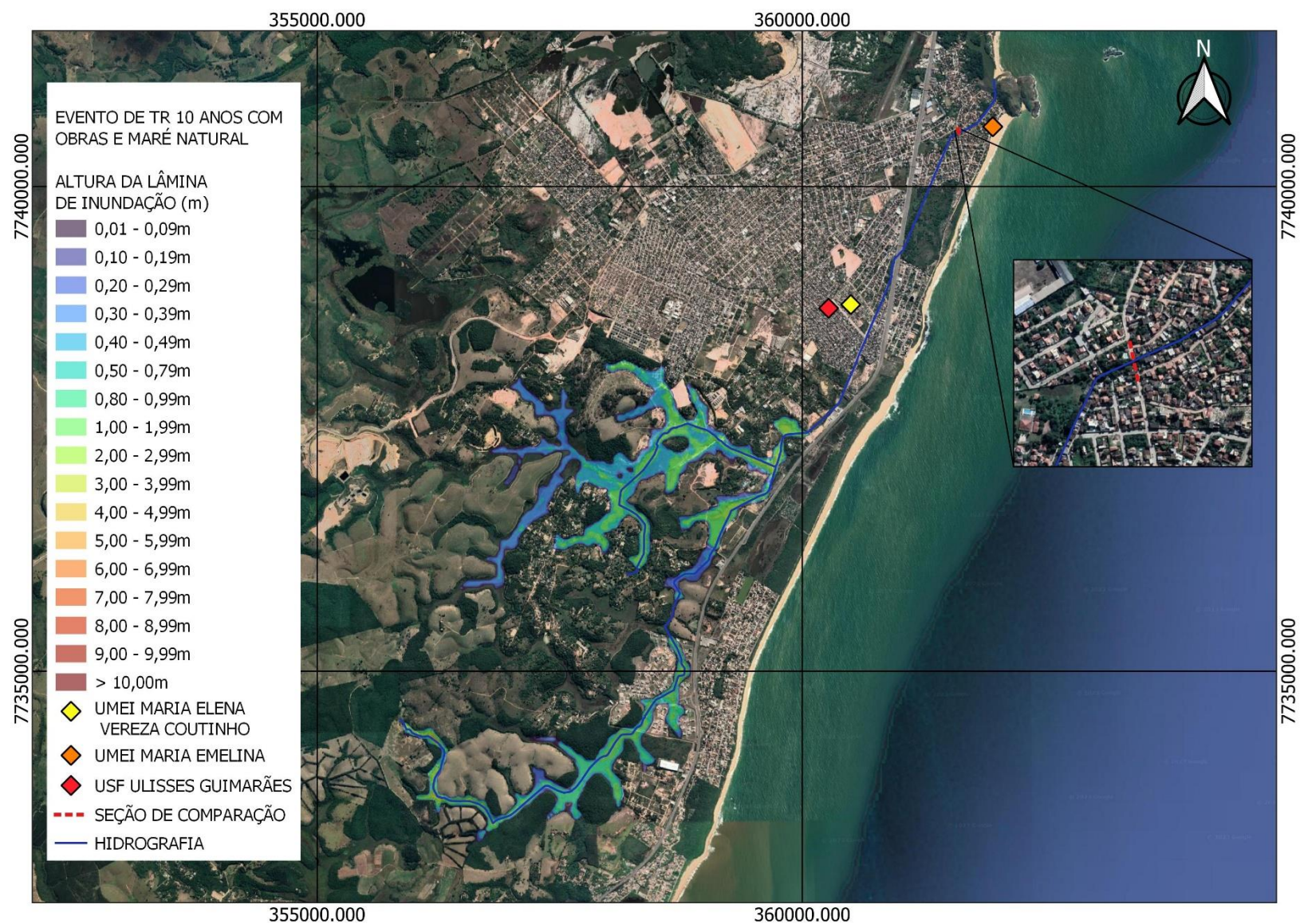
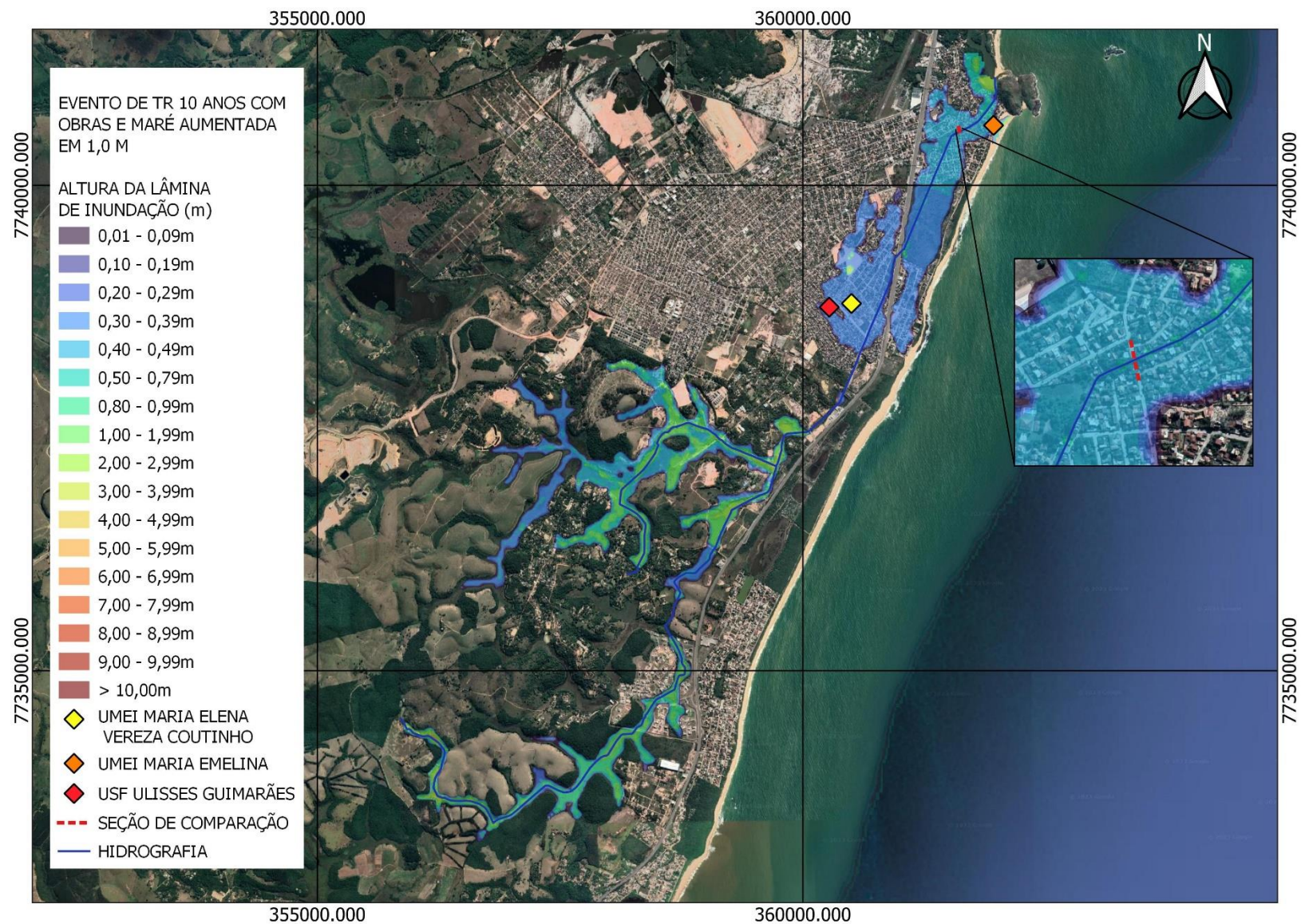


Figura 31 – Mancha de inundação para TR 10 anos e com maré aumentada em 1,0 m – Cenário 04.



A partir dos resultados apresentados anteriormente, verifica-se na Figura 28 que o aumento do nível do mar em 0,5m ocasiona o surgimento de manchas de inundação de até 9 cm na área urbanizada da bacia, enquanto na Figura 29 verifica-se que o aumento do nível do mar em 1,0 m resulta em manchas de maior altura na região urbanizada para o mesmo evento crítico, atingindo as UMEIS e a USF com lâminas de até 0,29 m e 0,69 m respectivamente.

A Figura 30 não apresenta manchas de inundação na área urbana, o que era esperado, tendo em vista que o evento simulado nesse cenário possui tempo de recorrência inferior para qual a obra inserida no cenário pós-desenvolvimento analisou para sua eliminação. Contudo, conforme é possível verificar na Figura 31, o evento de TR 10 anos aliado ao aumento do nível do mar de 1,0 m resulta em mancha similar as condições do cenário pré-desenvolvimento, ou seja, sem nenhum tipo de intervenção.

5.5. Análise comparativa

A seguir são apresentadas as comparações realizadas entre os cenários com elevação do nível do mar e o cenário base.

Comparação 01: análise comparativa entre o cenário 01, de tempo de recorrência de 25 anos e maré aumentada em 0,5 m em relação ao cenário pós-desenvolvimento.

Comparação 02: análise comparativa entre o cenário 02, de tempo de recorrência de 25 anos e maré aumentada em 1,0m em relação ao cenário pós-desenvolvimento.

Comparação 03: análise comparativa entre o cenário 04, de tempo de recorrência de 10 anos e maré natural em relação ao cenário pós-desenvolvimento.

Comparação 04: análise comparativa entre o cenário 04, de tempo de recorrência de 10 anos e maré aumentada em 1,0 m em relação ao cenário pós-desenvolvimento.

A Figura 32, a Figura 33, a Figura 34 e a Figura 35 a seguir apresentam o resultado das comparações 1,2,3 e 4 respectivamente.

Figura 32 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 01.

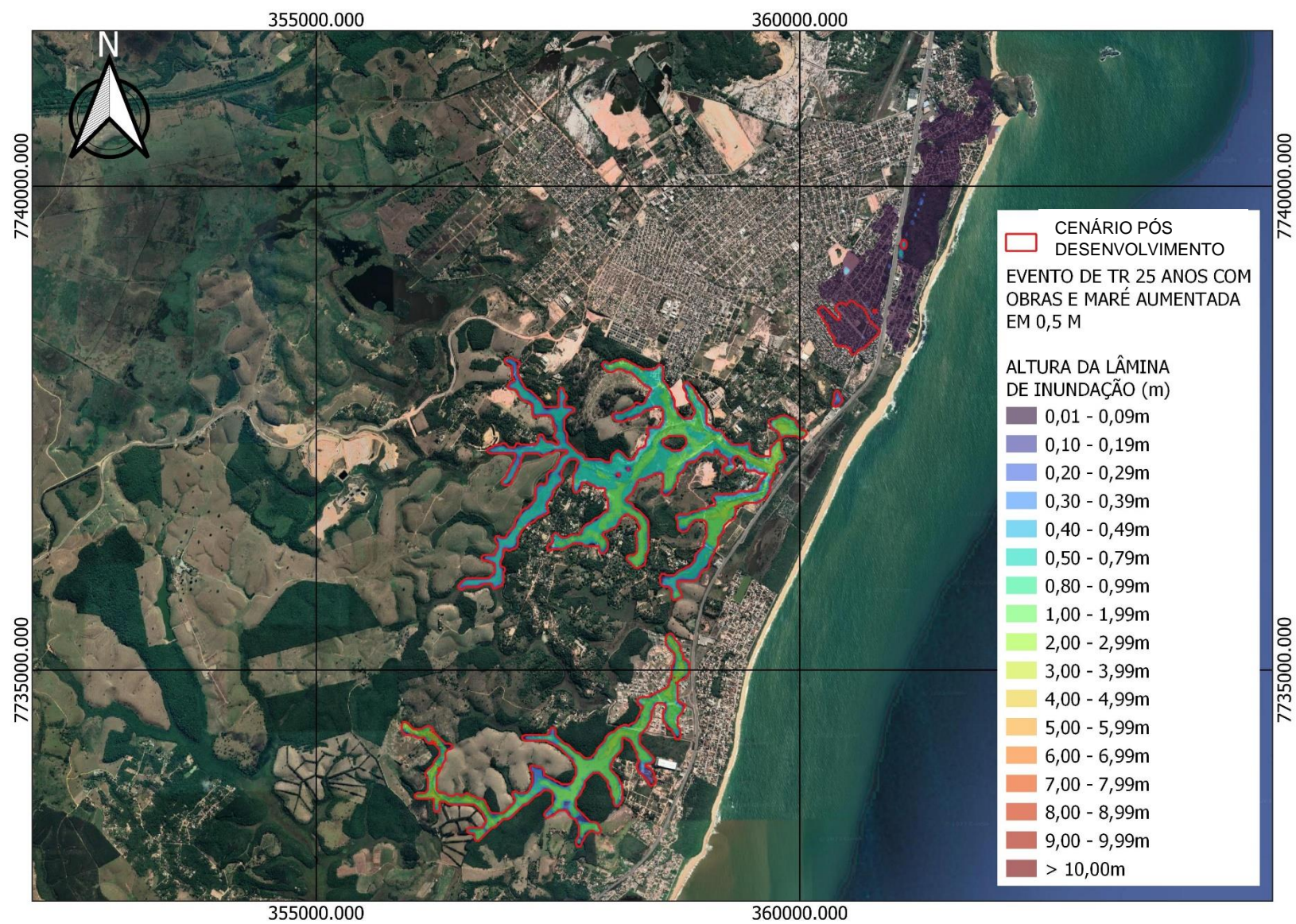


Figura 33 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 02.

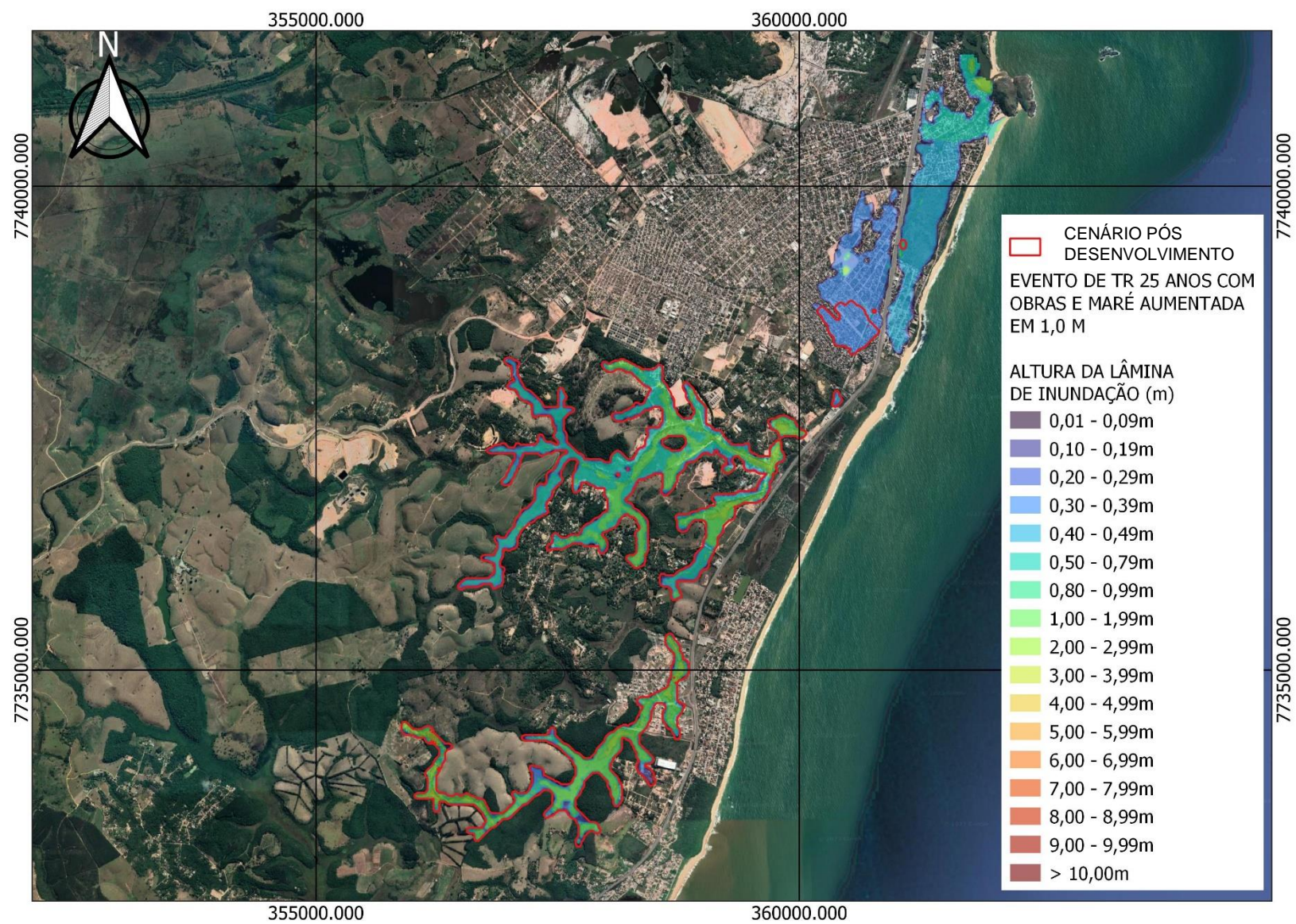


Figura 34 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 03.

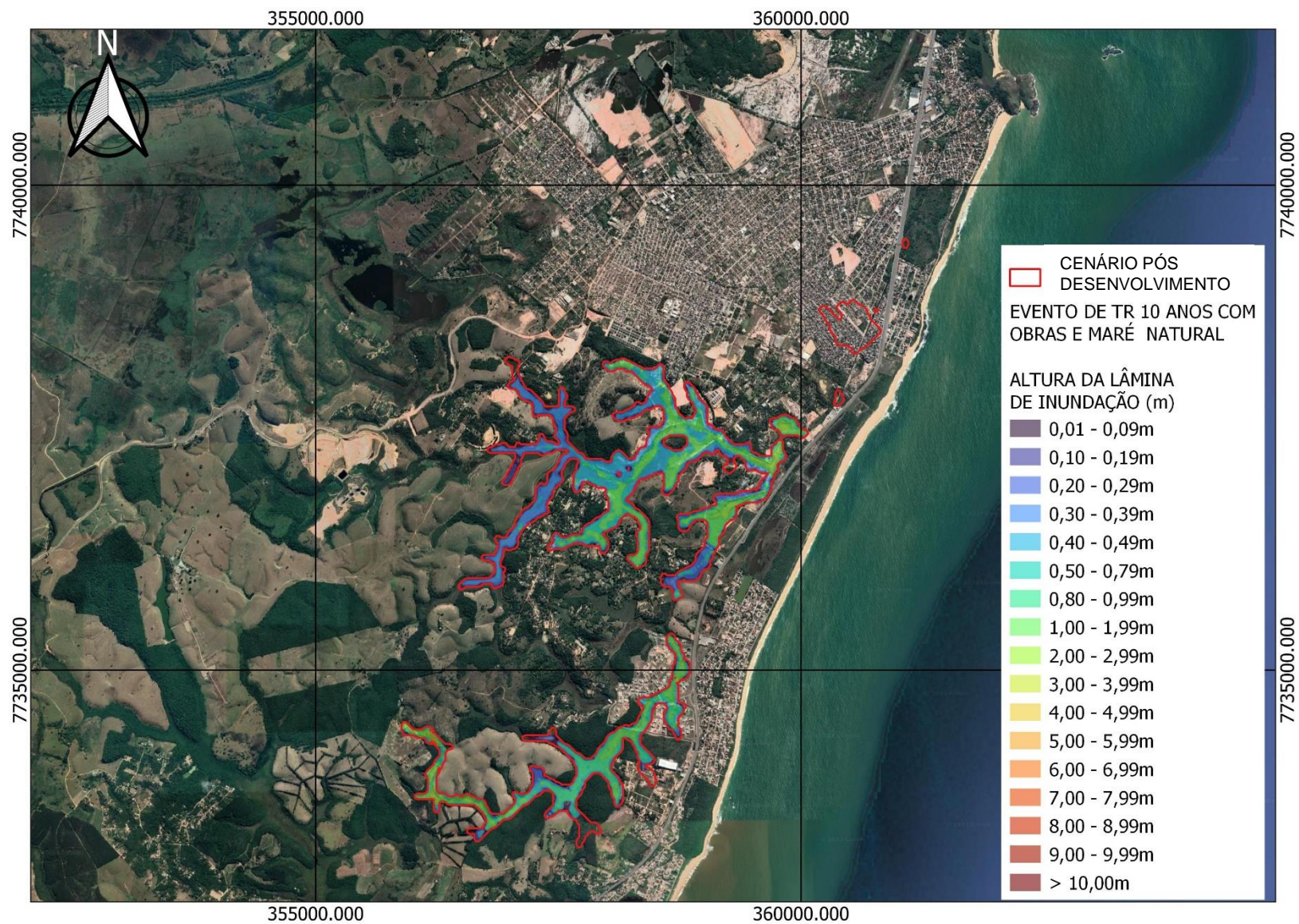
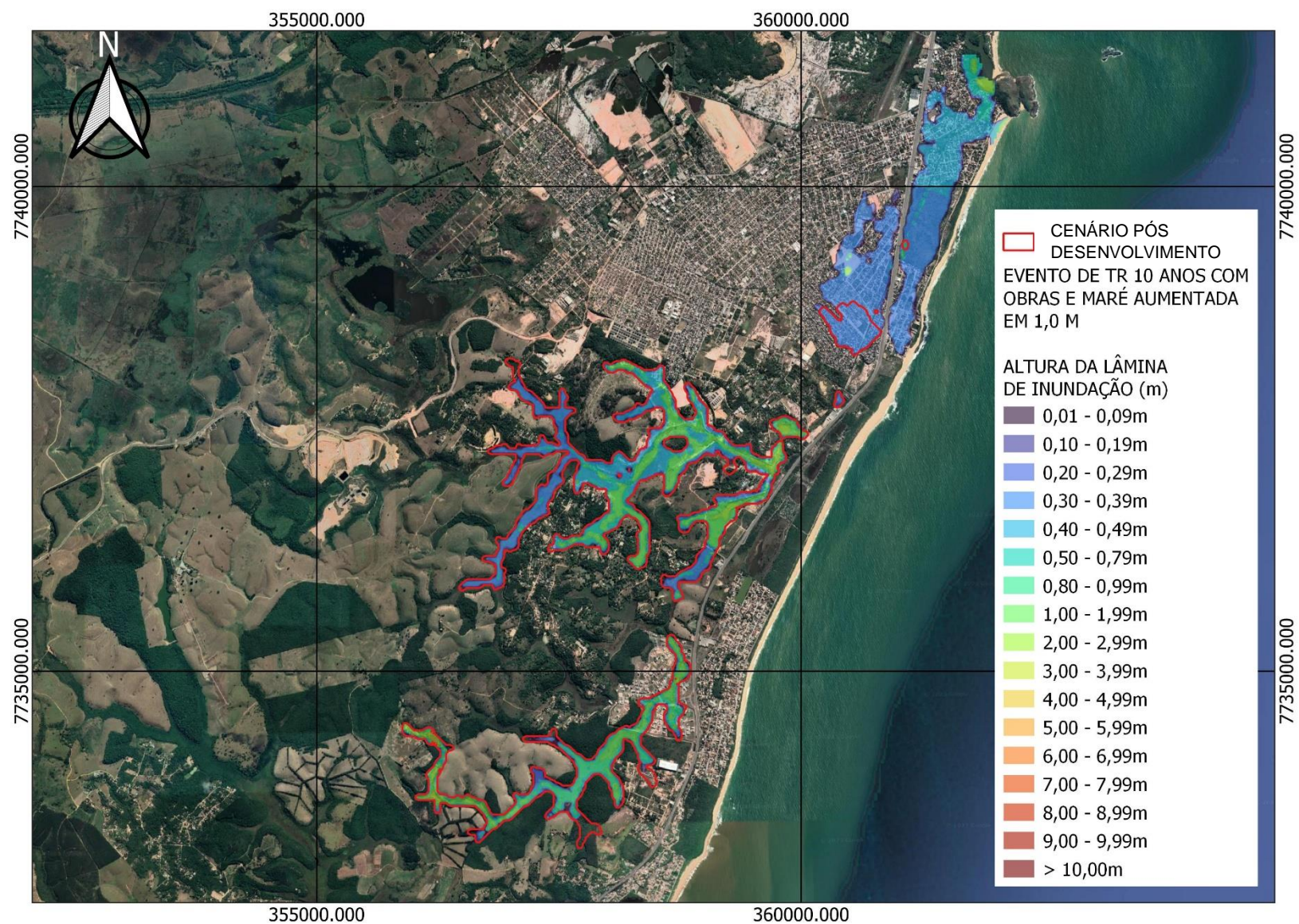


Figura 35 – Comparativo da mancha de inundação do cenário pós-desenvolvimento em relação ao cenário 04.



A Tabela 1 a seguir sintetiza as comparações apresentadas nas figuras anteriores, permitindo a visualização da diferença entre o cenário pós-desenvolvimento e os cenários simulados em relação a área da mancha de inundação e altura da lâmina máxima.

Tabela 1 – Comparação entre o cenário pós-desenvolvimento e os cenários simulados.

Parâmetro	Cenário Pós - Desenvolvimento	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
Área da mancha de inundação em região urbana (km ²)	0,19	1,62	1,95	0	1,94
População atingida estimada ²	432	3.560	4.338	0	4.316
Altura da lâmina máxima no ponto de referência (m)	0,10	0,10	0,80	0,00	0,50

¹Cenário Pós-Desenvolvimento: evento crítico de tempo de recorrência de 25 anos, maré natural, com aumento de condutividade da calha. Cenário 01: cenário pós-desenvolvimento, considerando a maré aumentada em 0,50 m. Cenário 02: cenário pós-desenvolvimento, considerando a maré aumentada em 1,00 m. Cenário 03: cenário com tempo de recorrência de 10 anos, considerando o aumento de condutividade e considerando a maré natural. Cenário 04: cenário com tempo de recorrência de 10 anos, considerando o aumento de condutividade e considerando a maré aumentada em 1,00 m.

²Com base na densidade demográfica de Vila Velha – ES, IBGE (2022).

Através dos resultados apresentados na Tabela 1, é possível verificar que a ocorrência de um evento de tempo de recorrência de 25 anos associado ao aumento do nível do mar de 0,50 m (cenário 01 - Figura 32) ocasiona um aumento expressivo na área de inundação em relação ao cenário pós-desenvolvimento de cerca de 7 vezes, com lâmina máxima no ponto de referência com 0,10 m de inundação, que não ocorrem no cenário pós-desenvolvimento.

Comparando-se o cenário 02 em relação ao cenário pós-desenvolvimento, é possível verificar que a ocorrência de um evento de tempo de recorrência de 25 anos associado ao aumento do nível do mar de 1,0 m (cenário 02 - Figura 33) resulta em um aumento de aproximadamente 9 vezes a área de inundação, com lâmina máxima no ponto de referência com 0,80 m de inundação, que não ocorrem no cenário pós-desenvolvimento.

Comparando-se o cenário 03 em relação ao cenário pós-desenvolvimento, é possível verificar que a ocorrência de um evento de tempo de recorrência de 10 anos sem aumento do nível do mar (cenário 03 - Figura 34) não resulta em inundação na área urbana.

Por fim, é possível verificar que a ocorrência de um evento de tempo de recorrência de 10 anos associado ao aumento do nível do mar de 1,0 m (cenário 04 - Figura 35) ocasiona um aumento expressivo na área de inundação em relação ao cenário pós-desenvolvimento de cerca de 9 vezes, com lâmina máxima no ponto de referência com 0,50 m de inundação, que não ocorrem no cenário pós-desenvolvimento.

Através das análises realizadas é possível verificar o impacto do aumento do nível do mar nas inundações em regiões costeiras, demonstrando o efeito direto dessa relação. A maré funciona como uma barreira impedindo o escoamento das águas interiores até o mar, elevando o nível para montante e resultando em inundações, trazendo prejuízos econômicos e sociais para a população afetada. Com o aumento do nível do mar, essa barreira possui um nível maior, reduzindo a capacidade hidráulica no exutório e conseqüentemente ocasionando o extravasamento da calha.

No âmbito do planejamento urbano, o plano diretor de macrodrenagem é um instrumento de gestão de longo prazo, com horizonte de projeto de algumas décadas, sendo assim está sujeito ao impacto das mudanças climáticas, sendo, portanto, um fator de análise necessário de ser realizado para o planejamento e eficiência do sistema de macrodrenagem.

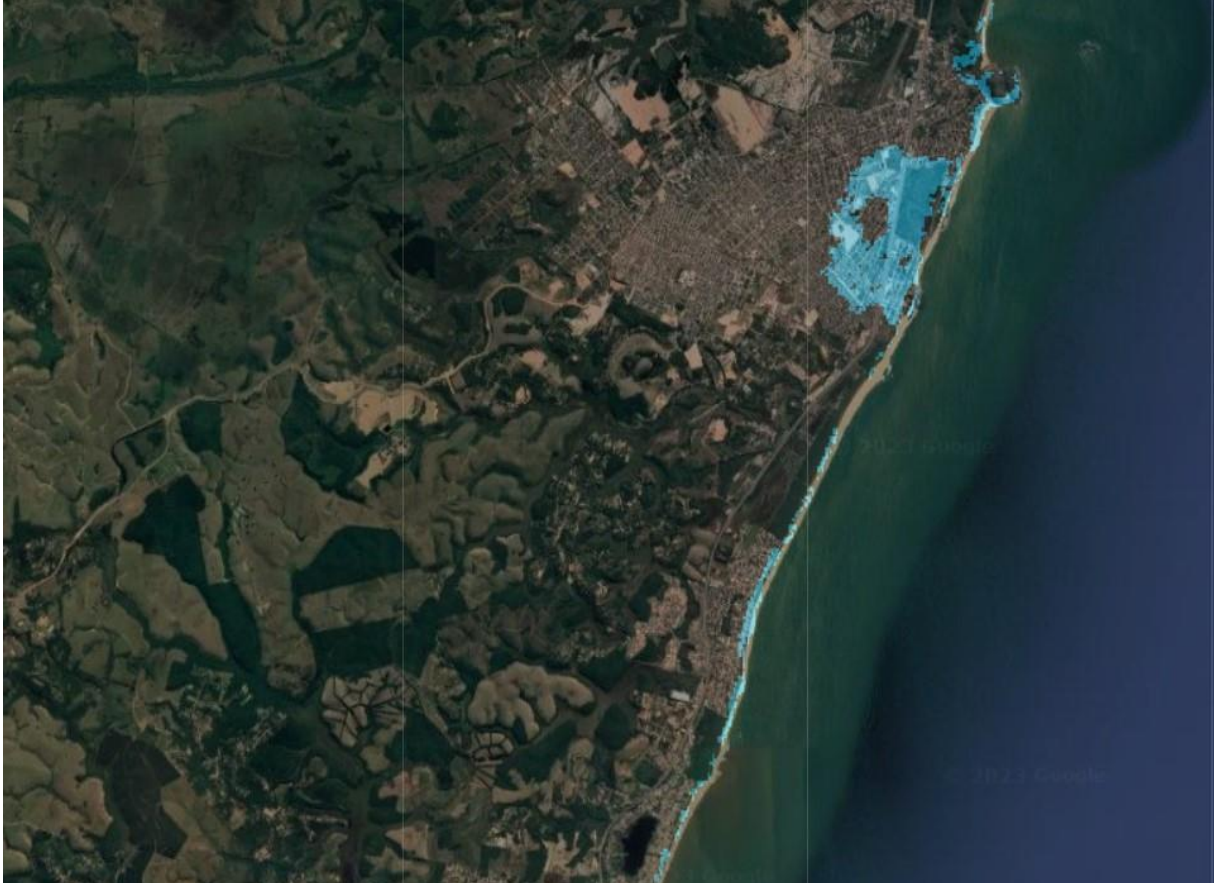
LEITE *et al.* (2022), apresentou um estudo com objetivo de verificar as modificações nos quantis de chuvas extremas ao longo do tempo, observando se as alterações ocorrem em regiões litorâneas e interiores, utilizando dados históricos de estações pluviométricas de estações situadas na região litorânea do estado do Espírito Santo e da região central do estado de Minas Gerais. Em sua análise evidenciou que os quantis de regiões litorâneas sofrem certa influência maior do que a que ocorre em regiões interiores, onde alguns quantis de TR 20 anos da região litorânea do Espírito Santo chegaram a aumentar em aproximadamente 13% em um período de 20 anos.

Essa análise apresentada por LEITE *et al.*, 2022, demonstra a existência de um aumento gradativo das chuvas extremas na região litorânea do estado do Espírito Santo, sendo um outro fator impactante no planejamento do sistema de macrodrenagem, além do aumento do nível do mar.

Climate Central (2023), apresenta em seu site um estudo em nível global a respeito das inundações em regiões costeiras, baseados em estudos e avaliações da topografia. A região do rio da Draga, nesse estudo, tem a perspectiva de ser inundada com o aumento do nível do mar em 0,50 m e tem a previsão de em 2030 apresentar áreas inundadas ainda maiores, considerando

que nesse período o aumento do nível do mar seja de 1,0 m, conforme apresentado na Figura 36.

Figura 36 – Mancha de inundação referente ao aumento do nível do mar em 1,0 m na região do Rio da Draga (Climate Central, 2023).



Apesar de que a metodologia utilizada pelo Climate Central não considere a ocorrência de um evento pluviométrico extremo, verifica-se que o aumento do nível do mar será responsável por inundar áreas urbanas da bacia do rio da Draga mesmo quando não associado a um evento crítico. Além disso, verifica-se que o aumento do nível do mar considerado no estudo aqui desenvolvido de 1,0 m, de acordo com o Climate Central, acontecerá em meados de 2030, ou seja, um período inferior ao horizonte de projeto do PDAU-RMGV que foi avaliado para o ano de 2040.

6. CONCLUSÃO

A elaboração de Planos Diretores de Macrodrenagem traz inúmeros benefícios à população em geral, permitindo um planejamento e intervenções que visam reduzir os impactos econômicos, ambientais e sociais ocasionados pelas inundações. Entretanto, conforme discutido, existe uma lacuna metodológica para a análise do impacto do aumento do nível do mar nos sistemas de macrodrenagem litorâneos. Para o desenvolvimento de Planos Diretores de Macrodrenagem em regiões litorâneas é fundamental que após a simulação do cenário com as intervenções propostas sejam realizadas simulações considerando o aumento do nível do mar, visando verificar a eficiência das obras frente as alterações de nível.

O objetivo principal do trabalho que é desenvolver uma metodologia para a elaboração de Planos Diretores de Macrodrenagem em Zona Costeira, através da análise do Termo de referência para elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas – Ministério das Cidades (2011) e Planos Diretores de Macrodrenagem desenvolvidos em zonas costeiras foi alcançado através das simulações realizadas para uma bacia hidrográfica situada no estado do Espírito Santo, em sua região litorânea, utilizando o software SOBEK. A falta de uma metodologia de análise do impacto do aumento do nível do mar no desenvolvimento dos planos diretores em regiões litorâneas pode trazer falhas de execução das análises e obras ineficientes. O desenvolvimento de simulações de aumento do nível do mar possibilita um planejamento diferenciado da bacia, onde o aumento do nível do mar ao longo do horizonte de projeto já seja previsto e analisado com antecedência.

Com base nos resultados obtidos recomenda-se a adoção de algumas práticas no desenvolvimento de Planos Diretores de Macrodrenagem em regiões Costeiras:

- Deve-se realizar a caracterização hidrológica dos eventos críticos registrados utilizando dados de radares meteorológicos na região de estudo, visando verificar a distribuição e comportamento dos eventos;
- Deve-se realizar um estudo maregráfico considerando as máximas marés astronômicas e meteorológicas visando determinar a elevação do nível do mar. Deve-se utilizar as séries históricas de monitoramento do nível do mar e realizar uma análise e frequência dessas elevações visando obter os quantis de nível para cada período de retorno;

- Deve-se analisar informações a respeito do aumento do nível do mar na região de estudo, verificando tendências em relação ao horizonte de projeto, simulando esses aumentos;
- Deve-se realizar na etapa de estudo hidrológico a análise da modificação dos quantis de chuvas extremas ao longo do tempo, com o objetivo de verificar a diferença absoluta e percentual da altura de chuva entre os mesmos períodos de retorno para diferentes períodos de dados, verificando assim se há uma tendência de aumento da frequência e altura das precipitações extremas.

Para desenvolvimento futuro, recomenda-se a repetição da análise para outras regiões litorâneas, verificando se o aumento do mar refletirá em inundações costeiras ou não terá o mesmo nível de impacto obtido no presente estudo. Além disso recomenda-se a elaboração de uma minuta para a revisão do Termo de Referência para elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011), com as boas práticas apresentadas no presente estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério das Cidades – Termo de Referência para Elaboração de Plano Diretor de Águas Pluviais Urbanas. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br>>. Acesso em: 22 de fev. 2023.

BURIAN, S. J.; EDWARDS, F. G. Historical Perspectives of Urban Drainage. **Global Solutions for Urban Drainage**, [s.n], 2012.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, São Paulo, 2.ed. 2014.

CLIMATE CENTRAL. Researching and communicating climate change impacts and solutions. Disponível em: <<https://www.climatecentral.org/>>. Acesso em: 05 de jun. 2023.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 17., 2007, São Paulo. **Anais**.

GARCIA, L.; GOMEZ, J. B.; ESCOBAR, E.; TÉLLEZ, D.; QUIJANO, N.; MARTINEZ, C.O. Modeling and real-time control of urban drainage systems: A review. **Advances in Water Resources**, v.85, [s.n], p. 120 – 132, 2015.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Geobases – Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br/>>. Acesso em: 20 de fev. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana de Vitória – PDAU – RMGV. Disponível em: <[https://sedurb.es.gov.br/pdau#:~:text=O%20Plano%20Diretor%20de%20%C3%81guas,Vit%C3%B3ria%20\(COMDEVIT\)%2C%20atrav%C3%A9s%20das](https://sedurb.es.gov.br/pdau#:~:text=O%20Plano%20Diretor%20de%20%C3%81guas,Vit%C3%B3ria%20(COMDEVIT)%2C%20atrav%C3%A9s%20das)> Acesso em: 22 de fev. 2023.

LEITE, P. A. C.; SILVA, A. P. M.; MATTOS, E. V.; Análise de frequência de eventos extremos: alterações nos quantis ao longo do tempo. *In: SEMINÁRIO DO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA*, 2022, Itajubá – MG.

LEITE, P. A. C.; SILVA, A. P. M.; MATTOS, E. V.; Caracterização da precipitação através de radar meteorológico e pluviômetro para um evento pluviométrico no Rio da Draga em Vila Velha - Es. *In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 2023, Florianópolis. **Anais**.

LEITE, P. A. C.; SILVA, A. P. M.; MATTOS, E. V.; Drenagem Urbana e o desenvolvimento das civilizações: uma revisão. *In: SEMINÁRIO DO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA*, 2021, Itajubá – MG.

LUMBROSO, D.; BROWN, E.; RANGER, N. Stakeholders' perceptions of the overall effectiveness of early warning systems and risk assessments for weather-related hazards in Africa, the Caribbean and South Asia. **Natural Hazards**, [s.n], 1–24, 2016.

MANER, A. Public works in ancient Mesopotamia. *Civil Engineering*, v. 36, n. 7, p. 50-51, 1966.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ABRIZZI, T.; YOUNG, A. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. *Anais da Academia Nacional de Ciências de Nova Iorque*, 2020.

MARQUES, C. E. B.; **Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2006.

MATOS, José de Saldanha. Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano, **Engenharia Civil UM**, n. 16, p. 13-23, 2003.

MIGUEZ, M. G.; FERNANDES, L. C.; AZEVEDO, J. P. S.; MAGALHÃES, L. P. C.; Vulnerabilidades da infraestrutura de drenagem urbana e os efeitos das mudanças climáticas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *In: Nobre, C.; Young, A.; Gusmão, P. P. (Org.). Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro: INPE/UNICAMP/ UFRJ. pp. 123-144

PARKINSON, J. et. al. Drenagem Urbana Sustentável no Brasil. Relatório do workshop em Goiânia – GO. 7 de maio de 2003. Goiânia: CREA, 2003.

SOUZA, V. C. B.; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. Déficit na drenagem Urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v.1, n.2, p.162-175, 2013.

TANG, Y. T.; CHAN, F. K. S.; O'DONNELL, E. C.; GRIFFITHS, J.; LAU, L.; HIGGITT, D. L.; THORNE, C.R. Aligning ancient and modern approaches to sustainable urban water management in China: Ningbo as a “Blue – Green City” in the “Sponge City” campaign. **Flood Risk Management**, v. 11, 2018.

TAZEN, F.; DIARRA, A.; KABORE, R. F. W.; IBRAHIM, B.; BOLOGO, M.; TRAORÉ, K.; KARAMBIRI, H. Trends in flood events and their relationship to extreme rainfall in an urban area of Sahelian West Africa: The case study of Ouagadougou, Burkina Faso. **Journal of Flood Risk Management**, v.12, [s.n], 2018.

TSUTIYA, M. T.; VOLSCHAN, I.; MARTINS, R. H. O.; YAZAKI, L. F. O. Sistema Unitário x Sistema Separador Absoluto. **Revista DAE**, São Paulo, v. 180, n. 1708, 2009.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: **TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BASTOS, M. T. Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

VILLANUEVA, A. O. N. et al. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina - Rega**. v. 8, n. 1, p. 5-18, 2011.

WEBSTER, C. The sewers of Mohenjo-Daro. **Water Pollution Control Federation**, v. 34, n. 2, p. 116-123, 1962.