

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LARISSA DE SOUSA WAICZYK

**MODELAGEM HIDROLÓGICA-HIDRODINÂMICA PARA ANÁLISE DE
INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO CACHOEIRA (JOINVILLE/SC) EM CENÁRIOS
DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

JOINVILLE

2026

LARISSA DE SOUSA WAICZYK

**MODELAGEM HIDROLÓGICA-HIDRODINÂMICA PARA ANÁLISE DE
INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO CACHOEIRA (JOINVILLE/SC) EM CENÁRIOS
DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil no Centro de Ciências
Tecnológicas (CCT), da Universidade do
Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Romero
Monteiro

Coorientador: Me. João Luiz da Rocha
Borin

JOINVILLE

2026

LARISSA DE SOUSA WAICZYK

**MODELAGEM HIDROLÓGICA-HIDRODINÂMICA PARA ANÁLISE DE
INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO CACHOEIRA (JOINVILLE/SC) EM CENÁRIOS
DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil no Centro de Ciências
Tecnológicas – CCT, da Universidade do
Estado de Santa Catarina - UDESC.
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Romero
Monteiro
Coorientador: Me. João Luiz da Rocha
Borin

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Romero Monteiro

Orientador | Professor Associado pela Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

Dra. Franciele Maria Vanelli

Membro externo | Pós-doutoranda pela Universidade do Estado de Santa Catarina

Dra. Virgina Grace Barros

Membro interno | Professora Associada pela Universidade do Estado de Santa Catarina

Joinville, 16 de Abril de 2026.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Francine e Cleomir, que, sob muito sol, possibilitaram que eu chegasse até aqui, na sombra. À melhor irmã do mundo, Helena, que sempre esteve ao meu lado, dividindo pesos que muitas vezes nem eram seus - Seremos sempre eu, você e o mar. Obrigada por estarem ao meu lado todos os dias, por acreditarem em mim e, principalmente, por me acolherem nos momentos mais difíceis. Sem vocês, nada disso seria possível.

Agradeço também àquele que conheci no início desta trajetória e que, desde então, nunca soltou a minha mão. Thallys, obrigada por ser o melhor namorado e parceiro que eu poderia ter. Você caminhou comigo desde o primeiro semestre. Juntos, sonhamos e conquistamos cada etapa da graduação, e hoje celebramos mais essa vitória, lado a lado.

Expresso minha sincera gratidão ao meu orientador e coorientador, Leonardo Romero Monteiro e João Luiz da Rocha Borin. Vocês foram muito além das minhas referências em formato ABNT e da orientação acadêmica, foram fonte de incentivo constante para evoluir e a buscar o meu melhor. Levo comigo não apenas os ensinamentos, mas também a amizade construída ao longo dessa caminhada.

Agradeço de forma especial a todas as pessoas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, inclusive em etapas que não foram apresentadas nesta versão final: Kaell Fonseca Bortolo, Mailon Roversi, Fernanda da Silva e Fábio Bernardi. A participação de vocês foi muito importante.

Sou muito grata também aos amigos que encontrei ao longo dessa jornada, em especial Luis Eduardo Borges, João de Melo Petronílio, Lucas Cieslinski e Karol Rocha Araújo, que estiveram ao meu lado compartilhando cada etapa, desde as provas mais difíceis aos trabalhos intermináveis, das listas extensas às noites em claro, das conquistas aos desabafos nos corredores, sempre acompanhados de palavras de incentivo, sorrisos e risadas. Estendo meu agradecimento aos amigos de longa data, em especial à Victória Rodrigues Lopes Pereira, que caminha comigo há quase 20 anos.

Agradeço à Universidade do Estado de Santa Catarina por proporcionar uma formação sólida e de excelência. Estendo esse agradecimento aos meus professores pela dedicação, pelo compromisso com o ensino e pela generosidade em compartilhar conhecimento. Mais do que transmitir conteúdos técnicos, vocês foram fundamentais

ao inspirar valores, despertar questionamentos e contribuir para a construção do profissional e da pessoa que sou.

Estendo meus agradecimentos aos grupos que me acolheram ao longo dessa trajetória. À Atrium Engenharia Júnior que, nos momentos mais difíceis, me mostrou o verdadeiro significado de trabalho em equipe dentro da engenharia. Ao Laboratório de Ciência das Águas - LaCiA, que muito além da pesquisa, ensino e extensão, é uma verdadeira família que acolhe a todos e uma extensão das nossas casas na universidade. E ao Centro Acadêmico Livre da Civil - CALC, por me proporcionar experiências que levarei para toda a vida, principalmente as visitas técnicas.

E, por fim, agradeço aos colegas de trabalho que fizeram parte da minha trajetória ao longo desses anos, por transformarem o estágio em um espaço genuíno de aprendizado, troca de conhecimentos e compartilhamento de experiências. A convivência com vocês foi fundamental para o meu crescimento profissional e pessoal.

RESUMO

As mudanças climáticas têm intensificado alterações nos regimes hidrológicos e no nível médio do mar, especialmente em regiões costeiras urbanizadas. Nesse contexto, a interação entre precipitação intensa e marés elevadas torna-se um fator crítico para a ocorrência de inundações, ampliando os riscos socioambientais e os prejuízos econômicos. Frente a isso, este trabalho analisa os impactos das mudanças climáticas sobre as inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, em Joinville/SC, por meio de modelagem hidrológica-hidrodinâmica acoplada. A pesquisa parte da premissa de que o aumento da precipitação e a elevação do nível médio do mar, conforme o IPCC projetados para o século XXI, tendem a intensificar eventos de inundação em bacias costeiras, especialmente aquelas sob influência de maré. A metodologia baseia-se na aplicação de um modelo bidimensional implementado no HEC-RAS 6.6. Foram elaboradas chuvas de projeto a partir da Curva Intensidade–Duração–Frequência, utilizando a distribuição Log-Pearson tipo III e o método de Ven Te Chow, com posterior desagregação temporal. A maré astronômica foi reconstituída por análise harmônica a partir de dados observados, avaliando também o deslocamento temporal entre os picos de precipitação e maré. Foram simulados cinco cenários: um atual; e quatro futuros baseados nas projeções do IPCC de 2022 para o ano de 2100, sendo eles SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, considerando aumentos projetados na precipitação e no nível médio do mar. A análise foi realizada tanto para a bacia estendida do Rio Cachoeira quanto para bairros específicos. De forma complementar, foi analisado o deslocamento do ponto de maré no Rio Cachoeira frente as mudanças climáticas. Os resultados indicam que a combinação entre intensificação das chuvas e elevação do nível do mar amplia significativamente as áreas inundadas, sendo a defasagem entre os picos de precipitação e maré um fator determinante na maximização das manchas de inundação. Conclui-se que a modelagem integrada constitui uma ferramenta essencial para o planejamento urbano e a mitigação de riscos em regiões costeiras vulneráveis às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Inundação; Mudanças Climáticas; Simulação; Rio Cachoeira; Maré.

ABSTRACT

Climate change has intensified alterations in hydrological regimes and mean sea level, especially in urbanized coastal regions, and in this context the interaction between intense precipitation and high tides becomes a critical factor for the occurrence of flooding, increasing socio-environmental risks and economic losses. In light of this, this study analyzes the impacts of climate change on flooding in the Cachoeira River Watershed, located in Joinville, Santa Catarina, Brazil, through coupled hydrological-hydrodynamic modeling, based on the premise that increases in precipitation and mean sea level, as projected by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for the 21st century, tend to intensify flooding events in coastal basins, particularly those under tidal influence. The methodology is based on the application of a two-dimensional model implemented in HEC-RAS 6.6, with design storms developed from the Intensity–Duration–Frequency (IDF) curve using the Log-Pearson Type III distribution and the Ven Te Chow method, followed by temporal disaggregation, while the astronomical tide was reconstructed through harmonic analysis based on observed data, also evaluating the temporal lag between precipitation peaks and tidal peaks. Five scenarios were simulated, including one current scenario and four future scenarios based on IPCC (2022) projections for the year 2100, namely SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, and SSP5-8.5, considering projected increases in precipitation and mean sea level, with analyses conducted for both the extended Cachoeira River basin and specific neighborhoods, in addition to evaluating the displacement of the tidal influence point along the river under climate change conditions. The results indicate that the combination of intensified rainfall and sea level rise significantly expands flooded areas, with the time lag between precipitation and tidal peaks being a determining factor in maximizing flood extent, leading to the conclusion that integrated modeling constitutes an essential tool for urban planning and risk mitigation in coastal regions vulnerable to climate change.

Keywords: Flooding; Climate Change; Simulation; Cachoeira River; Tide.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Delimitação de uma bacia hidrográfica a partir do relevo topográfico e do exutório.....	21
Figura 2 – Representação esquemática do ciclo hidrológico.	22
Figura 3 - Escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo.	22
Figura 4 – Curva Intensidade–Duração–Frequência (IDF), evidenciando a relação inversa entre intensidade da precipitação e duração. Curva IDF para a cidade de Porto Alegre/RS.	25
Figura 5 – Hietograma e hidrograma de um evento de chuva.....	27
Figura 6 - Classificação das ondas superficiais oceânicas em função das forças geradoras, destacando relações entre comprimento, período, frequência e distribuição de energia.....	31
Figura 7 – Representação da combinação dos efeitos gravitacionais da Lua e do Sol sobre a Terra e sua influência na amplitude das marés.	33
Figura 8 – Tipos de maré que impactam nos litorais em torno do mundo.....	33
Figura 9 - Regionalização geográfica adotada pelo IPCC (2022) para a síntese de tendências históricas e projeções climáticas na América Central e do Sul.	36
Figura 10 - Caracterização socioeconômica e biofísica da região considerando a vulnerabilidade climática com enfoque na região de estudo deste trabalho.....	37
Figura 11 – Fluxograma da metodologia.....	38
Figura 12 – Localização geográfica do município de Joinville no estado de Santa Catarina.	39
Figura 13 – Classificação do clima de Köppen-Geiger. Joinville é classificado como Cfa.....	40
Figura 14 – Bacias Hidrográficas de Joinville.....	40
Figura 15 - Delimitação original da Bacia do Rio Cachoeira segundo a Prefeitura Municipal de Joinville e delimitação adotada neste estudo após redefinição do exutório.	41
Figura 16 – Malha utilizada para simulação.	43
Figura 17 – Esquema de deslocamento entre os picos da maré e da precipitação.	48
Figura 18 – Curva Intensidade–Duração–Frequência (IDF) obtida a partir da aplicação dos métodos Log-Pearson tipo III, Ven Te Chow e desagregação das chuvas para a estação analisada.	52
Figura 19 – Curva IDF com aplicação de escala logarítmica e coeficiente característico de 7,5 minutos, utilizada para a linearização dos dados e obtenção dos coeficientes de multiplicidade.....	53
Figura 20 – Relação entre o tempo de retorno (T_r) e os coeficientes de multiplicidade (C), utilizada na definição da equação IDF da estação analisada.	53
Figura 21 – Distribuição temporal da precipitação segundo o método de Monteiro e Kobiyama (2014), com divisão em quartis e concentração do pico de chuva no último quartil.....	54
Figura 22 – Distribuição temporal da chuva de projeto adotada neste estudo, obtida a partir da aplicação do método de Monteiro e Kobiyama (2014) aos	

parâmetros definidos pela equação IDF para precipitação de 24 horas de duração.....	54
Figura 23 – Recomposição temporal da maré astronômica na estação do Joinville late Clube (JIC), obtida a partir das constituintes harmônicas, considerando exclusivamente a componente astronômica da maré.	55
Figura 24 – Pico de recomposição da maré astronômica com duração de 24 horas, definido a partir do maior pico observado na série recomposta (29/10/2023 às 04:00).....	56
Figura 25 – Recomposição da maré astronômica com duração de 47 horas, sendo a série original de 24 horas representada em azul; os dados adicionais, utilizados para ajuste da variação temporal da precipitação, em verde; e em lilás o pico da maré usado como referência.....	56
Figura 26 – Esquema do alinhamento temporal entre o pico da maré e os cenários de deslocamento da precipitação (C0_-12 a C0_+12). A linha tracejada indica a condição de alinhamento entre os picos (C0_00).	58
Figura 27 – Dados obtidos através das simulações das áreas inundadas para cada desalinhamento temporal entre os picos de precipitação e maré.	59
Figura 28 – Mapa de inundação do Cenário C0_-10, sendo este considerado o pior cenário quando analisada a área de inundação.	59
Figura 29 – Sobreposição da chuva de projeto com os incrementos de precipitação associados às mudanças climáticas na distribuição temporal, considerando os cenários atual e futuros.	60
Figura 30 – Variação do nível médio do mar para cada cenário de mudanças climáticas.	61
Figura 31 – Delimitação do ponto de maré no Rio Cachoeira para os cenários simulados: C0 (atual) e C1 a C4 (projeções de mudanças climáticas), com indicação dos trechos sob influência de maré (azul escuro), da zona de possível influência de maré (magenta) e do trecho de comportamento predominantemente fluvial (azul ciano).	63
Figura 32 – Dados de entrada para as simulações para o período de análise.	64
Figura 33 – Mapa de áreas de estudo das mudanças climáticas.....	65
Figura 34 – Evolução temporal da área inundada na bacia estendida do Rio Cachoeira sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	65
Figura 35 – Mapeamento da mancha de inundação na bacia estendida do Rio Cachoeira sob diferentes cenários de mudanças climáticas, considerando o horário do pico da inundação.	66
Figura 36 – Evolução temporal da área inundada do bairro Costa e Silva sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	67
Figura 37 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Costa e Silva sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	67
Figura 38 – Evolução temporal da área inundada do bairro Itaum sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	68
Figura 39 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Itaum sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	69
Figura 40 – Evolução temporal da área inundada do bairro Centro sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	70

Figura 41 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Centro sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	70
Figura 42 – Evolução temporal da área inundada do bairro Boa Vista sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	71
Figura 43 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Boa Vista sob diferentes cenários de mudanças climáticas.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos dados coletados.	44
Quadro 2 – Dados de entrada utilizados nas simulações hidrodinâmicas, organizados conforme os cenários climáticos do IPCC. Os valores destacados em laranja correspondem aos dados observados ou obtidos (cenário atual), enquanto os campos em branco representam dados projetados para cenários futuros.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Constituintes harmônicas encontradas na estação do Joinville late Clube.	47
Tabela 2 – Variação percentual da área inundada em função dos incrementos de precipitação e maré, por área de estudo, em relação ao cenário C0.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CMIP6	Coupled Model Intercomparison Project 6 / Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados 6
EPAGRI-	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa
CIRAM	Catarina - Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina
HEC-RAS	<i>Hydrologic Engineering Center – River Analysis System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Curva de Intensidade-Duração-Frequência
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPEA	Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada
IPCC	<i>International Panel of Climate Change / Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas</i>
JIC	Joinville Iate Clube
MDT	Modelo Digital de Terreno
NMM	Nível Médio Global do Mar
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PDDUBRC	Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia do Rio Cachoeira
PMJ	Prefeitura Municipal de Joinville
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SDS	Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SC)
SIGSC	Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina
UNDRR	<i>United Nations Office for Disaster Risk Reduction / Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres</i>
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcento
°C	Graus Celsius
cph	Ciclos por hora
CO ₂	Gás Carbônico
h	Horas
hab/km ²	Habitantes por quilômetro quadrado
km ²	Quilômetro quadrado
m	Metro
mm	Milímetros
min	Minutos
mm/h	Milímetros por hora
mm/min	Milímetros por minuto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivo específico.....	18
1.2	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	HIDROLOGIA	20
2.1.1	Bacia Hidrográfica	20
2.1.2	Bacias costeiras	23
2.1.3	Precipitação	24
2.1.4	Inundação	27
2.2	MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA.....	28
2.3	HIDRODINÂMICA OCEÂNICA COSTEIRA	29
2.3.1	Ondas Superficiais	30
2.3.2	Maré	31
2.4	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	34
3	METODOLOGIA	38
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	38
3.1.1	Caracterização do município de Joinville	38
3.1.2	Caracterização da Bacia do Rio Cachoeira	41
3.2	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA-HIDRODINÂMICA ACOPLADOS	42
3.2.1	Modelo utilizado	42
3.2.2	Parâmetros adotados para simulação	44
3.3	COLETA DE DADOS	45
3.3.1	Chuva de Projeto	45
3.3.2	Maré astronômica.....	46
3.3.3	Deslocamento temporal entre o pico da precipitação e da maré.....	47
3.3.4	Projeção de mudanças climáticas	48
3.4	PONTO DE MARÉ	50
3.5	COMPARATIVO DE CENÁRIOS	51
4	RESULTADOS.....	52
4.1	CHUVA DE PROJETO	52
4.2	MARÉ ASTRONÔMICA	55
4.3	DESLOCAMENTO TEMPORAL ENTRE O PICO DA PRECIPITAÇÃO E DA MARÉ	56
4.4	IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO E NO NÍVEL DO MAR.....	59
4.5	DEFINIÇÃO DO PONTO DE MARÉ NO RIO CACHOEIRA.....	61
4.6	IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA CADA CENÁRIO	63
4.7	INCERTEZAS INERENTES	74
5	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS.....	78
	APÊNDICE A	88

APÊNDICE B	91
APÊNDICE C	92
APÊNDICE D	93

1 INTRODUÇÃO

A partir da Primeira Revolução Industrial, os métodos de produção mudaram da manufatura para a maquinofatura (Allen, 2014). Desde 1750, as emissões globais de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis e processos industriais aumentaram de praticamente zero, no período pré-industrial, para um crescimento exponencial anualmente, alcançando a 35,8 bilhões de toneladas apenas no ano de 2023, representando um acréscimo em relação ao ano anterior (Liu *et al.*, 2024). Essa alta nas emissões de gases de efeito estufa tem contribuído para o aquecimento global, elevando as temperaturas médias globais (Sandal, 2024). Dessa forma, as mudanças climáticas têm impactado o ciclo hidrológico e meteorológico em todo o globo, resultando no aumento do nível do mar e precipitações mais intensas em áreas específicas (Park; Song; Lee, 2024) e, atualmente, as inundações configuram-se como os desastres associados a fenômenos naturais mais frequentes no mundo (ONU, 2020).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*International Panel of Climate Change* - IPCC), criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1988, elabora relatórios periódicos que avaliam o conhecimento sobre as mudanças climáticas, suas causas, cenários projetados e opções de resposta (IPCC, 2022). A importância desses relatórios se reflete em estudos atualizados sobre as mudanças climáticas e oficialização dos dados, como a confirmação de que 2024 foi o ano mais quente em 175 anos, sendo o primeiro a ultrapassar 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais (1850-1900) (Agência Brasil, 2025). Assim, é possível identificar as consequências desse aquecimento, que são evidentes também em escala regional, pois no Brasil foi registrado um aumento de 460% em desastres relacionados aos fatores climáticos desde a década de 1990 (Stockton, 2025). Tal desequilíbrio tem sido observado também em Santa Catarina, com o aumento de chuvas no litoral e de secas no centro-oeste (Collischonn *et al.*, 2024).

O aumento do nível médio do mar, impulsionado pelo aquecimento global, representa uma ameaça significativa para municípios litorâneos em todo o mundo, intensificando processos de erosão costeira, intrusão salina e, principalmente, a frequência e a severidade de eventos de inundação (IPCC, 2021). No Brasil, municípios costeiros, como Santos, Rio de Janeiro, Vitória, Recife e Florianópolis, já enfrentam os efeitos combinados de marés elevadas e chuvas extremas, agravando

os riscos socioeconômicos e ambientais. Podendo-se citar o município de Joinville, localizada na região norte de Santa Catarina, uma vez que sua baixa altitude em relação ao nível do mar e sua extensa rede hidrográfica a tornam particularmente suscetível a eventos de inundação associados ao aumento do nível do oceano (Borin, 2025).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar o impacto das mudanças climáticas na resposta hidrológica da Bacia do Rio Cachoeira no município de Joinville/SC, resultante da intensificação das precipitações e da elevação do nível do mar, por meio de modelagem hidrológica e hidrodinâmica.

1.1.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Analisar a variação percentual das áreas inundadas em função do desalinhamento entre os picos de maré e de precipitação;
- Definir o ponto de maré do Rio Cachoeira para o cenário atual e para os cenários de mudanças climáticas;
- Analisar a resposta hidrológica às mudanças climáticas da bacia do Rio Cachoeira bem como de quatro bairros pertencentes a esta área.

1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Com base na proposta apresentada, a monografia foi estruturada em cinco capítulos, com o objetivo de analisar os impactos das mudanças climáticas na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira. Dessa forma, o Capítulo 1 apresenta a introdução, a justificativa, os objetivos gerais e específicos, além da descrição da estrutura do trabalho.

Já o Capítulo 2 contempla a fundamentação teórica, abordando os principais conceitos relacionados ao estudo, como hidrologia, modelagem hidrológica e hidrodinâmica, hidrodinâmica oceânica costeira e mudanças climáticas. O Capítulo 3 apresenta a metodologia adotada, abrangendo a caracterização da área de estudo, a descrição dos dados utilizados, a apresentação do modelo aplicado nas simulações e os procedimentos empregados para a elaboração da chuva de projeto, reconstituição da maré astronômica, análise do alinhamento entre os picos de maré e precipitação, definição do ponto de maré e avaliação dos resultados.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos, abrangendo a chuva de projeto, a reconstituição da maré astronômica, a análise do deslocamento temporal entre os picos de precipitação e maré, a construção de cenários futuros com base em projeções climáticas, a simulação de eventos extremos e a avaliação dos impactos sobre as áreas suscetíveis à inundação na bacia, incluindo o estudo do ponto de maré. Por fim, o Capítulo 5 reúne as considerações finais e as conclusões do trabalho, seguido das referências bibliográficas e dos apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo tem como intuito introduzir e detalhar os temas fundamentais, os termos técnicos e os conceitos relevantes que se fazem necessários para a adequada compreensão dessa monografia. Dessa forma, busca-se fornecer ao leitor uma base conceitual, permitindo uma análise do conteúdo abordado ao longo deste trabalho.

2.1 HIDROLOGIA

A hidrologia é a ciência que estuda a água na Terra, abrangendo aspectos como qualidade, ocorrência, distribuição, circulação e características químicas e físicas, bem como sua relação com o meio e os seres vivos (Souza, 1976). O principal objetivo dessa ciência é compreender o comportamento dos recursos hídricos e seus efeitos no ciclo hidrológico (Tucci, 1993).

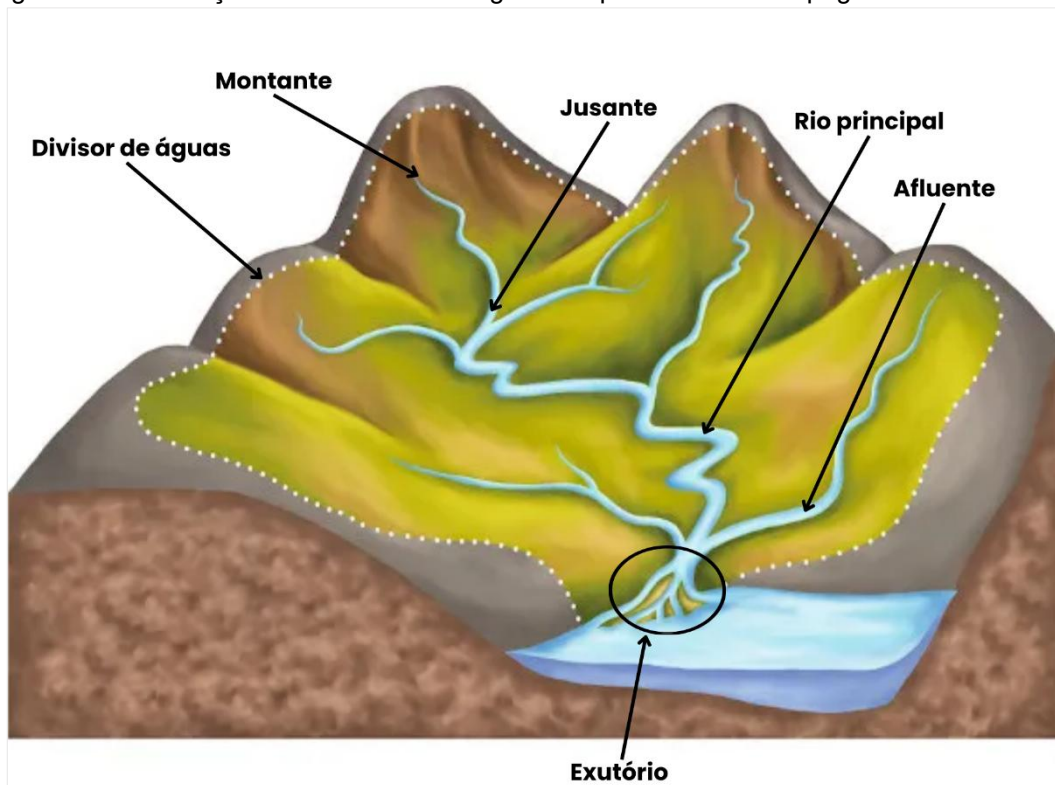
2.1.1 Bacia Hidrográfica

Tucci (1993) define bacia hidrográfica como a área natural que drena a precipitação para um único ponto comum, denominado exutório (Tucci, 1993), conforme ilustrado na Figura 1Figura . Segundo o autor, sua principal delimitação é realizada com base na divisão topográfica do terreno, estabelecendo limites ao longo das cotas mais elevadas do relevo. Conforme Barbosa Júnior (2022), esse procedimento fundamenta-se no princípio de que o escoamento superficial ocorre perpendicularmente às curvas de nível.

Segundo He *et al.* (2024), cada bacia hidrográfica possui características próprias, como área de drenagem, comprimento dos cursos d'água, declividade, forma, cobertura vegetal e uso e ocupação do solo, fatores que influenciam diretamente os processos hidrológicos. Nesse contexto, a Lei nº 9.433 (1997) estabelece a bacia hidrográfica como a unidade territorial de planejamento e gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos e da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, materializando o princípio da territorialidade, segundo o qual a gestão deve ser organizada com base em recortes espaciais naturais e funcionalmente integrados. No caso, a bacia hidrográfica, independentemente de limites político-administrativos,

favorecendo uma abordagem integrada para a gestão dos recursos hídricos e dos riscos associados a desastres naturais.

Figura 1 – Delimitação de uma bacia hidrográfica a partir do relevo topográfico e do exutório.



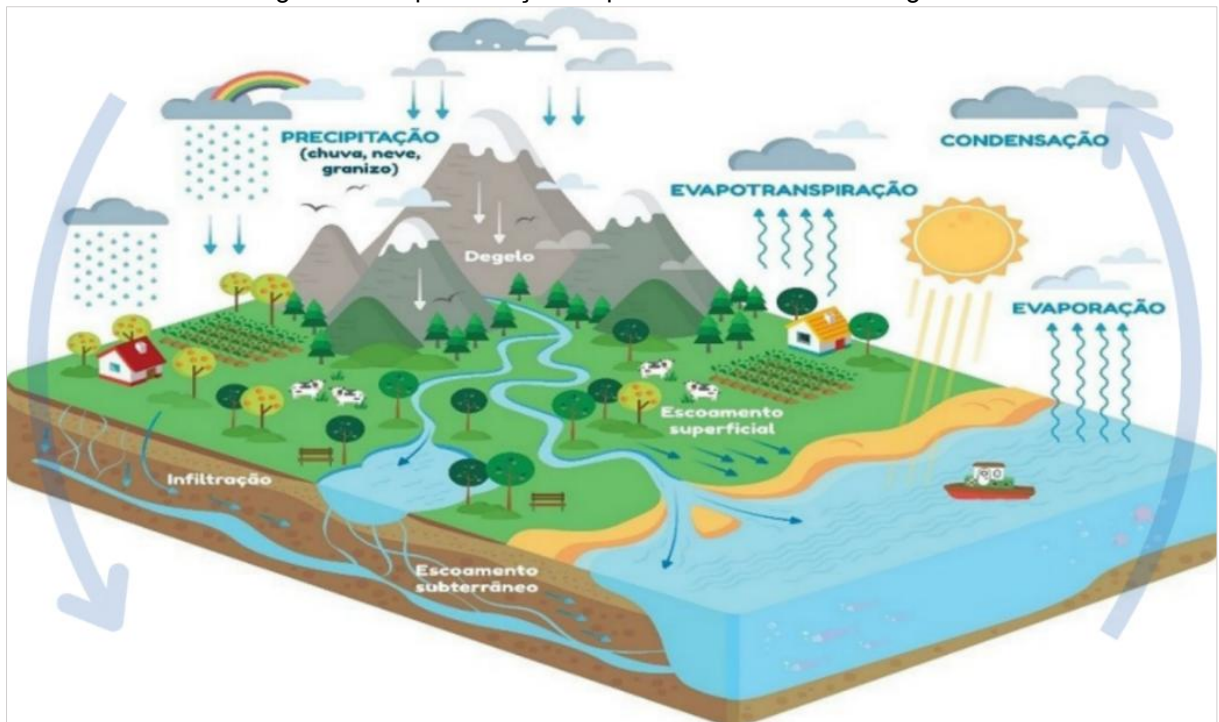
Fonte: Adaptado de Mundo Educação, 2022.

Associado a esse conceito, o ciclo da água, ou ciclo hidrológico, refere-se ao movimento contínuo da água na hidrosfera, abrangendo sua circulação entre a atmosfera, o solo, os corpos hídricos superficiais e subterrâneos, bem como sua interação com a vegetação e os seres humanos (Barbosa Júnior, 2022). Conforme Smirnov (2020), esse ciclo inicia-se com o processo de evaporação, impulsionado pela energia solar, no qual a água presente em mares, rios e lagos transforma-se em vapor. A transpiração das plantas e a respiração dos seres vivos também contribuem para esse processo, que, em conjunto com a evaporação, é denominado evapotranspiração (Tucci, 1993).

À medida que o vapor de água, fruto da evapotranspiração, ascende e encontra camadas atmosféricas com temperaturas mais baixas, ocorre a condensação, formando gotículas que se agregam e originam as nuvens (Smirnov, 2020). De Sousa (2019) explica que quando essas gotículas atingem massa suficiente, ocorre a precipitação, devolvendo a água à superfície terrestre. Segundo o autor, parte dessa

água infiltra no solo, abastecendo os aquíferos e lençóis freáticos, enquanto outra parcela escoar superficialmente, formando riachos e rios que deságuam nos oceanos, completando o ciclo hidrológico, conforme apresentado na Figura 2. De acordo com De Sousa (2019), entre esses processos, destaca-se ainda o escoamento subsuperficial, que ocorre no limiar entre o escoamento superficial e o subterrâneo, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 2 – Representação esquemática do ciclo hidrológico.



Fonte: Adaptado de EPAL, 2024.

Figura 3 - Escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

2.1.2 Bacias costeiras

As bacias costeiras correspondem a sistemas hidrográficos cujos cursos d'água drenam diretamente para oceanos, mares, deltas, baías ou estuários, exercendo papel fundamental na dinâmica sedimentar, na disponibilidade hídrica e no equilíbrio ambiental das zonas litorâneas (Zhang *et al.*, 2019). Diferentemente das bacias anteriormente explanadas, essas bacias são fortemente influenciadas por processos oceânicos, como variações de maré, salinidade, ondas e biodiversidade típica de ambientes salobros, os quais afetam significativamente sua hidrologia e a dinâmica dos cursos d'água (Athanasίου *et al.*, 2019).

Zhang *et al.* (2019) destacam que a principal característica nas bacias costeiras é a possibilidade de inversão do fluxo fluvial em função da ação da maré. Conforme os autores, durante a maré alta, o escoamento do rio pode ser revertido no sentido montante, enquanto, na maré baixa, o fluxo retoma sua direção natural em direção à foz. Segundo Kretschmer *et al.* (2025), esse comportamento impõe limitações aos modelos hidrológicos tradicionais, que frequentemente desconsideram a influência oceânica, tornando as bacias costeiras sistemas mais complexos e ainda pouco explorados pela hidrologia clássica. Além disso, os autores comentam que a intrusão de águas salinas associada aos períodos de maré alta pode modificar a composição química da água, afetando ecossistemas aquáticos e processos geomorfológicos correlatos.

Nesse contexto, Hoitink e Jay (2016) destacam que os canais de maré constituem componentes essenciais das bacias costeiras, sendo definidos como trechos fluviais nos quais a maré exerce influência significativa tanto sobre o escoamento quanto sobre a variação da lâmina d'água, conforme os ciclos registrados nas tábuas de maré. Esses ambientes caracterizam-se pela bidirecionalidade do fluxo, pela intrusão salina e pela presença de ecossistemas típicos de águas salobras e, associado a essa dinâmica, Garrison (2016) define o ponto de maré como o limite mais distante da foz em que os efeitos da maré ainda são perceptíveis na dinâmica hidrológica do sistema. O autor explica que trata-se de uma região móvel, uma vez que, em condições de maré baixa (baixa-mar), o ponto de maré tende a se deslocar para jusante, enquanto, durante a maré alta (preamar), avança em direção à montante. A montante desse limite, o regime hidrológico é predominantemente fluvial,

e que, a jusante, ocorre a interação entre os regimes fluvial e marítimo (Hoitink; Jay, 2016).

Do ponto de vista geomorfológico, as bacias costeiras tendem a apresentar declividades mais suaves em razão da proximidade com o nível de base oceânico (Lecours *et al.*, 2016). Essa condição, associada à ação das marés e correntes marítimas, favorece a deposição de sedimentos e a formação de planícies costeiras (Athanasίου *et al.*, 2019). Como consequência, esses ambientes abrigam ecossistemas altamente complexos, como estuários, manguezais e lagoas costeiras, que desempenham papel essencial na manutenção da biodiversidade e na regulação da qualidade da água (Fohrer *et al.*, 2024). Ademais, os processos hidrodinâmicos nessas bacias são influenciados por fenômenos físicos típicos das zonas costeiras, como a propagação de marés, a refração e difração de ondas e o efeito de fundo, condicionando a morfologia dos cursos hídricos e a distribuição de sedimentos ao longo do litoral (Garrison, 2016; Qu *et al.*, 2024).

2.1.3 Precipitação

A precipitação é definida como toda partícula de água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, manifestando-se sob diferentes formas, como chuva, neblina, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve (Souza, 1976; Wilken, 1978). Para Tucci (1993), entre as principais grandezas que caracterizam a chuva destacam-se a duração, a altura, a intensidade e a frequência. O autor ainda explica que a duração corresponde ao intervalo de tempo durante o qual ocorre o evento de precipitação; a altura representa a lâmina de água acumulada sobre uma superfície plana e impermeável; a intensidade refere-se à razão entre a altura precipitada e sua duração; e a frequência está associada à recorrência dos eventos pluviométricos ao longo do tempo.

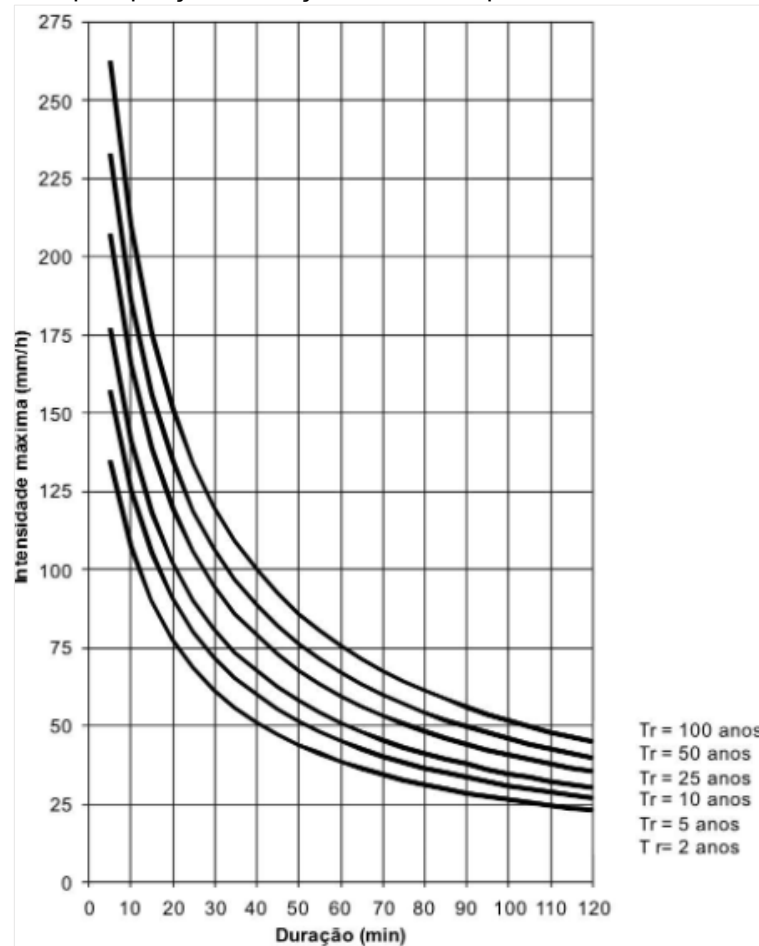
O tempo de retorno (T_r), também denominado período de recorrência, é definido como o intervalo médio, em anos, para que um evento hidrológico de determinada magnitude seja igualado ou superado ao menos uma vez (Barbosa Júnior, 2022). Matematicamente, o T_r corresponde ao inverso da probabilidade de excedência do evento (Tucci, 1993), conforme expresso na Equação (1).

$$P\{x \geq X_0\} = \frac{1}{T_r}, \quad (1)$$

onde, P é a probabilidade e T_r é o tempo de retorno.

A precipitação máxima caracteriza-se como um evento extremo, definido por uma combinação crítica de duração, intensidade e distribuição temporal e espacial para a bacia hidrográfica em estudo (Duarte *et al.*, 2023). A Curva IDF estabelece a relação entre a intensidade da precipitação, sua duração e o tempo de retorno, constituindo uma ferramenta essencial na análise hidrológica (Hussein; Alfatlawi, 2025). Segundo Tucci (1993), de forma geral, quanto maior a intensidade da precipitação, menor será sua duração, conforme é apresentado a Figura 4.

Figura 4 – Curva Intensidade–Duração–Frequência (IDF), evidenciando a relação inversa entre intensidade da precipitação e duração. Curva IDF para a cidade de Porto Alegre/RS.



Essas relações podem ser expressas por equações empíricas, cujos parâmetros são ajustados às características regionais, como apresenta na Equação (2)

$$i = \frac{a \cdot T_r^b}{(t + c)^d} \quad (2)$$

onde, i é a intensidade expressa em mm/h, T_r é o tempo de retorno em anos, t é a duração em chuva medida em minutos e os parâmetros a, b, c e d são variáveis para a adaptabilidade da equação para diferentes regiões.

Conforme Hussein e Alfatlawi (2025), a determinação da equação IDF para uma região específica fundamenta-se na análise de registros históricos pluviométricos locais e na aplicação de métodos estatísticos para modelar a distribuição de frequência das chuvas extremas. Os autores acrescentam, ainda, que essa equação permite estimar a intensidade das precipitações para diferentes tempos de retorno e durações, sendo uma ferramenta essencial para estudos hidrológicos.

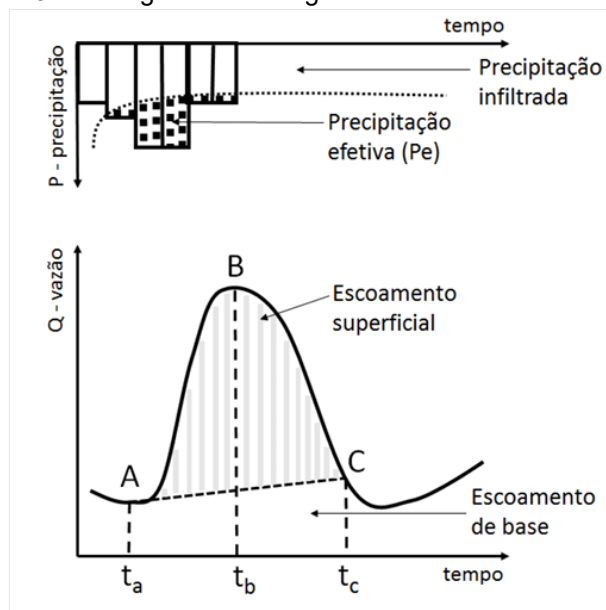
A partir da Curva IDF, é possível definir uma chuva de projeto, que corresponde a uma precipitação sintética adotada para o dimensionamento de estruturas hidráulicas e a análise de eventos críticos de inundação (Tucci, 1993). Essa chuva é obtida a partir de um tempo de retorno específico e uma duração de chuva que representa as condições mais severas para a bacia hidrográfica em estudo (Wilken, 1978).

Além disso, a representação da variabilidade temporal da chuva de projeto exige a definição de um hietograma, que descreve a variação temporal de uma precipitação e considere características espaciais (Souza, 1976). Segundo Tucci (1998), um dos métodos mais utilizados para a construção do hietograma são: o método de Huff, que define a distribuição da chuva com base na análise estatística de eventos observados nos Estados Unidos da América; o método dos Blocos Alternados, que organiza os períodos de maior intensidade de forma sistemática para gerar um cenário crítico; e o método de Chicago, que utiliza uma abordagem paramétrica para representar chuvas sintéticas assimétricas com intensidades decrescentes ou crescentes ao longo do tempo.

A partir disso, segundo Wilken (1978), é possível estimar a chuva correspondente para cada tempo de retorno e duração de chuva. O autor explica que, com base nessa estimativa e nas características físicas da bacia hidrográfica, como topografia, declividade do curso d'água, tipo e uso do solo, torna-se viável estimar o escoamento superficial gerado pela precipitação efetiva, porção de água que pode desencadear eventos de inundação e/ou alagamento. Dessa forma, a partir da Curva IDF e do hietograma, é possível estimar o hidrograma, que representa a variação da

vazão ao longo do tempo em resposta à precipitação considerada (Tucci, 1993), permitindo a análise do escoamento superficial, conforme apresenta a Figura 5. Como os registros pluviométricos são, em geral, mais extensos e confiáveis que os de vazão, a metodologia chuva–vazão constitui uma ferramenta essencial para a estimativa de vazões críticas a partir de dados de precipitação (Tucci, 1993).

Figura 5 – Hietograma e hidrograma de um evento de chuva.



Fonte: Nunes; Mariano, 2020.

2.1.4 Inundação

Kobiyama *et al.* (2006) definem inundação como o extravasamento da água de um corpo hídrico para além de sua calha, atingindo a planície de inundação, geralmente em decorrência de elevados volumes de precipitação concentrados na bacia de contribuição. Os autores explicam que esse processo pode ocorrer de forma gradual, associado a chuvas prolongadas, resultando nas chamadas inundações graduais.

Segundo o CEMADEN (2016), os alagamentos decorrem da incapacidade dos sistemas de drenagem urbana em escoar adequadamente o escoamento superficial, ocasionando o acúmulo temporário de água em áreas urbanizadas. As inundações, por sua vez, são processos naturais inerentes à dinâmica fluvial, podendo limitar-se à planície de inundação ou ultrapassá-la, dependendo da magnitude do evento (CEMADEN, 2016).

As condições hidrológicas e meteorológicas influenciam diretamente a suscetibilidade de uma bacia à ocorrência de inundações, sendo fatores determinantes o relevo, o tipo e a intensidade da precipitação, as condições da cobertura e do uso do solo, a saturação do solo e a capacidade de drenagem (Tucci, 1993). Embora a inundação seja um fenômeno natural essencial à regulação dos ecossistemas, quando ocorre em áreas urbanas e provoca impactos significativos sobre as atividades humanas, passa a ser caracterizada como um desastre (Barbosa Júnior, 2022; UNDRR, 2017). Nesse contexto, o mapeamento de inundações e a simulação de diferentes cenários hidrodinâmicos são ferramentas fundamentais para o planejamento urbano e a mitigação de riscos, permitindo a análise da extensão, profundidade, velocidade e duração dos eventos (Monte *et al.*, 2016).

2.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA

A modelagem é uma representação simplificada de um sistema físico por meio de uma metodologia baseada em equações matemáticas, permitindo a reprodução do comportamento do mesmo (Pontes, 2011). Frente a isso, a modelagem hidrológica, sendo um modelo matemático que utiliza de métodos conceituais, empíricos e estatísticos, tem como premissa a representação do ciclo hidrológico em uma determinada região (Devia; Ganasri; Dwarakish, 2015). Essa modelagem, quando denominada chuva-vazão, requer como dados de entrada informações sobre a precipitação e características da bacia hidrográfica, enquanto os dados de saída correspondem à vazão gerada pela chuva incidente sobre a superfície modelada (Gharnouki *et al.*, 2024). Por outro lado, a modelagem hidrodinâmica tem como objetivo simular o movimento do fluido no meio físico (Devia; Ganasri; Dwarakish, 2015). Segundo Liu *et al.* (2024), os principais parâmetros de saída incluem a profundidade do escoamento, a velocidade da corrente e a extensão da mancha de inundação.

Atualmente, há diversos *softwares* que são utilizados para esses tipos de modelagem hidrodinâmica como o LISFLOOD, *MOHID Water Modeling System*, Delft, MIKE, mas o mais popular é o *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (HEC-RAS) (Amaliah; Ginting, 2023). Esse último *software* permite o acoplamento entre a modelagem hidrológica e hidrodinâmica, possibilitando a representação de cenários complexos com maior detalhamento (David; Schmalz, 2020). Para isso, o

HEC-RAS (USACE, 2025) utiliza das equações como a de Saint-Venant (1D) e de Águas Rasas (2D) (Gobira *et al.*, 2018), para descrever o escoamento da água em canais abertos por meio das equações de continuidade e pela equação da conservação de quantidade de movimento.

A partir dessas equações, é possível simular tanto escoamento permanente, quando o gradiente da velocidade e do nível com relação ao tempo são nulos, quanto escoamentos não permanentes, quando há variação no tempo das variáveis que o retratam (Tucci, 1998). Dentre as principais aplicações dos *softwares*, estão o mapeamento de inundações, o dimensionamento de obras de arte especial, como pontes, rodovias, viadutos, túneis e galerias, e a simulação de rompimentos de barragens (Liu *et al.*, 2024). Entretanto, segundo Hall (2015), apesar da sofisticação do *software*, a precisão dos resultados depende diretamente da qualidade dos dados inseridos. A utilização de dados de entrada imprecisos pode resultar em previsões subestimadas ou superestimadas dos eventos, comprometendo a confiabilidade dos resultados (Abrahamowicz *et al.*, 2024).

2.3 HIDRODINÂMICA OCEÂNICA COSTEIRA

Os oceanos constituem extensas massas de água salina que cobrem aproximadamente 71% da superfície terrestre, sendo que cerca de 40% da população mundial habita zonas costeiras (Harari, 2021). Historicamente, os polinésios são reconhecidos como os primeiros povos a ocupar regiões marítimas, estabelecendo-se em ilhas e realizando navegações de longa distância pelo oceano Pacífico por volta de 4.000 a.C. No entanto, apenas a partir do século III a.C. surgiu a necessidade de compreender os processos oceânicos, impulsionada pela fundação da Biblioteca de Alexandria, no Egito, marco que estimulou o desenvolvimento dos estudos que futuramente seriam denominados oceanografia (Garrison, 2016).

Segundo Souza (1976), a oceanografia é a ciência dedicada ao estudo dos mares e oceanos, abrangendo aspectos como a topografia costeira e do fundo oceânico, os tipos de correntes e ondas, bem como os processos físicos, químicos e biológicos do ambiente marinho. Segundo Park e Kim (2024), a oceanografia química concentra-se na composição da água do mar, analisando a presença de sais, gases dissolvidos e ciclos biogeoquímicos. Os autores ainda explicam que a oceanografia biológica, por sua vez, dedica-se ao estudo dos ecossistemas marinhos e de suas

interações, enquanto a oceanografia física tem como foco os movimentos das massas de água, como ondas, marés e circulação oceânica. Esta última área é também denominada hidrodinâmica oceânica costeira (Souza *et al.*, 2024).

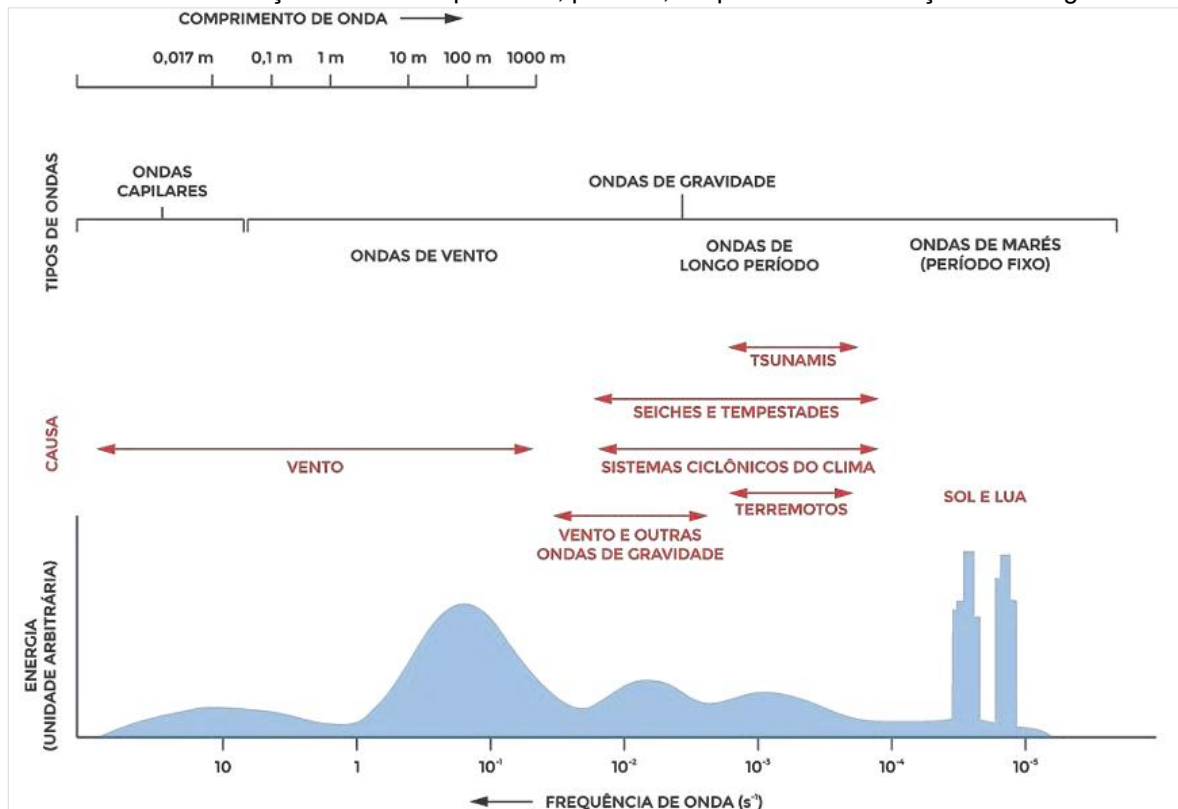
2.3.1 Ondas Superficiais

As ondas superficiais são fenômenos caracterizados por perturbações na superfície da água, resultando no movimento oscilatório de subida e descida das partículas do fluido (Souza, 1976). Essas ondas possuem como característica principal o transporte de energia, e não de matéria, sendo influenciadas por fatores como a profundidade da água, a velocidade e persistência do vento e a interação com o fundo oceânico (Maleewong; Grimshaw, 2024).

Conforme Harrison *et al.* (2021), o efeito de fundo refere-se à influência da profundidade na propagação das ondas superficiais. Os autores explicam que à medida que uma onda se aproxima da costa e atinge regiões mais rasas, sua interação com o fundo oceânico, dados principalmente pelo atrito, altera suas características, afetando a velocidade de propagação, a altura, o formato da onda e, em alguns casos, sua capacidade de transporte de sedimentos. Garrison (2016) destaca que esse fenômeno desempenha papel fundamental na dinâmica costeira, influenciando processos como a quebra das ondas e a erosão litorânea.

Segundo Garrison (2016), as ondas oceânicas superficiais resultam do equilíbrio entre forças perturbadoras e forças restauradoras. As forças perturbadoras são responsáveis pela geração das ondas e incluem o vento, a gravidade, terremotos, erupções vulcânicas submarinas e interações astronômicas (Garrison, 2016). Conforme Harari (2021), as forças restauradoras atuam no sentido de restabelecer o equilíbrio da superfície da água após a formação da onda, sendo principalmente a gravidade e a tensão superficial. De acordo com o mesmo autor, a classificação das ondas superficiais oceânicas baseia-se nas forças dominantes que atuam em sua geração e propagação. A Figura 6, ilustra os diferentes tipos de ondas superficiais, destacando as relações entre comprimento, frequência e período, bem como a natureza das forças geradoras e a distribuição de energia associada a cada tipo.

Figura 6 - Classificação das ondas superficiais oceânicas em função das forças geradoras, destacando relações entre comprimento, período, frequência e distribuição de energia.



Fonte: Harari, 2021.

2.3.2 Maré

Conforme Castello e Krug (2017), a maré consiste em uma onda de grande comprimento, podendo alcançar dimensões equivalentes à metade da circunferência da Terra. Os autores apresentam que esse fenômeno é gerado pela interação entre a força gravitacional, o movimento de rotação da Terra e a atração exercida pela Lua e pelo Sol sobre o planeta. Como resultado, ocorrem variações periódicas e de curto prazo no nível dos oceanos (Garrison, 2016).

As constituintes harmônicas das marés correspondem às componentes individuais que, somadas, descrevem o comportamento do nível do mar ao longo do tempo (Williams *et al.*, 2024). Cada constituinte representa uma oscilação periódica associada a diferentes forças astronômicas e processos geofísicos, permitindo que o nível do mar seja representado como a superposição de ondas sinusoidais com distintos períodos, amplitudes e fases (Castello; Krug, 2017; Garrison, 2016).

A variação das marés resulta da combinação dos efeitos gravitacionais aos quais a Terra está submetida (Garrison, 2016). A Lua constitui o principal agente

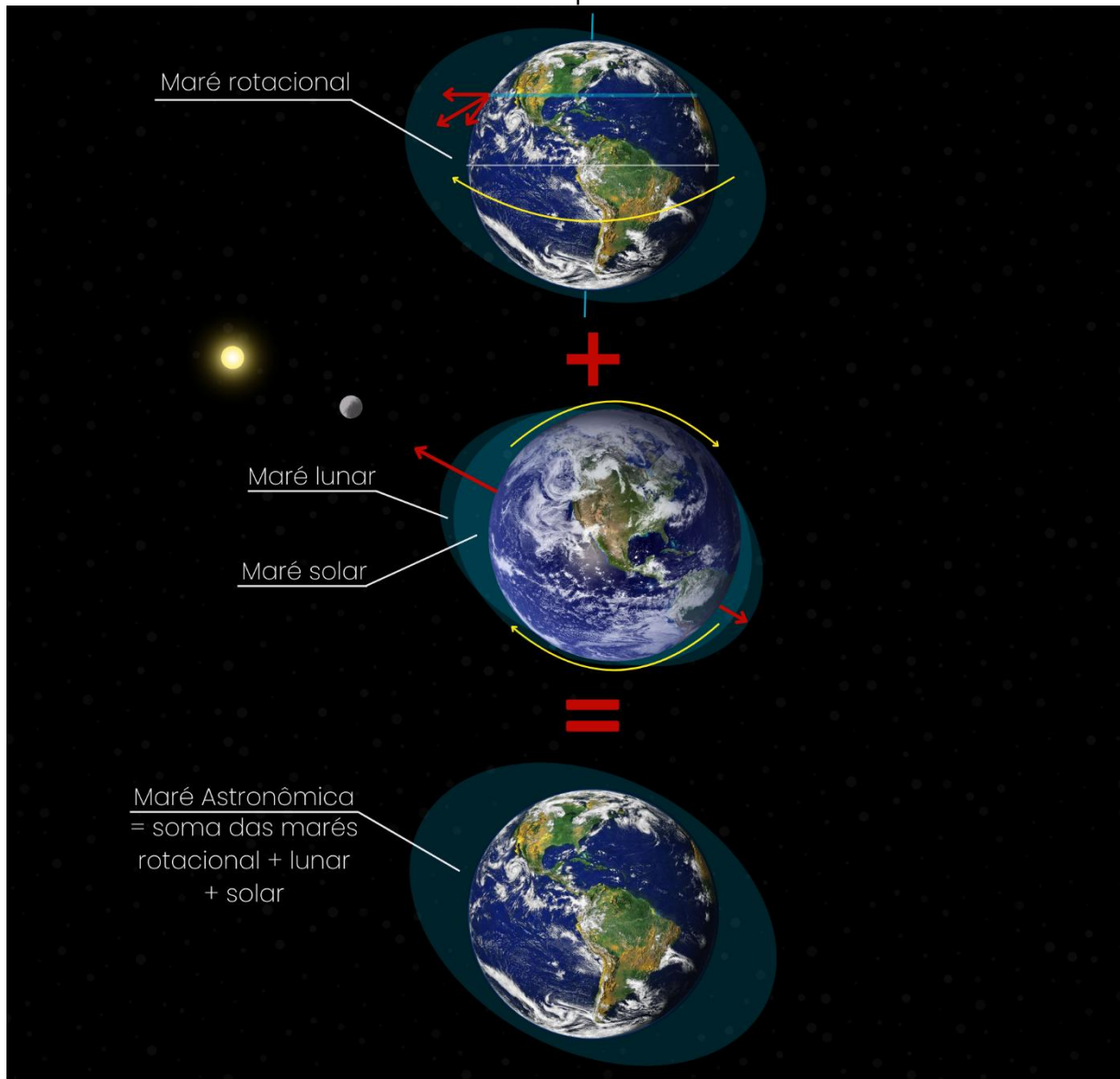
gerador das marés, formando dois montes de água elevados, correspondentes às marés altas: um voltado para a direção do satélite e outro no lado oposto da Terra, em função da força centrífuga do sistema Terra–Lua (Garrison, 2016). Harari (2021) explica que o Sol, embora também exerça influência gravitacional sobre as marés, apresenta um efeito aproximadamente 46% menor que o da Lua, conforme ilustrado na Figura 7. Contudo, o autor reforça que, quando ambos os astros se encontram alinhados, suas forças gravitacionais se somam, intensificando a amplitude das marés.

Além das marés astronômicas, ocorrem as marés meteorológicas decorrentes de ações atmosféricas, caracterizadas por variações no nível do mar além da relação prevista pelas tábuas de maré (Melo Filho, 2017). Essas variações são induzidas principalmente por ventos persistentes, chuvas intensas e mudanças na pressão atmosférica, frequentemente associadas a sistemas meteorológicos como ciclones extratropicais e zonas de baixa pressão (Garrison, 2016). Devido à elevada variabilidade espacial e temporal desses fenômenos, a previsão das marés meteorológicas apresenta maior grau de incerteza quando comparada às marés astronômicas, podendo resultar em erros significativos em relação ao nível real do mar (Castello; Krug, 2017).

Conforme Hoitink e Jay (2016), o período de oscilação da maré corresponde ao tempo necessário para a ocorrência de um ciclo completo de elevação e rebaixamento do nível do mar. Conforme Castello e Krug (2017), o regime de maré mais comum é o semidiurno, no qual ocorrem duas preamaras e duas baixa-mares aproximadamente a cada 12 horas e 25 minutos. Os autores citam ainda que esse intervalo está relacionado ao deslocamento orbital da Lua, que faz com que um ponto na superfície terrestre leve um pouco mais de 24 horas para retornar à mesma posição relativa em relação ao satélite.

Em sistemas diurnos, ocorre apenas uma preamar e uma baixa-mar por dia, com período aproximado de 24 horas e 50 minutos (Hoitink; Jay, 2016). Há ainda as marés mistas, que combinam características dos regimes diurno e semidiurno (Castello; Krug, 2017), resultando em variações irregulares nos períodos de oscilação. Esses diferentes tipos de maré e sua distribuição ao longo dos litorais do mundo são apresentados na Figura 8.

Figura 7 – Representação da combinação dos efeitos gravitacionais da Lua e do Sol sobre a Terra e sua influência na amplitude das marés.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Figura 8 – Tipos de maré que impactam nos litorais em torno do mundo.



Fonte: Adaptado de APRH, 2007.

2.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O início da Primeira Revolução Industrial, por volta de 1760, marcou a transição do sistema de manufatura para a maquinofatura, tornando necessária a utilização intensiva de combustíveis fósseis, sendo inicialmente utilizado o carvão, para o funcionamento dos maquinários industriais (Allen, 2014). De forma associada, o aumento da demanda por esses recursos intensificou o desmatamento e a exploração dos recursos naturais, elevando significativamente as emissões de gases responsáveis pelo agravamento do efeito estufa em escala global (Liu; Lin, 2018).

O efeito estufa é um fenômeno natural decorrente da presença de gases na troposfera, os quais retêm parte da radiação térmica emitida pela superfície terrestre após a incidência da radiação solar (Shah, 2020). Esse processo é fundamental para a manutenção do equilíbrio térmico do planeta, garantindo condições adequadas à existência da vida (Agarwal, 2024). Contudo, após aproximadamente 265 anos de crescimento exponencial das emissões de dióxido de carbono, o efeito estufa passou a ser intensificado de forma antrópica, configurando uma crise climática com potencial para gerar impactos irreversíveis aos sistemas naturais (Haque, 2024).

O aumento das emissões de gases de efeito estufa intensifica a retenção de calor na atmosfera, resultando na elevação da temperatura média global (Sandal, 2024). Conforme Zhu *et al.* (2025), esse aquecimento tem acelerado o derretimento de geleiras e calotas polares, contribuindo para a elevação do Nível Médio Global do Mar (NMM). Além disso, o aumento da temperatura da água marinha, provoca a expansão térmica das massas oceânicas (Raphael *et al.*, 2022), ampliando ainda mais o volume dos oceanos.

As mudanças climáticas também têm alterado os padrões naturais dos eventos meteorológicos (Park; Song; Lee, 2024). Nesse contexto, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), em português Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, foi criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1988, com o objetivo de avaliar as mudanças climáticas, seus impactos, projeções futuras e possíveis estratégias de mitigação e adaptação (Edenhofer; Kilimann; Seyboth, 2025). Atualmente, o IPCC é composto por 195 países membros, incluindo o Brasil (Brasil, 2022).

De acordo com o IPCC (2021), observa-se uma intensificação de tempestades, aumento na frequência e magnitude de chuvas intensas, períodos de seca mais

prolongados, ocorrência mais frequente de temperaturas extremas (tanto ondas de calor quanto episódios de frio intenso) e maior recorrência e extensão de incêndios florestais. Além disso, o IPCC (2021) aponta que as mudanças climáticas ameaçam cerca de um terço das espécies globalmente diversas, com impactos particularmente severos sobre anfíbios, bem como sobre espécies vegetais e animais de ecossistemas de montanhas, ilhas e ambientes de água doce. Embora esses impactos sejam majoritariamente resultantes das atividades humanas, seus efeitos atingem toda a população, incidindo com maior intensidade sobre grupos em situação de vulnerabilidade socioeconômica, frequentemente localizados em áreas suscetíveis a eventos hidrológicos extremos (Urban, 2024).

O IPCC reúne cientistas de diversas áreas do conhecimento para avaliar criticamente as pesquisas científicas mais recentes, identificar consensos na comunidade científica e apontar lacunas que demandam investigações adicionais (Brasil, 2022), e, com base nesse processo de validação científica, o órgão elabora cenários e projeções para diferentes contextos climáticos. Segundo Edenhofer, Kilimann e Seyboth (2025), os relatórios publicados periodicamente pelo IPCC fornecem uma visão global das mudanças climáticas e subsidiam o desenvolvimento de políticas públicas e o monitoramento das condições ambientais.

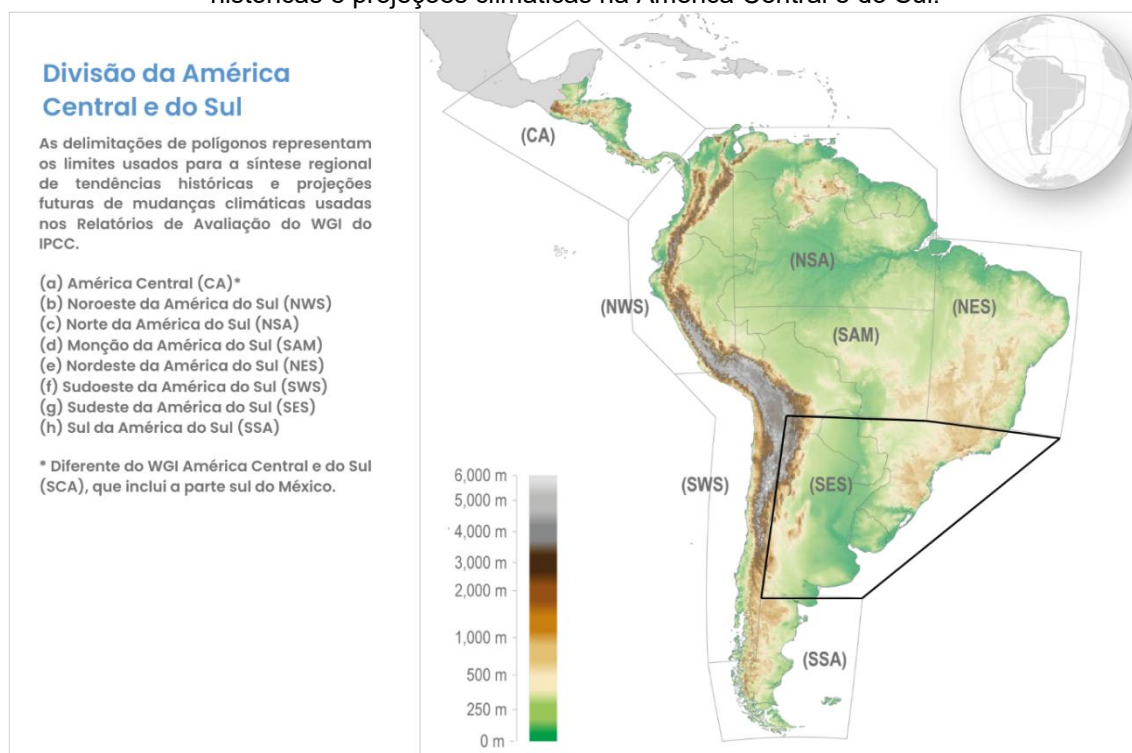
Gaeta (2024) afirma que o Acordo de Paris está alinhado com os cenários climáticos adotados pelo IPCC, acordo este firmado em 2015 por 195 países, cujo objetivo é fortalecer a resposta global às ameaças das mudanças climáticas e ampliar a capacidade de adaptação das nações. Além disso, o autor explica que o acordo estabelece o compromisso de limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2,0°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços adicionais para restringi-lo a 1,5°C até o ano de 2100.

Dessa forma, o IPCC (2022) organizou suas projeções em quatro cenários principais de mudanças climáticas, o cenário SSP1-2.6 pressupõe um desenvolvimento sustentável, com emissões líquidas de CO₂ próximas de zero até a segunda metade do século e aquecimento global mantido abaixo de 2,0 °C em relação ao período de 1850–1900. Já para o cenário SSP2-4.5, o relatório (2022) projetou sendo uma situação intermediária, baseada nas políticas atuais e nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) previstas até 2030, resultando em um aumento da temperatura global entre 2,7 °C e 3,0 °C até 2100.

O cenário SSP3-7.0 caracteriza-se como um cenário de baixa mitigação, associado ao aumento das desigualdades socioeconômicas e ao crescimento populacional (IPCC, 2022). Nesse contexto, as emissões de aerossóis tendem a aumentar até cerca de 2060, seguido de redução, resultando em um aumento da temperatura média global entre 3,0 °C e 4,0 °C até o final do século (IPCC, 2022). Por fim, o IPCC (2022) define o cenário SSP5-8.5 sendo uma trajetória de altas emissões, baseada em uma economia fortemente dependente de combustíveis fósseis, com crescimento econômico acelerado e poucas políticas de mitigação, levando a um aquecimento global superior a 4,0 °C até 2100.

Para organizar as análises regionais, o IPCC (2022) estruturou seus relatórios por continentes e subdividiu essas áreas em regiões delimitadas por polígonos, utilizados para a síntese regional de tendências históricas e projeções futuras de mudanças climáticas. Na Figura 9, pode-se observar as divisões delimitadas pelo relatório para a América Central e do Sul.

Figura 9 - Regionalização geográfica adotada pelo IPCC (2022) para a síntese de tendências históricas e projeções climáticas na América Central e do Sul.

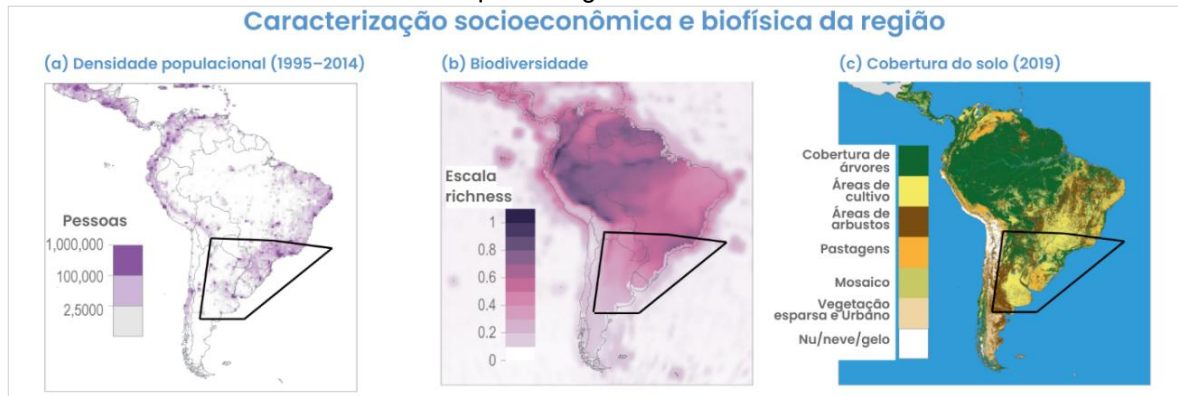


Fonte: Adaptado de IPCC (2022).

Além disso, o relatório do IPCC (2022) caracteriza essas regiões quanto à densidade populacional, biodiversidade e cobertura do solo, conforme ilustrado na

Figura 10. Essas informações são fundamentais, pois áreas com elevada concentração populacional tendem a apresentar maior vulnerabilidade aos impactos climáticos, enquanto a cobertura do solo influencia diretamente os processos hidrológicos, afetando a infiltração, o escoamento superficial e a retenção hídrica (Hasibuan *et al.*, 2025).

Figura 10 - Caracterização socioeconômica e biofísica da região considerando a vulnerabilidade climática com enfoque na região de estudo deste trabalho.

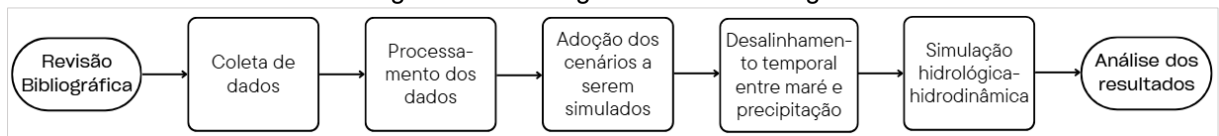


O relatório do IPCC (2022) projeta um aumento na frequência de eventos de temperaturas extremas, definidos como valores máximos diários que anteriormente eram excedidos, em média, uma vez a cada 10 ou 50 anos. O relatório projeta, ainda, um aumento no número de dias com ondas de calor e na duração dessas estações em diversas regiões. Contudo, essas mudanças não ocorrem de forma linear em relação às médias globais, refletindo a variabilidade regional dos impactos climáticos, especialmente na América do Sul (IPCC, 2022).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia empregada para a obtenção dos resultados desta monografia. Frente a isso, foram realizadas as seguintes etapas: caracterização da área de estudo, coleta e processamento de dados pluviométricos e de nível do mar, levantamento das projeções climáticas, e, por fim, simulações hidrológico-hidrodinâmicas baseadas em cenários definidos (Figura 11).

Figura 11 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

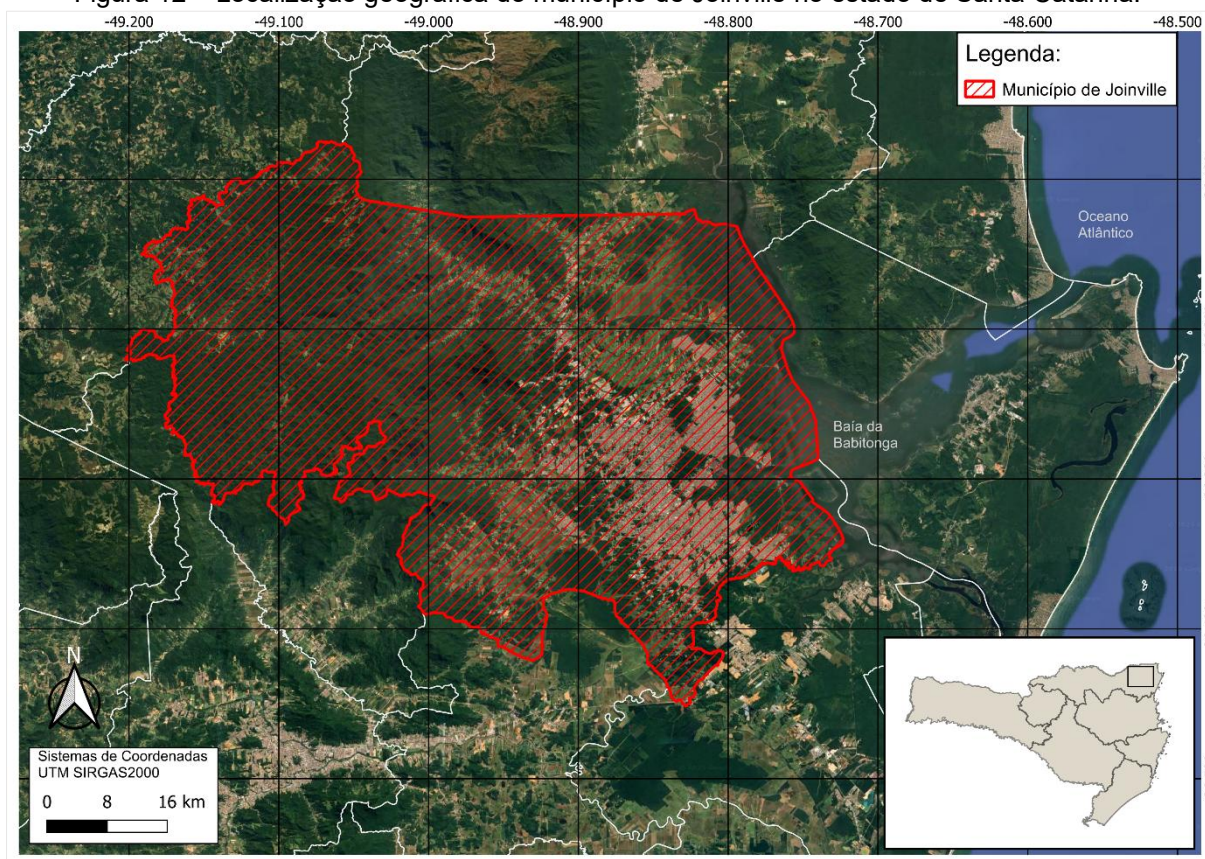
Nesta seção são apresentadas as principais características físicas, geográficas, ambientais e urbanas do município de Joinville e da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, região foco deste estudo.

3.1.1 Caracterização do município de Joinville

O município de Joinville está localizado na região norte do estado de Santa Catarina, nas coordenadas geográficas de 26° 18' 18" S e 48° 50' 46" O (Costa, 2015), conforme ilustrado na Figura 12. Com área aproximada de 1.128 km², Joinville é o município mais populoso do estado, contando com 616.317 habitantes segundo o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022), o que resulta em densidade demográfica de 546,41 hab/km².

Do ponto de vista socioeconômico, o município apresenta Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,809, classificado como alto (IBGE, 2010), além de taxa de escolarização de 97,3% para a população entre 6 e 14 anos. Joinville destaca-se também por sua expressiva atividade industrial, apresentando renda per capita anual de R\$ 74.531,62 (IBGE, 2021), o que reforça sua relevância econômica no contexto regional e nacional.

Figura 12 – Localização geográfica do município de Joinville no estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

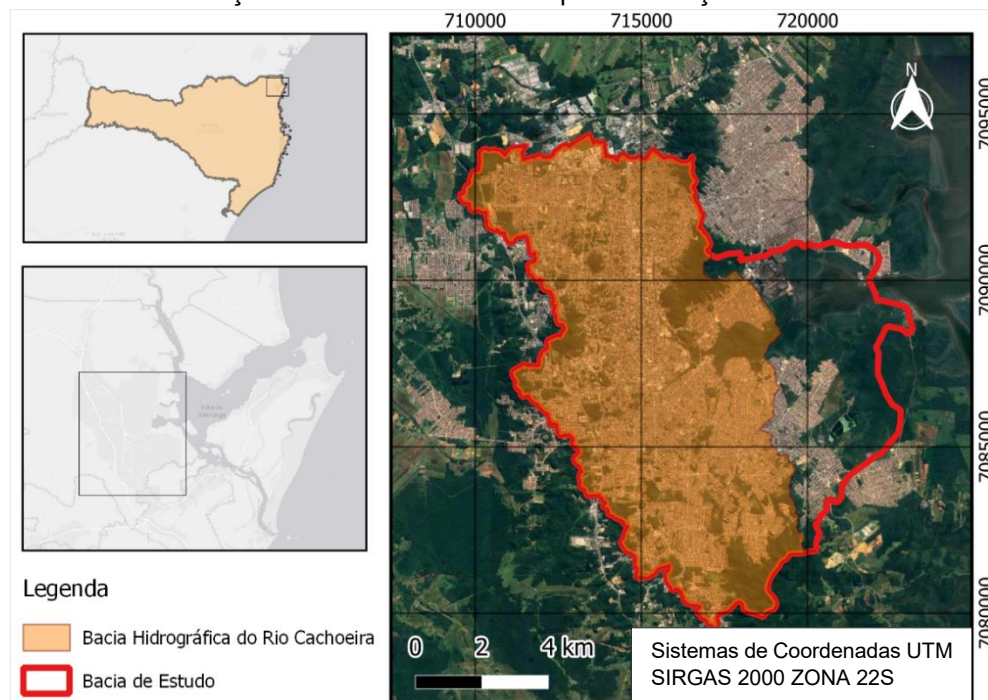
Segundo Costa (2015), com base na classificação climática de Köppen-Geiger apresentada na Figura 13, Joinville enquadra-se no clima subtropical úmido com verão quente (Cfa), caracterizado pela ausência de estação seca definida. O autor apresenta que esse tipo climático apresenta temperaturas médias superiores a 22 °C nos meses de verão e precipitação no mês mais seco superior a 30 mm. A precipitação média mensal na região é da ordem de 183,6 mm, levando a 2203,2 mm por ano (Mello; Oliveira, 2016), com elevada umidade relativa do ar e distribuição relativamente homogênea das chuvas ao longo do ano (Costa, 2015).

Mancinelli e Esemann-Quadros (2021) afirmam que o município está inserido no domínio do bioma Mata Atlântica, conferindo à região elevada biodiversidade e essa característica se expressa desde a presença de manguezais na região estuarina ao nível do mar até florestas densas e úmidas nas planícies e encostas, além de campos de altitude e matas nebulares nas áreas mais elevadas. Ademais, a área de Joinville é drenada por sete bacias hidrográficas principais: Rio Palmital, Rio Cubatão (Norte), Rio Piraí, Rio Itapocuzinho, Rio Cachoeira (BHRC), Independentes da

3.1.2 Caracterização da Bacia do Rio Cachoeira

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (PDDUBRC) (Joinville, 2011), a bacia encontra-se integralmente inserida na área urbana do município de Joinville, possuindo as nascentes de seu rio principal no bairro Costa e Silva e desaguando na Baía da Babitonga. O PDDUBRC (Joinville, 2011) apresenta que o curso principal apresenta cerca de 14,9 km de extensão e declividade média aproximada de 0,29%. O plano indica que a área original da bacia é de aproximadamente 80,0 km² (Joinville, 2011). No entanto, neste estudo, adotou-se a área redefinida por Borin (2025), uma vez que já existia um modelo previamente validado para essa configuração, permitindo maior foco em outros aspectos da pesquisa. Dessa forma, a área considerada totaliza 108,94 km², em função do reposicionamento do exutório para uma seção mais a jusante, nas proximidades do Joinville Iate Clube, conforme ilustrado na Figura 15. Essa adaptação mostrou-se mais adequada para a simulação dos efeitos de maré, devido à proximidade com o marégrafo instalado no local.

Figura 15 - Delimitação original da Bacia do Rio Cachoeira segundo a Prefeitura Municipal de Joinville e delimitação adotada neste estudo após redefinição do exutório.



Fonte: Borin, 2025.

A Bacia do Rio Cachoeira atravessa regiões densamente urbanizadas, com cerca de 85% a 90% de sua área inserida em ambiente urbano, concentrando aproximadamente 50% da população do município (Mello; Simm; Vieira, 2017). Esse elevado grau de urbanização intensifica o escoamento superficial, reduzindo a infiltração e fazendo com que parcela significativa da precipitação se converta diretamente em escoamento superficial (Tucci, 1993). O PDDUBRC (Joinville, 2011) destaca a ocorrência de eventos de inundação mesmo na ausência de chuvas, fenômeno associado à influência da maré.

O relevo do Rio Cachoeira, considerando seu curso principal, é predominantemente plano, com altitudes variando de aproximadamente 40 m nas áreas de nascente até 0 m no exutório (Joinville, 2011). A Baía da Babitonga, corpo receptor da foz da bacia do rio Rio Cachoeira, constitui o maior estuário de Santa Catarina, com cerca de 160 km² de superfície hídrica e extensas áreas de manguezais (Fachi *et al.*, 2018). Essa baía exerce influência direta sobre a hidrodinâmica da bacia, especialmente durante eventos de maré elevada, apresentando comportamento assimétrico das ondas devido aos efeitos de fricção e ao estreitamento do canal estuarino (Muller; Oliveira; Schardosim, 2012; Truccolo; Schettini, 1999).

3.2 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA-HIDRODINÂMICA ACOPLADOS

Esta seção descreve o modelo hidrológico-hidrodinâmico utilizado para o desenvolvimento do estudo, bem como os principais parâmetros adotados para as simulações.

3.2.1 Modelo utilizado

A simulação dos cenários de mudanças climáticas foi realizada com o uso do *software* HEC-RAS 6.6, utilizando a simulação hidrodinâmica bidimensional (2D) pelas Equações de Águas Rasas com inserção de dados de precipitação distribuída, topografia, uso do solo e nível do mar (Amaliah e Ginting, 2023). O modelo adotado neste trabalho foi originalmente desenvolvido por Borin (2025) para a mesma área de estudo deste trabalho.

Borin (2025) utilizou modelo com um acoplamento completo entre os processos hidrológicos e hidrodinâmicos, sendo alimentado por um Modelo Digital de Terreno

(MDT) obtido a partir de dados topográficos e batimétricos. O autor também explica que as condições de contorno foram definidas por meio de células de entrada e saída de fluxo no exutório da bacia e a entrada também ocorreu pela chuva distribuída nas células. A malha computacional foi calibrada com base em testes de sensibilidade, com o objetivo de otimizar tanto a precisão geométrica quanto o tempo de processamento, conforme ilustrado na Figura 16. Para os testes de sensibilidade da malha, foram adotadas células com lados de 25 m e 50 m. Já nas regiões próximas ao rio, a discretização foi refinada, utilizando células com lados de 5 m e 10 m.

Figura 16 – Malha utilizada para simulação.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Para representar os processos de infiltração, Borin (2025) utilizou o método *Curve Number* (CN) (NRCS, 2004), com variação espacial baseada em uso e ocupação do solo e nas classes hidrológicas da região. Já o coeficiente de rugosidade de Manning, o autor atribuiu um valor fixo e uniforme de 0,06. Dessa forma, todos os dados utilizados por Borin (2025) para a elaboração do modelo, bem como sua origem, estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo dos dados coletados.

Características	Base de Dados
Hidrografia	Shapefile do SIMGeo (Joinville, 2010)
Uso e ocupação do solo	Shapefile do MonitoraSC (Vibrans <i>et al.</i> , 2021)
Pedologia	Shapefile do SIMGeo (Joinville, 2010)
Relevo	MDT do SIGSC (SDS/SC, 2016)
Precipitação observada	Série histórica da PMJ e do CEMADEN
Nível observado	Série histórica da PMJ e da UDESC
Vazão inicial das nascentes	Dado de Dos Santos (2024)
Batimetria	Campanhas de batimetria realizadas por Borin (2025)

Fonte: Adaptado de Borin, 2025.

A validação do modelo realizada por Borin (2025) utilizou como base os dados de estações de nível mantidas pela UDESC e pela PMJ, além de imagens de câmeras de segurança da prefeitura, demonstraram boa concordância com eventos históricos, inclusive aqueles classificados como inundações compostas. Com base na boa resposta do modelo à realidade observada, o mesmo será utilizado no presente trabalho, com a inserção de dados de entrada ajustados para cinco cenários distintos que serão descritos a seguir.

Ressalta-se que o modelo adotado e a metodologia associada ao *software* empregado não contemplam os sistemas de microdrenagem urbana, o que pode resultar na formação de acúmulos de água em função da topografia local. Além disso, não foram representados cursos d'água tubulados, devido à dificuldade de obtenção de dados geométricos confiáveis dessas estruturas.

3.2.2 Parâmetros adotados para simulação

Embora este trabalho se baseie em um modelo previamente desenvolvido por Borin (2025), a presente pesquisa realiza avanços ao ampliar sua aplicação para a análise de cenários climáticos futuros. A principal contribuição consiste na integração de dados climáticos projetados com base nos cenários do IPCC (2022) para 2100 e na elaboração de chuvas de projetos e a reconstituição da maré astronômica, o que permite avaliar os impactos combinados da elevação do nível médio do mar e do aumento da precipitação extrema sobre a bacia do Rio Cachoeira.

Além das características originais do modelo de Borin (2025), outros parâmetros foram definidos especificamente para as simulações deste trabalho.

Optou-se pela simulação de eventos com duração de 60 horas, utilizando estratégia de intervalo de tempo variável, com discretização temporal de 0,1 s. Os parâmetros de adaptação adotados consideraram número de Courant variando entre 0,2 e 0,8, número de passos abaixo do mínimo antes da duplicação igual a 4, número máximo de duplicações do passo de tempo base igual a 3 (atingindo 0,8 s) e número máximo de reduções (pela metade) do discretização temporal igual a 8. Nessa estrutura, foram inseridos dados de chuvas de projeto e reconstituição da maré astronômica, elaborados com base nas condições previstas para diferentes cenários de mudanças climáticas. A metodologia adotada para a definição desses dados está detalhada na próxima seção.

3.3 COLETA DE DADOS

Esta seção apresenta os principais dados coletados e que serão utilizados ao longo do trabalho. São detalhados os parâmetros adotados para a definição das chuvas de projeto, da reconstituição da maré astronômica e dos cenários de mudança climática.

3.3.1 Chuva de Projeto

Inicialmente, selecionou-se a estação pluviométrica nº 2648014, monitorada pela EPAGRI-CIRAM, e localizada no bairro atiradores. Foram utilizados 19 anos de dados contínuos, no período de 09/2005 a 08/2024, por não apresentarem falhas, com o objetivo de compor a série de máximas anuais com base no ano hidrológico. A partir dessa base, a precipitação de projeto foi estimada por meio da análise estatística das séries históricas de dados pluviométricos da estação considerada representativa da área de estudo. A fim de obter a Curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF), adotou-se a distribuição Log-Pearson tipo III (INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA, 1982), amplamente utilizada em estudos hidrológicos, em conjunto com o método de Ven Te Chow (Chow *et al.*, 1988), possibilitando a estimativa das intensidades de chuva associadas a diferentes tempos de retorno.

Posteriormente, aplicou-se uma escala logarítmica às intensidades de precipitação, aliada à adoção de coeficientes de ajuste com o objetivo de maximizar a

linearização das curvas. Esses coeficientes foram definidos com incrementos de 2,5 minutos, variando de 2,5 até 15 minutos. A partir das intensidades calculadas, procedeu-se à desagregação das chuvas para durações inferiores conforme DAEE/CETESB (1980), viabilizando a construção das curvas IDF e o ajuste de uma equação representativa do regime pluviométrico local. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R^2), assegurando a consistência estatística da equação adotada. Essa equação foi utilizada para a definição da precipitação de projeto correspondente aos cenários analisados.

Então, a precipitação total de 24 horas estimada foi distribuída temporalmente com base no método proposto por Huff (1967), que organiza o evento de chuva em quartis e permite a simulação de diferentes padrões de concentração da precipitação ao longo do tempo. Neste estudo, adotou-se a configuração mais crítica de acordo com Monteiro e Kobiyama (2014), com concentração do pico de chuva no último quartil, por representar condições mais desfavoráveis ao escoamento e à drenagem urbana. A partir dessa distribuição, obteve-se a chuva de projeto efetivamente utilizada como dado de entrada nas simulações.

3.3.2 Maré astronômica

Os dados para a recomposição da maré astronômica utilizados neste trabalho foram obtidos por Borin (2025), foi possível fazer a recomposição da maré astronômica representativa para a foz da Bacia Estendida do Rio Cachoeira com base nas constituintes apresentadas na Tabela 1, considerando o período compreendido entre 05/10/2023 às 11:00 e 05/03/2024 às 09:00, evidenciando o comportamento periódico da maré astronômica. Conforme Borin (2025) os dados foram obtidos por meio de uma análise harmônica realizada a partir de uma série de dados com 3647 dados registrados pelo marégrafo localizado no Joinville Iate Clube (JIC), utilizando a ferramenta T_tide (Pawlowicz; Beardsley; Lentz, 2002). Essa análise considerou apenas a componente astronômica da maré, desconsiderando os efeitos meteorológicos.

Com base na série recomposta de alturas de maré da Estação instalada no JIC e monitorada pelo próprio clube com dados por hora, adotou-se como referência o maior valor observado. A partir desse pico, definiu-se um intervalo de 12 horas anteriores e 12 horas posteriores, configurando um evento influenciado pela maré com

duração total de 24 horas, de modo a representar adequadamente o evento de onda. Contudo, para possibilitar o deslocamento temporal da precipitação, foi necessário a ampliar a análise temporal dos dados. Assim, foi adotado um período total de 47 horas para utilizar como dado de entrada no *software* HEC-RAS

Ressalta-se que a maré reconstituída considera exclusivamente as componentes harmônicas, não incorporando efeitos meteorológicos, como ação dos ventos e variações de pressão atmosférica, nem forçantes não harmônicas associadas ao escoamento fluvial. Essa simplificação decorre da indisponibilidade de dados e de modelagem acoplada que permitisse representar adequadamente tais processos.

Tabela 1 - Constituintes harmônicas encontradas na estação do Joinville late Clube.

Constituinte	Frequência (cph)	Amplitude (m)	Fase (graus)
Q1	0,0372185	0,0362	124,19
O1	0,0387307	0,1328	114,58
K1	0,0417807	0,0683	4,33
N2	0,0789992	0,0634	71,14
M2	0,0805114	0,4104	336,9
L2	0,0820236	0,0419	120,77
S2	0,0833333	0,2782	148,38
MO3	0,1192421	0,0772	295,84
M3	0,1207671	0,1425	241,04
MK3	0,1222921	0,0585	227,85
MN4	0,1595106	0,0941	345,00
M4	0,1610228	0,2389	7,23
MS4	0,1638447	0,1197	273,97
2MN6	0,2400221	0,008	217,01
M6	0,2415342	0,0157	224,1
2MS6	0,2443561	0,0219	33,94
3MK7	0,2833149	0,0043	81,74
M8	0,3220456	0,0057	305,85

Fonte: Adaptado de Borin (2025).

3.3.3 Deslocamento temporal entre o pico da precipitação e da maré

Para representar o cenário mais crítico da simulação, adotou-se a metodologia proposta por Harrison *et al.* (2021), que considera a defasagem temporal entre o pico da maré e o pico da precipitação. Essa defasagem foi analisada por meio de

deslocamentos do pico de precipitação de até 12 horas, tanto positivos quanto negativos, em relação ao alinhamento com o pico da maré astronômica, conforme apresenta a Figura 17. Para a aplicação dessa abordagem, considerou-se um evento de precipitação com duração de 24 horas.

Figura 17 – Esquema de deslocamento entre os picos da maré e da precipitação.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Para a definição do cenário mais crítico, foram simulados os 25 deslocamentos temporais entre os picos de precipitação e de maré. Em cada simulação, os valores máximos de inundação foram exportados para o *software* QGIS (QGIS *Developed Team*, 2026), um programa computacional de Sistema de Informação Geográfica, de código aberto e multiplataforma, que possibilita a visualização, processamento e análise de dados georreferenciados. No QGIS, as manchas de inundação foram comparadas com base em suas áreas, desconsiderando-se as áreas correspondentes aos corpos hídricos e considerando apenas as águas que extravasam da calha, expressas em quilômetros quadrados. Adotou-se como cenário mais crítico aquele que apresentou a maior extensão de área inundada, representando o desalinhamento mais desfavorável entre os picos de precipitação e maré.

3.3.4 Projeção de mudanças climáticas

Os dados utilizados para representar as mudanças climáticas foram obtidos por meio do IPCC Interactive Atlas (IPCC, 2022), sem aplicação de técnicas de downscaling. As projeções são baseadas no conjunto multimodelo do CMIP6, sendo adotada a estatística P50 (mediana do ensemble) para representar a tendência central das simulações. Essa base contempla os dois parâmetros de análise: alterações na precipitação e variação do nível médio do mar. Para obtenção desses dados, foi

selecionada a região denominada *South-Eastern South America* (SES), conforme definido pelo IPCC (2022), que abrange o sudeste da América do Sul, incluindo parte do território brasileiro (Figura 9). O período de referência adotado para a análise histórica foi de 1995 a 2014, utilizado como base comparativa para os cenários futuros projetados.

Frente a isso, arbitrou-se estudar cinco cenários de simulação, a primeira sendo a simulação com os dados atuais, considerando o pior cenário de desalinhamento temporal entre os picos (C0_-10) e os outros quatro cenários são de mudanças climáticas (considerando o mesmo desalinhamento temporal do cenário atual), que foram definidos conforme os relatórios do IPCC (2022). Os dados correspondentes a cada cenário estão apresentados no Quadro 2.

Os dados de precipitação e do nível médio do mar atual foram obtidos pela autora com base, respectivamente, na chuva de projeto e na recomposição da maré astronômica a partir dos dados propostos por Borin (2025), conforme explicado anteriormente. Já as informações de aumento de temperatura foram obtidas a partir de registros disponibilizados pelo IPCC (2025), sendo utilizadas apenas como referência para contextualizar os cenários climáticos analisados, e não como dado de entrada no modelo. Os dados empregados nos demais cenários correspondem às projeções climáticas futuras do IPCC (2022), sendo adotados como referência para a interpretação dos impactos simulados. Com base nisso, foram simulados cenários de projeção de mudanças climáticas no modelo em estudo, considerando simultaneamente a elevação do nível do mar e o incremento da precipitação referente a cada cenário. Destaca-se que, conforme apontado pelo IPCC (2019), não são previstas alterações significativas nas amplitudes das ondas no Atlântico Sul, razão pela qual esse aspecto não foi abordado nas análises desenvolvidas neste trabalho.

Quadro 2 – Dados de entrada utilizados nas simulações hidrodinâmicas, organizados conforme os cenários climáticos do IPCC. Os valores destacados em laranja correspondem aos dados observados ou obtidos (cenário atual), enquanto os campos em branco representam dados projetados para cenários futuros.

Cenário conforme IPCC	Atual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Cenário adotado neste estudo	C0	C1	C2	C3	C4
Precipitação considerada	Chuva de projeto	Aumento de 3,4%	Aumento de 11,7%	Aumento de 25,0%	Aumento de 30,6%
Nível médio do mar considerado	Recomposição da maré astronômica	Acréscimo de 0,44m	Acréscimo de 0,58m	Acréscimo de 0,72m	Acréscimo de 0,81m

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

3.4 PONTO DE MARÉ

Para a delimitação da região de influência da maré, foram simulados cinco cenários hidrodinâmicos, considerando exclusivamente a interação entre vazões fluviais constantes e a variação do nível do mar associada a cada condição de mudança climática, sendo um cenário atual e quatro cenários futuros. Como condições de contorno, adotaram-se as vazões de estiagem estimadas por Dos Santos (2024) e a maré astronômica reconstituída, aplicadas tanto ao cenário atual quanto aos cenários climáticos. Nessa abordagem, desconsideraram-se eventos de precipitação e variações temporais nas vazões fluviais, a fim de isolar o efeito da maré.

Essa abordagem permitiu isolar o efeito da forçante marítima sobre a propagação do nível d'água ao longo do canal, reduzindo a interferência de variáveis adicionais no processo de análise, como a chuva. A partir dos resultados do modelo, foram extraídas séries temporais de nível d'água, pelo *software* HEC-RAS, ponto a ponto ao longo do Rio Cachoeira, possibilitando a avaliação da propagação da onda de maré no ambiente fluvial. A identificação da região de influência foi baseada na análise da amplitude de oscilação do nível d'água ao longo do tempo em cada seção.

Como critério de delimitação, adotou-se um limiar de variação de 3,00 cm na amplitude do nível d'água para caracterizar a influência efetiva da maré. Esse valor foi definido considerando a ordem de grandeza das oscilações observadas e as limitações de precisão associadas ao modelo numérico, principalmente às incertezas nos dados de entrada (como topografia, condições de contorno e séries hidrológicas), à discretização espacial da malha e aos parâmetros hidráulicos adotados (como coeficientes de rugosidade). Dessa forma, o ponto de maré foi definido como a seção mais a montante em que a amplitude de oscilação iguala ou supera esse limiar. Para os trechos situados a montante desse ponto, que apresentaram variações inferiores a 3,00 cm, não foi realizada análise detalhada. Ainda assim, admite-se a possibilidade de influência residual da maré, tendo em vista as incertezas inerentes à modelagem hidrodinâmica, às simplificações adotadas e às limitações de resolução espacial e numérica do modelo.

3.5 COMPARATIVO DE CENÁRIOS

A análise dos resultados obtidos a partir das simulações foi realizada com base na comparação espacial e gráfica das manchas de inundação, considerando os diferentes cenários climáticos e os parâmetros hidrodinâmicos adotados. Dessa forma, seguindo a metodologia de Monteiro *et al.* (2021), foi feita uma análise comparativa percentual entre as áreas inundadas obtidas através da Equação (3)

$$A_{i\%} = \frac{A_i - A_{ch}}{A_T - A_{ch}} \quad (3)$$

onde $A_{i\%}$ é a área inundada em %, A_T é a área total da bacia, em km², A_{ch} é a área dos corpos hídricos em km² e A_i é a área inundada em km², com o objetivo de identificar a variação da extensão das manchas de inundação nos cenários avaliados. Além disso, foram avaliadas as mudanças das manchas de inundação por bairro entre os diferentes cenários, a fim de, analisar a sensibilidade espacial às alterações nos parâmetros climáticos. Essa análise indicou as regiões da bacia que apresentam maior variação de comportamento hidrodinâmico, bem como aquelas que permaneceram relativamente estáveis, evidenciando a distribuição espacial da vulnerabilidade frente às projeções de mudança climática.

Destaca-se que não foi realizada a remoção de acúmulos pontuais de água (poças) nos mapas de inundação nem no cálculo das áreas inundadas. Essa decisão metodológica deve-se à ausência de representação das estruturas de microdrenagem urbana no modelo adotado. Adicionalmente, considera-se que, mesmo com a inclusão dessas estruturas, a água drenada seria conduzida para jusante, contribuindo para o aumento da mancha de inundação nos trechos receptores.

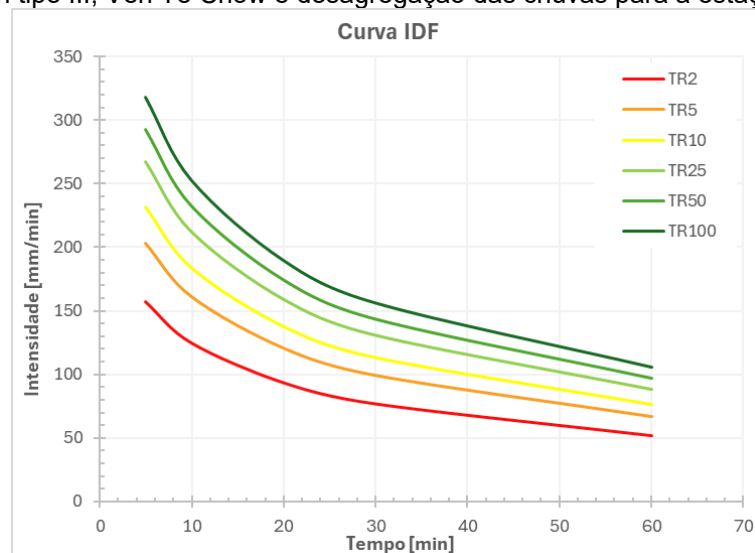
4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia, bem como as discussões associadas à sua interpretação.

4.1 CHUVA DE PROJETO

A aplicação da metodologia proposta permitiu a obtenção das curvas IDF para os dados analisados, considerando tempos de retorno entre 2 e 100 anos, conforme apresentado na Figura 18. Não foram avaliados tempos de retorno superiores, uma vez que estes tendem a incorporar maiores incertezas e erros associados.

Figura 18 – Curva Intensidade–Duração–Frequência (IDF) obtida a partir da aplicação dos métodos Log-Pearson tipo III, Ven Te Chow e desagregação das chuvas para a estação analisada.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

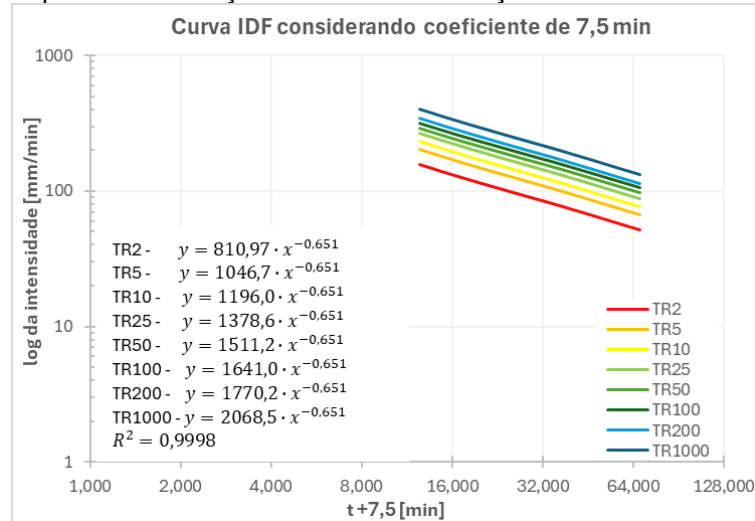
A partir da aplicação da escala logarítmica às intensidades de precipitação e da variação do coeficiente de ajuste visando à linearização das curvas, verificou-se que o coeficiente de 7,5 minutos proporcionou o melhor ajuste. Com base nisso, foram traçadas as linhas de tendência para os diferentes tempos de retorno, adotando-se uma relação do tipo potencial, conforme apresenta a Equação (4),

$$y = C \cdot x^d \quad (4)$$

onde y é o logaritmo da intensidade [mm/min], C é coeficiente de multiplicidade [admissional], x é o tempo característico [min] e d é expoente de linearidade

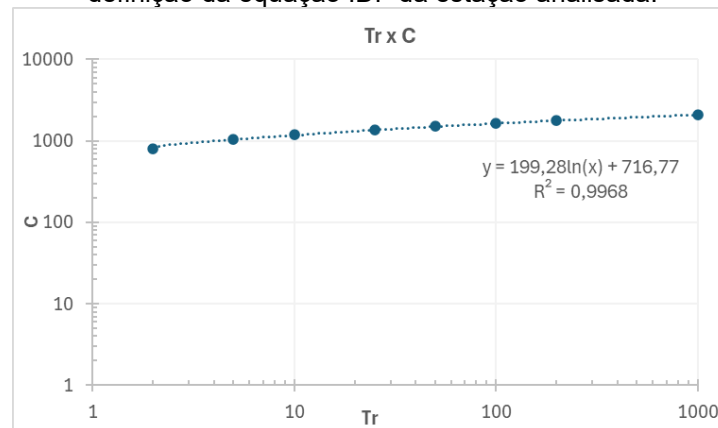
[admissional]. Esta formulação fundamenta a obtenção da equação IDF, cujos parâmetros foram definidos com base na Figura 19. A relação entre o tempo de retorno e numerador de multiplicidade ($Tr \times C$) resultante desse processo é apresentada na Figura 20.

Figura 19 – Curva IDF com aplicação de escala logarítmica e coeficiente característico de 7,5 minutos, utilizada para a linearização dos dados e obtenção dos coeficientes de multiplicidade.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Figura 20 – Relação entre o tempo de retorno (Tr) e os coeficientes de multiplicidade (C), utilizada na definição da equação IDF da estação analisada.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

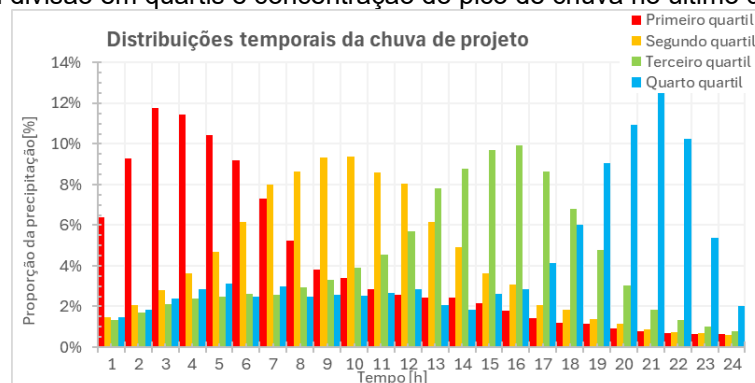
Com a equação da linha de tendência obtida na Figura 20, foi possível obter a Equação (5), IDF específica para a estação analisada e para os dados considerados,

$$i = \frac{199,28 \ln (Tr) + 716,77}{(t + 7,5)^{0,651}} \quad (5)$$

em que, i é corresponde à intensidade da precipitação (milímetros por hora), Tr é o tempo de retorno (anos), t refere-se à duração da precipitação (minutos). A equação ajustada apresentou coeficiente de determinação R^2 igual a 0,9968, indicando um bom ajuste aos dados observados. Dessa forma, ao considerar o tempo de precipitação igual 24 horas, ou seja, 1440 minutos, e um tempo de retorno de 100 anos, obteve-se uma intensidade de precipitação de 14,3 mm/h. Essa intensidade será utilizada para o dimensionamento da chuva de projeto aplicada neste estudo.

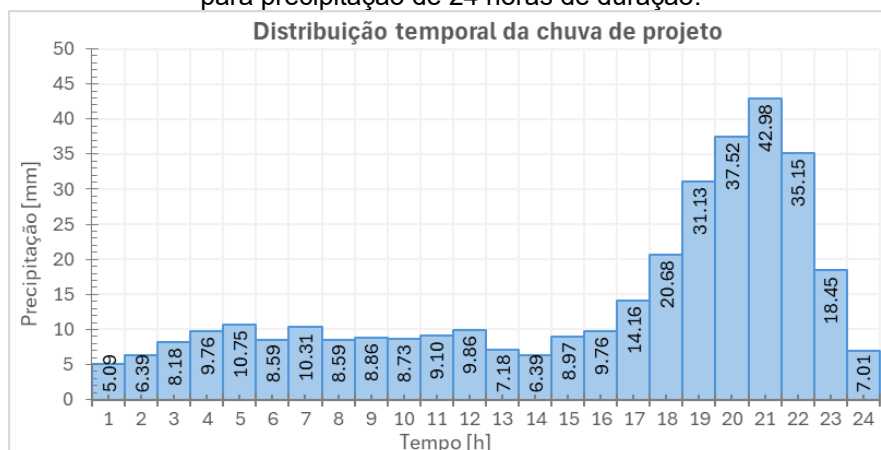
Em seguida, aplicou-se a distribuição temporal em quatro quartis conforme Monteiro e Kobiyama (2014), uma vez que concentra o maior pico de precipitação na vigésima primeira hora do evento, conforme ilustrado na Figura 21. Dessa forma, a chuva de projeto adotada neste trabalho, resultante da aplicação da distribuição temporal do quarto quartil ao evento definido pela equação IDF multiplicado pelas 24 horas de precipitação, é apresentada na Figura 22.

Figura 21 – Distribuição temporal da precipitação segundo o método de Monteiro e Kobiyama (2014), com divisão em quartis e concentração do pico de chuva no último quartil.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Figura 22 – Distribuição temporal da chuva de projeto adotada neste estudo, obtida a partir da aplicação do método de Monteiro e Kobiyama (2014) aos parâmetros definidos pela equação IDF para precipitação de 24 horas de duração.



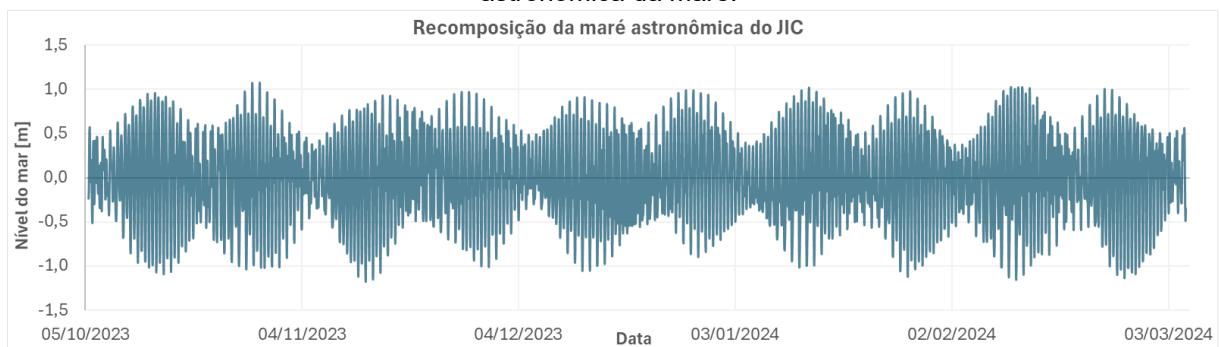
Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

4.2 MARÉ ASTRONÔMICA

A aplicação da metodologia proposta permitiu a recomposição temporal da maré, conforme apresentado na Figura 23 considerando toda a série de dados obtida por Borin (2025) com dados por hora. A partir dessa série, adotou-se como referência para a geração da onda de 24 horas (Figura 24) o maior nível observado, registrado em 29/10/2023 às 04:00, sendo considerado 12 horas antes e depois. Adicionalmente, visando possibilitar o deslocamento temporal da precipitação, ampliou-se a janela de análise para um período total de 47 horas, o qual foi utilizado como dado de entrada no software HEC-RAS, conforme ilustrado na Figura 25.

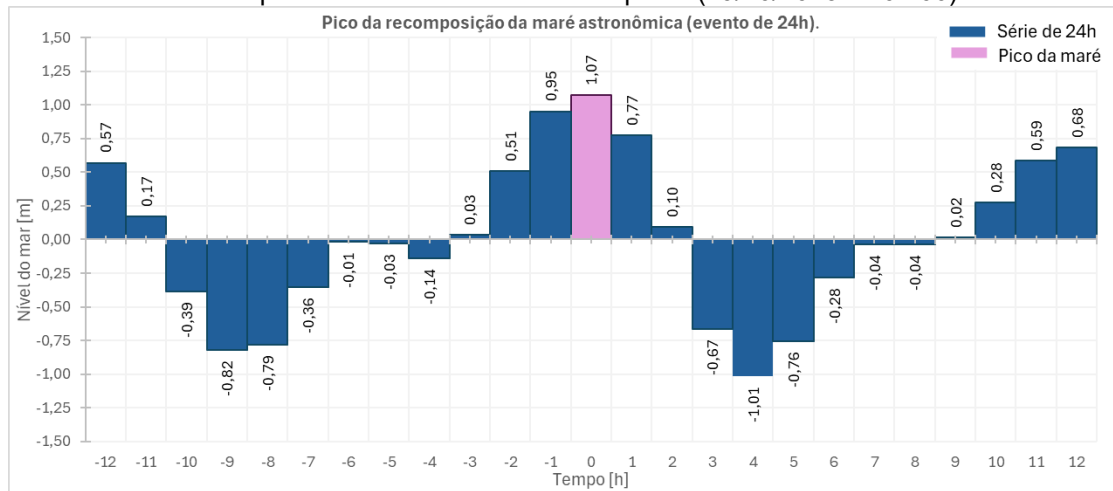
Destaca-se, entretanto, que, na região da Baía da Babitonga, a dinâmica do nível d'água não é controlada apenas pela maré astronômica, sendo fortemente influenciada pela propagação da onda de maré em ambiente de águas rasas, bem como por efeitos meteorológicos e pela vazão fluvial (Truccolo; Schettini, 1999). Dessa forma, reconhece-se que a série utilizada constitui uma aproximação do comportamento real, sendo adequada para fins de análise comparativa entre cenários, ainda que não represente integralmente a complexidade hidrodinâmica local.

Figura 23 – Recomposição temporal da maré astronômica na estação do Joinville late Clube (JIC), obtida a partir das constituintes harmônicas, considerando exclusivamente a componente astronômica da maré.



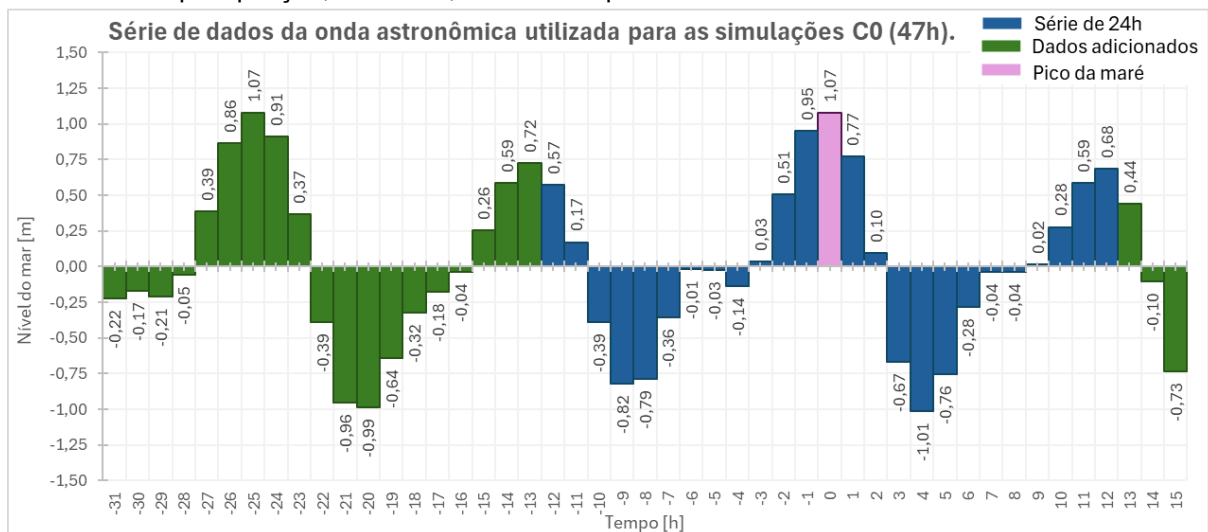
Fonte: Adaptado de Borin, 2025.

Figura 24 – Pico de recomposição da maré astronômica com duração de 24 horas, definido a partir do maior pico observado na série recomposta (29/10/2023 às 04:00).



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Figura 25 – Recomposição da maré astronômica com duração de 47 horas, sendo a série original de 24 horas representada em azul; os dados adicionais, utilizados para ajuste da variação temporal da precipitação, em verde; e em lilás o pico da maré usado como referência.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

4.3 DESLOCAMENTO TEMPORAL ENTRE O PICO DA PRECIPITAÇÃO E DA MARÉ

A aplicação da metodologia proposta por Harrison *et al.* (2021) permitiu avaliar, de forma sistemática, a influência da defasagem temporal entre os picos de precipitação e de maré sobre a extensão das áreas inundadas na bacia hidrográfica em estudo. Ressalta-se que, neste trabalho, não foram analisadas as velocidades e as profundidades resultantes das simulações, restringindo-se a avaliação à extensão das áreas inundadas. Foram simulados 25 cenários de deslocamentos temporais

(Figura 26), variando de C0_-12 a C0_+12, os quais representam diferentes adiantamento e atrasos do pico de precipitação em relação ao pico da maré, incluindo a condição de alinhamento entre os picos (C0_00).

A análise comparativa das áreas das manchas de inundação, realizada por meio de geoprocessamento no *software* QGIS, evidenciou que o alinhamento exato entre os picos de precipitação e de maré não resultou no maior impacto em termos de área inundada. Os resultados das simulações para cada cenário, em termos de áreas inundadas, são apresentados na Figura 27, sendo desconsiderado os corpos hídricos da região. Os dados brutos da precipitação e de maré estão descritos no APÊNDICE A.

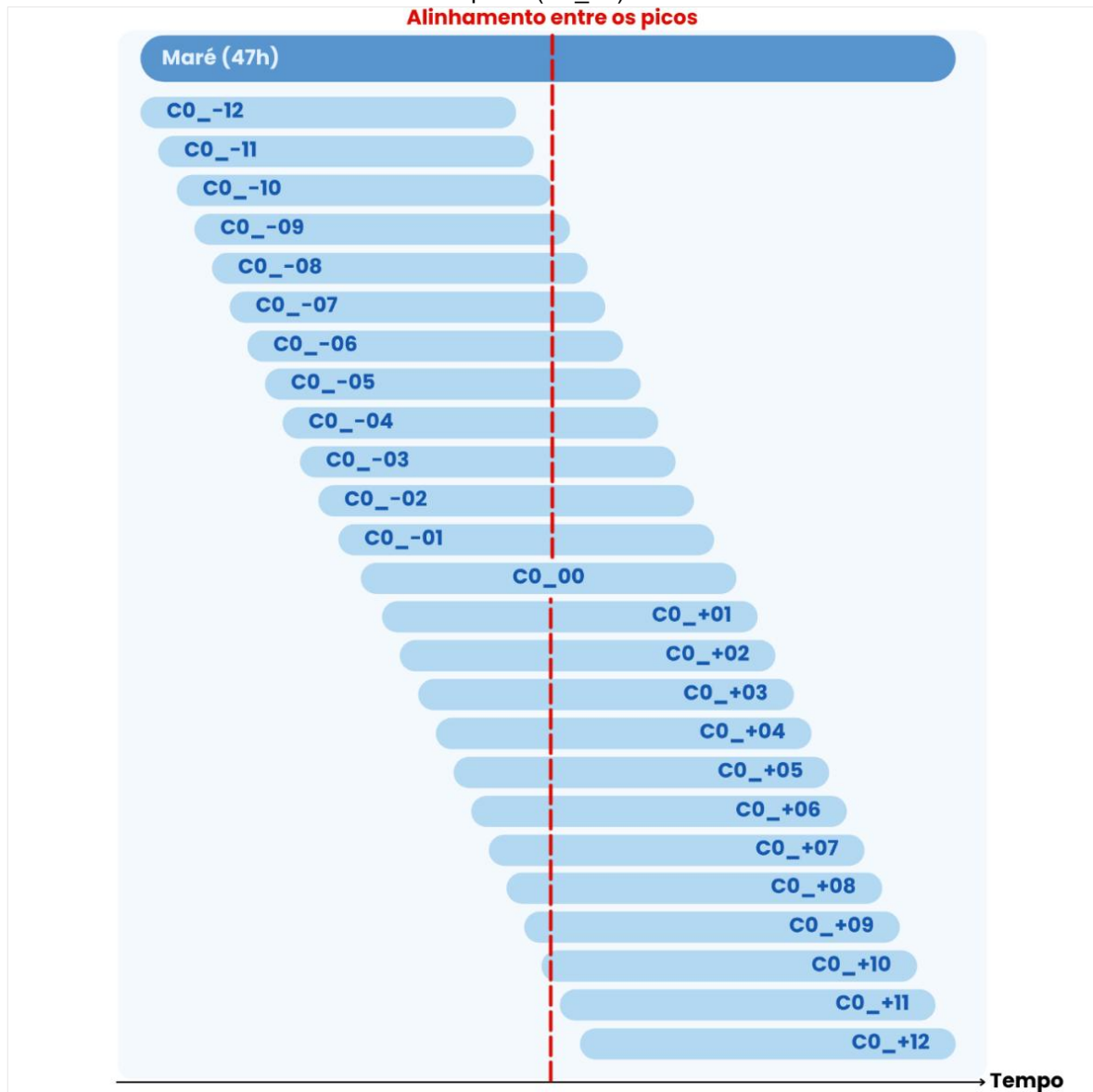
Nos cenários com deslocamentos negativos, a área inundada inicia em aproximadamente 33,89 km² (C0_-12), aumentando levemente até atingir o valor máximo simulado próximo de 34,03 km² em C0_-10, conforme Figura 28. A partir desse ponto, verifica-se uma redução gradual, chegando em um mínimo local de cerca de 32,93 km² em C0_-04. Em seguida, há uma recuperação progressiva até o cenário C0_+03, com aproximadamente 33,90 km². Após esse ponto, observa-se tendência de redução contínua da área inundada, alcançando o menor valor da série em C0_+12, com aproximadamente 32,50 km².

De forma geral, a variação total entre o maior e o menor valor é da ordem de 1,53 km², o que representa uma diferença relativa de 4,5%. Ainda que a amplitude não seja elevada, os resultados evidenciam que a dinâmica de acoplamento entre chuva e maré apresenta comportamento não linear, com existência de defasagens temporais que intensificam a extensão da mancha de inundação, característica típica de sistemas sob influência estuarina.

Esse comportamento sugere que a ocorrência do pico de precipitação aproximadamente 3 horas após o pico de maré alta também resulta nas maiores áreas inundadas na bacia estendida do Rio Cachoeira, evidenciando a existência de dois períodos críticos associados à interação entre chuva e maré. Do ponto de vista prático, esses resultados indicam que a atuação de órgãos como a Defesa Civil deve considerar ambos os intervalos de defasagem (C0_-10 e C0_+03) como condições de maior risco, uma vez que podem potencializar significativamente a ocorrência de eventos de inundação.

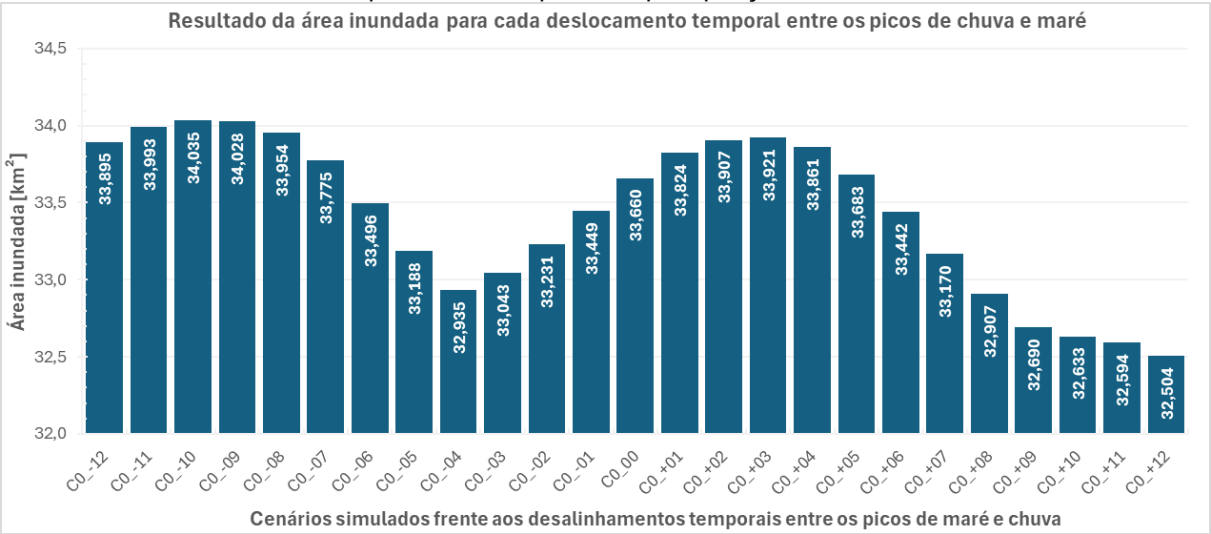
Adicionalmente, com base no resultado de *arrival time* obtido no *software* HEC-RAS, estimou-se o tempo de concentração da bacia, que apresentou valor aproximado de 8 horas para o cenário com maior extensão de área inundada.

Figura 26 – Esquema do alinhamento temporal entre o pico da maré e os cenários de deslocamento da precipitação (C0_-12 a C0_+12). A linha tracejada indica a condição de alinhamento entre os picos (C0_00).



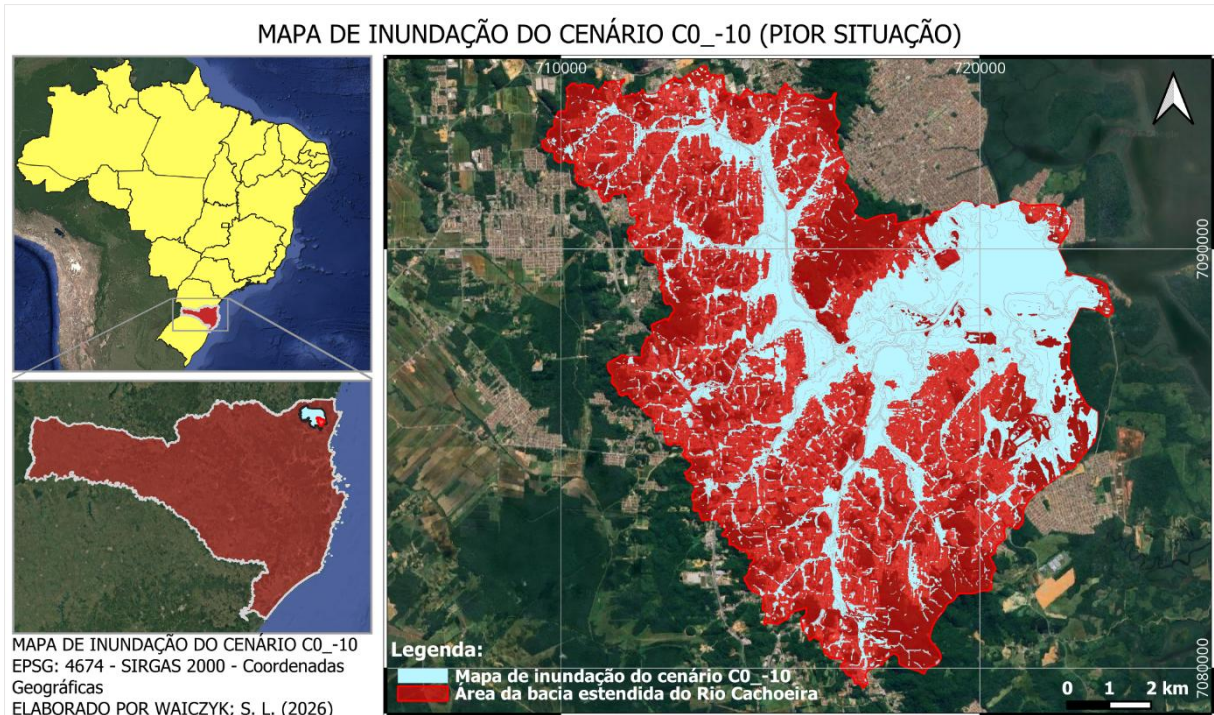
Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Figura 27 – Dados obtidos através das simulações das áreas inundadas para cada desalinhamento temporal entre os picos de precipitação e maré.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Figura 28 – Mapa de inundação do Cenário C0_-10, sendo este considerado o pior cenário quando analisada a área de inundação.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

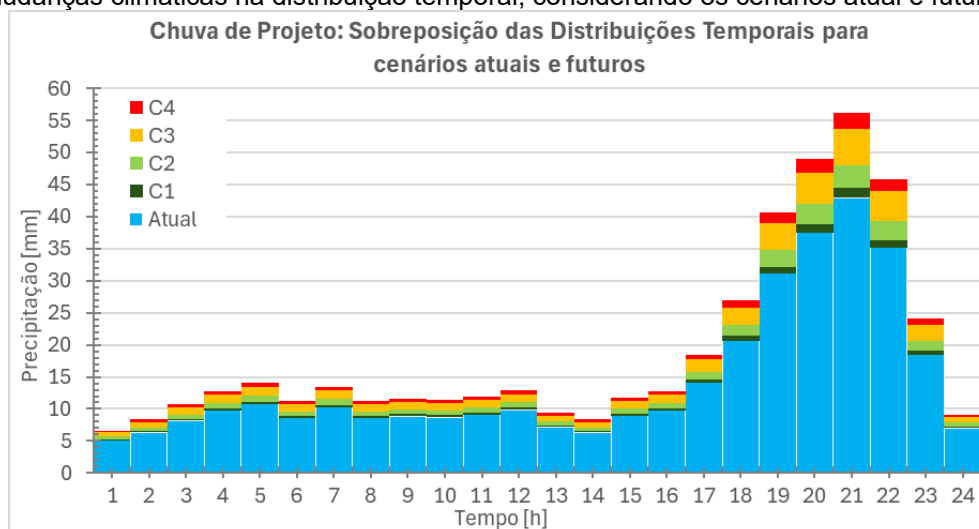
4.4 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO E NO NÍVEL DO MAR

Para a simulação dos impactos das mudanças climáticas na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, foi necessário considerar as variações tanto na precipitação quanto

no nível do mar, de forma a representar cenários futuros consistentes com as projeções climáticas. Para isso, adotaram-se como base a defasagem temporal de precipitação e maré utilizados no cenário atual (C0_-10), aos quais foram aplicados incrementos conforme os cenários de mudanças climáticas definidos pelo IPCC.

No caso da precipitação, os valores de chuva previamente determinados foram ajustados por meio da aplicação de percentuais de variação associados aos cenários SSP1-2.6 (C1), SSP2-4.5 (C2), SSP3-7.0 (C3) e SSP5-8.5 (C4), conforme apresentado no Quadro 1. A aplicação desses incrementos resultou nos valores de precipitação apresentados na Figura 29, na qual se observa um aumento progressivo dos volumes de chuva à medida que se avançam para cenários mais críticos. Os dados brutos da precipitação estão descritos no APÊNDICE B. Em comparação ao cenário atual, os acréscimos variam desde aumentos moderados no cenário C2 até incrementos expressivos nos cenários C3 e C4, refletindo a intensificação prevista dos eventos de precipitação extrema sob maiores níveis de aquecimento global.

Figura 29 – Sobreposição da chuva de projeto com os incrementos de precipitação associados às mudanças climáticas na distribuição temporal, considerando os cenários atual e futuros.



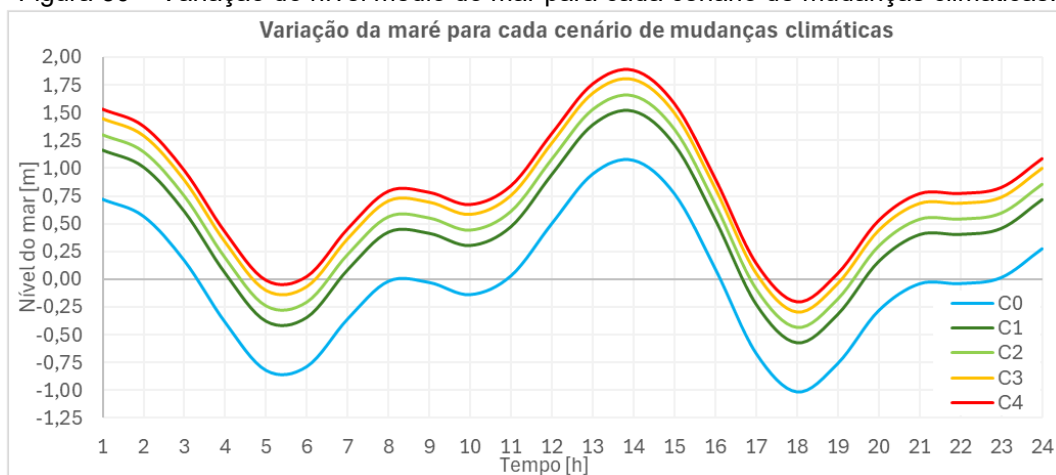
Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

De forma análoga, a variação do nível do mar foi incorporada às simulações a partir dos acréscimos médios projetados pelo IPCC para cada cenário climático, expressos em metros. Esses incrementos foram aplicados aos dados de maré utilizados no cenário atual, resultando nos valores apresentados graficamente apresentado na Figura 30. Os dados brutos da maré estão descritos no APÊNDICE C. Observa-se que, embora os acréscimos médios do nível do mar sejam positivos

em todos os cenários futuros, os valores finais variam ao longo do ciclo de maré, assumindo tanto valores positivos quanto negativos em relação ao nível médio, o que reflete a natureza oscilatória do fenômeno.

Dessa forma, a combinação entre o aumento da precipitação e a elevação do nível médio do mar permitiu a construção de cenários progressivamente mais críticos, possibilitando a avaliação integrada dos efeitos das mudanças climáticas sobre o comportamento hidrológico e hidrodinâmico da bacia. Esses ajustes constituem a base para as simulações apresentadas nas seções subsequentes, nas quais são analisadas as alterações nas áreas inundadas sob diferentes cenários climáticos.

Figura 30 – Variação do nível médio do mar para cada cenário de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

4.5 DEFINIÇÃO DO PONTO DE MARÉ NO RIO CACHOEIRA

A aplicação da metodologia proposta para a delimitação do ponto de maré permitiu compreender de forma mais detalhada o comportamento hidrodinâmico do Rio Cachoeira sob influência das oscilações de maré. Para essa avaliação, foram adotadas como condições de contorno as vazões estimadas por Dos Santos (2024) e a maré astronômica reconstituída, tanto para o cenário atual quanto para os cenários de mudança climática, desconsiderando-se a ocorrência de eventos de precipitação e variações nas vazões fluviais. Essa configuração possibilitou isolar o efeito da maré na propagação dos níveis d'água ao longo do canal.

A partir da análise das séries temporais de nível d'água ponto a ponto ao longo do rio, foi possível delimitar os pontos máximos de propagação da influência de maré, definido como o trecho em que a amplitude de oscilação atinge 3,00 cm, valor adotado

como limiar em função da precisão numérica do *software* hidrológico-hidrodinâmico utilizado para a simulação, HEC-RAS. A jusante desses pontos, observa-se influência direta da maré, com possibilidade de ocorrência de remanso hidráulico e inversão do sentido do escoamento, caracterizando um regime bidirecional controlado pela interação entre as forçantes fluviais e oceânicas. A montante, o escoamento apresenta comportamento predominantemente fluvial.

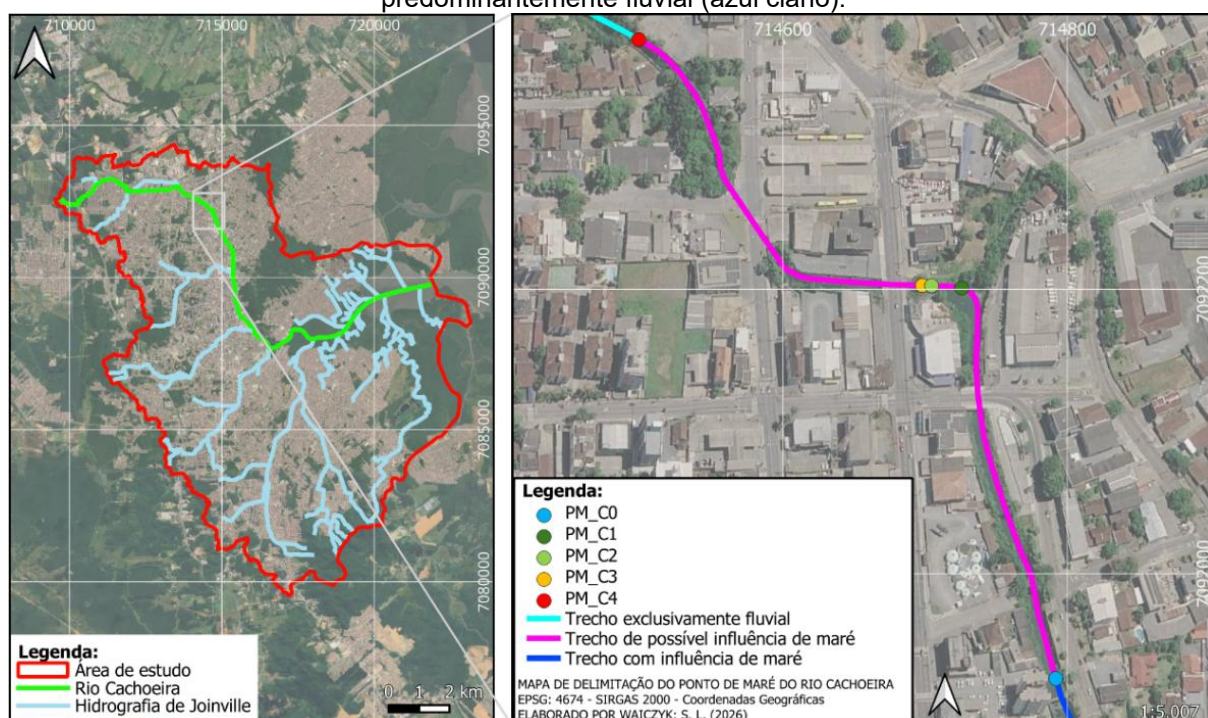
Para o cenário atual (C0), o ponto de maré foi identificado nas proximidades da ponte da Rua Aracaju sobre o Rio Cachoeira (coordenadas aproximadas 714791,8 W; 7091926,3 S), em um trecho com presença de estrutura em concreto que induz condições de escoamento crítico. Nos cenários futuros, observa-se um deslocamento progressivo desse ponto em direção a montante. No cenário C1, o ponto de maré situa-se próximo às coordenadas 714725,7 W; 7092200,9 S, representando um deslocamento de aproximadamente 280,00 m em relação ao cenário atual. Para o cenário C2, o ponto desloca-se para cerca de 300,00 m a montante do C0 (aproximadamente 20,00 m em relação ao C1), enquanto no cenário C3 observa-se posição semelhante à do C2, com deslocamento total de aproximadamente 310,00 m em relação ao cenário atual.

No cenário mais crítico (C4), o ponto de maré é identificado nas proximidades das coordenadas 714498,6 W; 7092375,7 S, correspondendo a um deslocamento de cerca de 610,00 m a montante em relação ao cenário C0. Esse avanço da influência de maré indica maior suscetibilidade a efeitos de remanso e à ocorrência de eventos de inundações compostas. Observa-se, ainda, que a variação espacial do ponto de maré não ocorre proporcionalmente entre os cenários, com maior proximidade entre os cenários C1, C2 e C3 e um deslocamento mais acentuado no cenário C4 (Figura 31). Esse comportamento está associado às características geométricas do leito do rio, especialmente variações topográficas locais. Destaca-se a presença de elevações no leito associadas ao acúmulo de sedimentos em trechos de curvatura acentuada, seguidas por zonas de rebaixamento e novos picos topográficos, que condicionam a propagação da onda de maré. Dessa forma, evidencia-se que a posição do ponto de maré, embora inerente à dinâmica do Rio Cachoeira, apresenta elevada sensibilidade a alterações geomorfológicas ao longo do canal.

Destaca-se que os resultados obtidos são diretamente dependentes das condições de contorno adotadas no modelo. Alterações nas vazões impostas nas cabeceiras dos cursos d'água podem promover deslocamentos nos pontos de maré

identificados. Além disso, ressalta-se que, conforme descrito por Borin (2025), algumas estruturas hidráulicas não foram representadas com exatidão geométrica no modelo base, o que pode influenciar localmente o comportamento hidrodinâmico e, consequentemente, a posição do limite de influência da maré.

Figura 31 – Delimitação do ponto de maré no Rio Cachoeira para os cenários simulados: C0 (atual) e C1 a C4 (projeções de mudanças climáticas), com indicação dos trechos sob influência de maré (azul escuro), da zona de possível influência de maré (magenta) e do trecho de comportamento predominantemente fluvial (azul ciano).



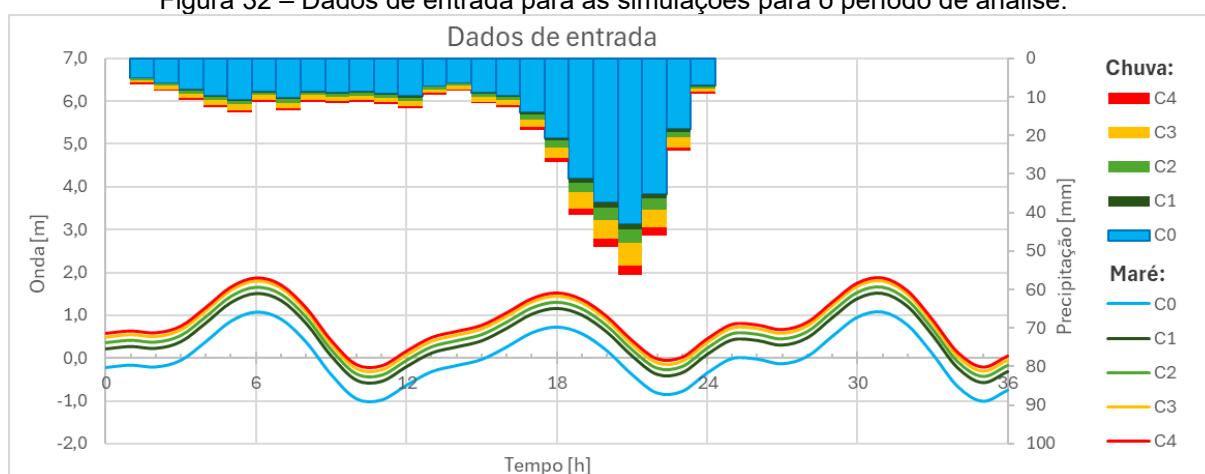
Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

4.6 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA CADA CENÁRIO

Com o objetivo de avaliar o impacto das mudanças climáticas, foram simulados cinco cenários com período de retorno (T_r) de 100 anos tendo como horizonte o ano de 2100: C0 (condição atual), C1 (mudanças amenas), C2 (mudanças intermediárias), C3 (mudanças intensas) e C4 (mudanças extremas), considerados em cada cenário o incremento da precipitação e a elevação do nível do mar como apresentado na Figura 32. Destaca-se que o pico da precipitação ocorre na hora 21, enquanto o pico da onda de maré é registrado na hora 31, caracterizando a configuração do cenário C0_-10, a qual resulta na condição mais crítica, conforme discutido no tópico 4.3.

A análise levou em consideração o período de uma hora antes do início do evento de precipitação e se estendeu até 12 horas após o término da chuva de 24 horas, totalizando 37 horas de análise. Ao longo desse intervalo, foi avaliada a evolução temporal da mancha de inundação ao longo das horas cheias. A adoção de um período prolongado após o encerramento da precipitação teve como finalidade analisar o comportamento hidrodinâmico nas áreas estudadas, especialmente quanto à ocorrência de possíveis efeitos de remanso induzidos pela maré.

Figura 32 – Dados de entrada para as simulações para o período de análise.

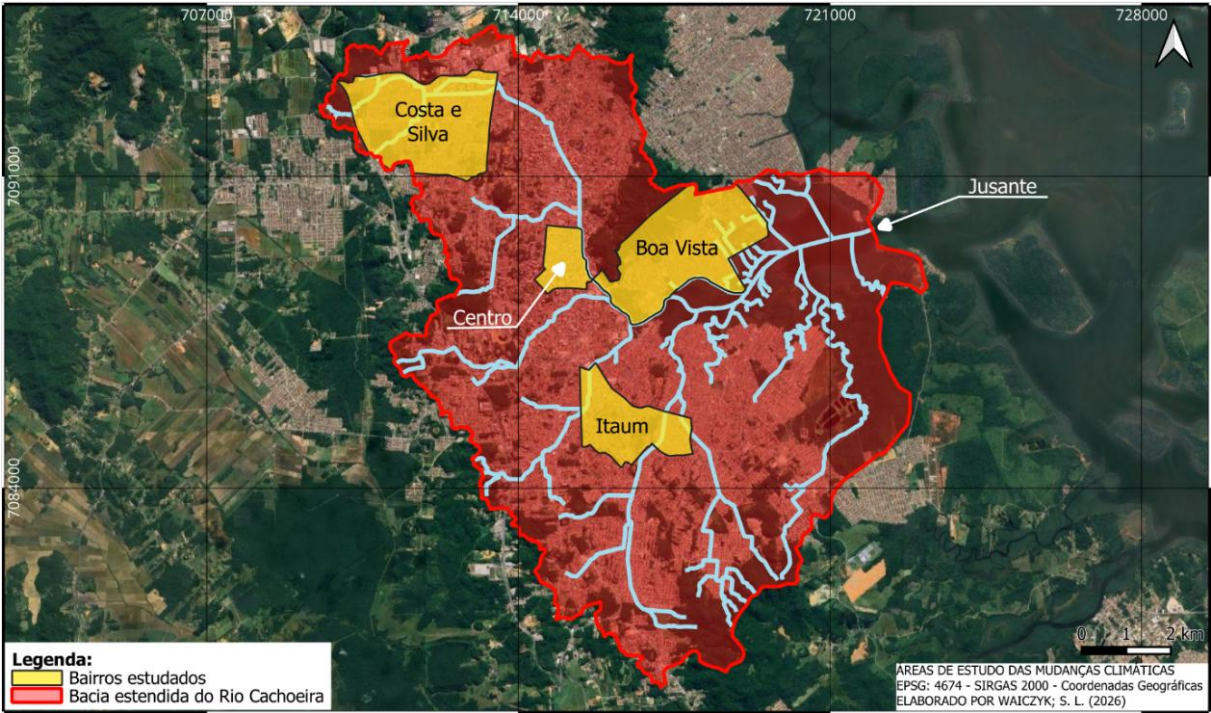


Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Destaca-se que os acúmulos pontuais de água não foram removidos dos mapas de inundação nem dos cálculos de área inundada, em razão da ausência de representação dos sistemas de microdrenagem urbana no modelo. Adicionalmente, mesmo com a eventual inclusão dessas estruturas, a água escoada seria conduzida para jusante, podendo intensificar a extensão das áreas inundadas nos trechos receptores.

A partir das simulações realizadas, os resultados de inundação ao longo das horas foram exportados do HEC-RAS em formato raster e posteriormente processados no QGIS para a quantificação e análise das áreas inundadas. Dessa forma, para a avaliação dos impactos das mudanças climáticas, considerou-se a bacia estendida do Rio Cachoeira e quatro bairros representativos ao longo da bacia: o bairro Costa e Silva e o bairro Itaum, localizados em trechos mais a montante, o bairro Centro, situado em posição intermediária, e o bairro Boa Vista, a jusante da bacia. As localizações dessas áreas de estudo são apresentadas na Figura 33.

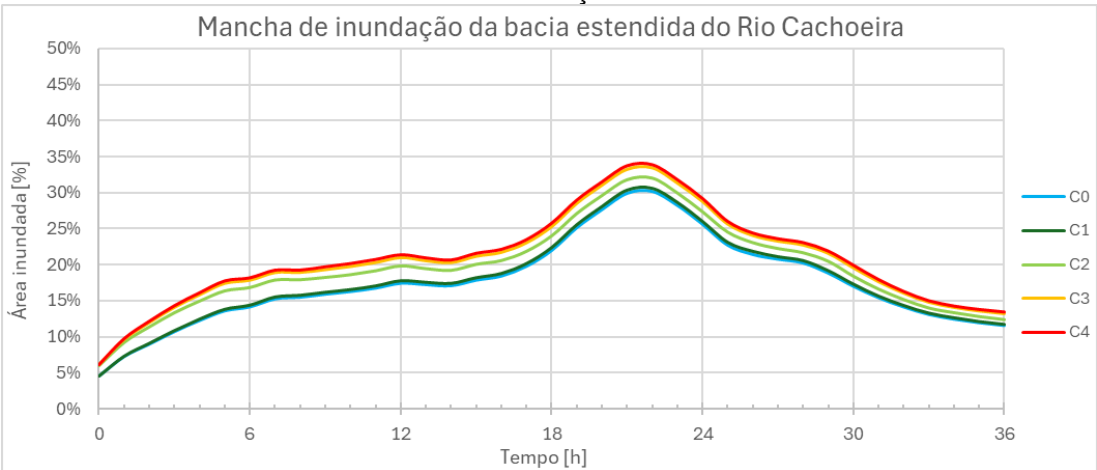
Figura 33 – Mapa de áreas de estudo das mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise inicial foi realizada para a bacia estendida do Rio Cachoeira, com uma área de 108,94 km². As curvas temporais, apresentado na Figura 34, com um gráfico de área inundada em função do tempo, indicam que todos os cenários mantêm padrão hidrodinâmico semelhante, preservando a forma de resposta de inundação ao evento extremo. Entretanto, observa-se o aumento progressivo da magnitude da área inundada conforme se intensificam os cenários de mudanças climáticas.

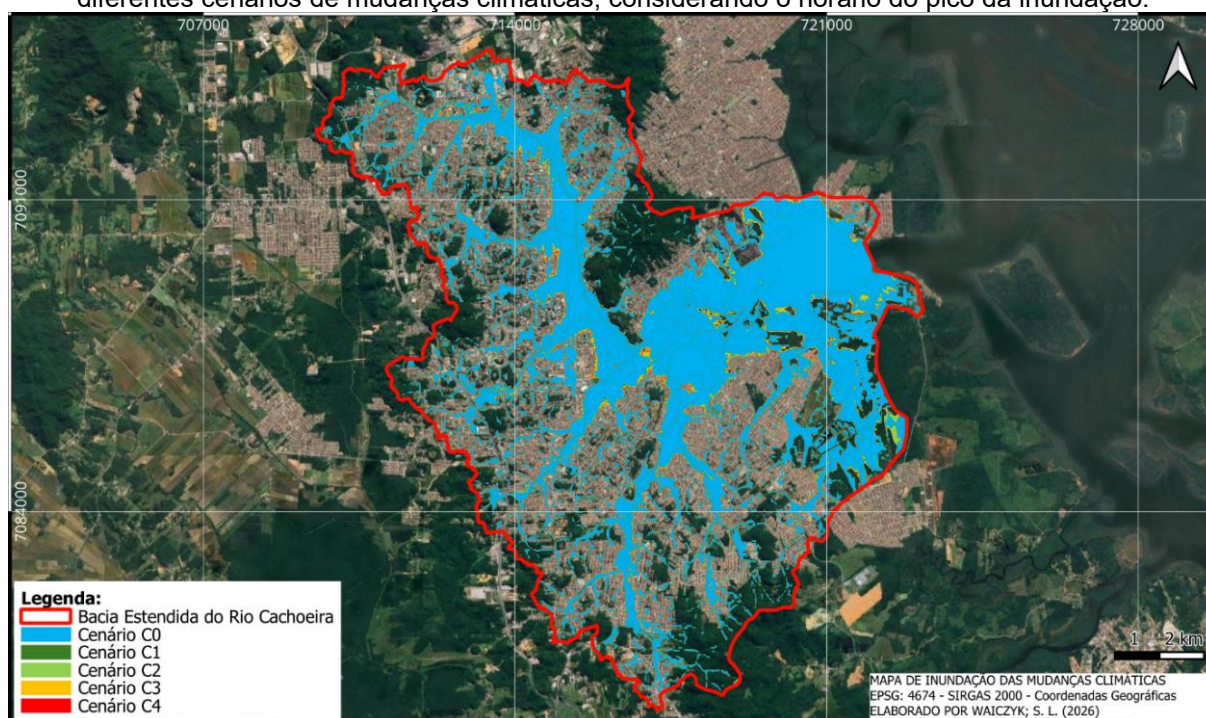
Figura 34 – Evolução temporal da área inundada na bacia estendida do Rio Cachoeira sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A Figura 32 demonstra o pico de precipitação máxima na hora 21 e a Figura 34 apresenta o pico de inundação ocorrendo na hora 22, ou seja, uma hora após o pico da precipitação máxima. Verifica-se ainda que 30,16% da bacia encontra-se inundada no cenário atual (C0), enquanto no cenário extremo (C4) esse valor atinge 33,90%. Frente a isso, apresenta-se a Figura 35 com o mapa da hora com maior área inundada. Em termos absolutos, isso representa um acréscimo de 3,92% da mancha de inundação para o pior caso, evidenciando alteração na magnitude da resposta hidrológica da bacia quanto às alterações simultâneas na precipitação e no nível do mar.

Figura 35 – Mapeamento da mancha de inundação na bacia estendida do Rio Cachoeira sob diferentes cenários de mudanças climáticas, considerando o horário do pico da inundação.



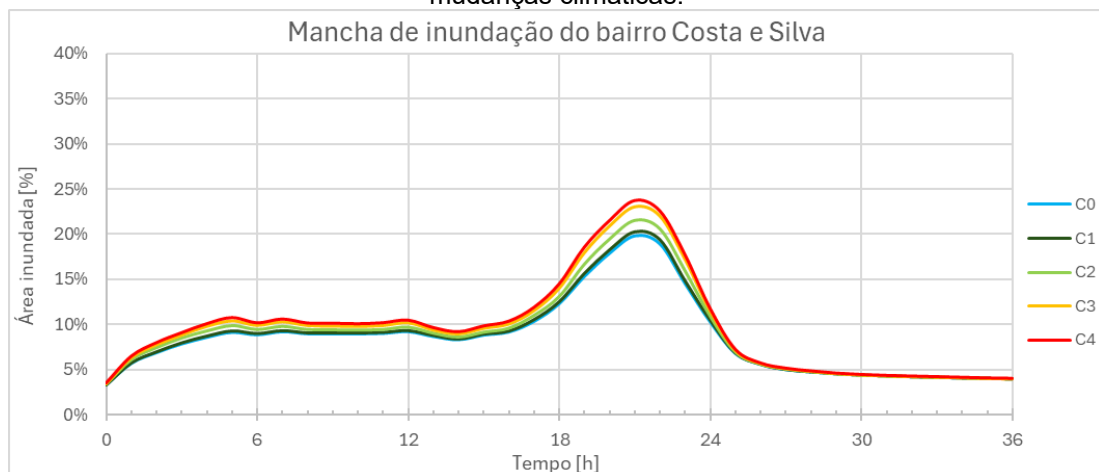
Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Do mesmo modo, o bairro Costa e Silva, com área aproximada de 6,44 km² e localizado a montante na porção noroeste da bacia, apresenta comportamento distinto das áreas mais a jusante. Conforme ilustrado na Figura 36, o pico de inundação ocorre simultaneamente ao pico da precipitação (na hora 21), indicando resposta hidrológica rápida e reduzido tempo de concentração.

Os incrementos entre C0 e C1 são pouco expressivos, enquanto a partir de C2 observa-se crescimento mais significativo da área alagada. No cenário C4, a inundação atinge 23,77% da área do bairro (Figura 36), valor inferior ao observado

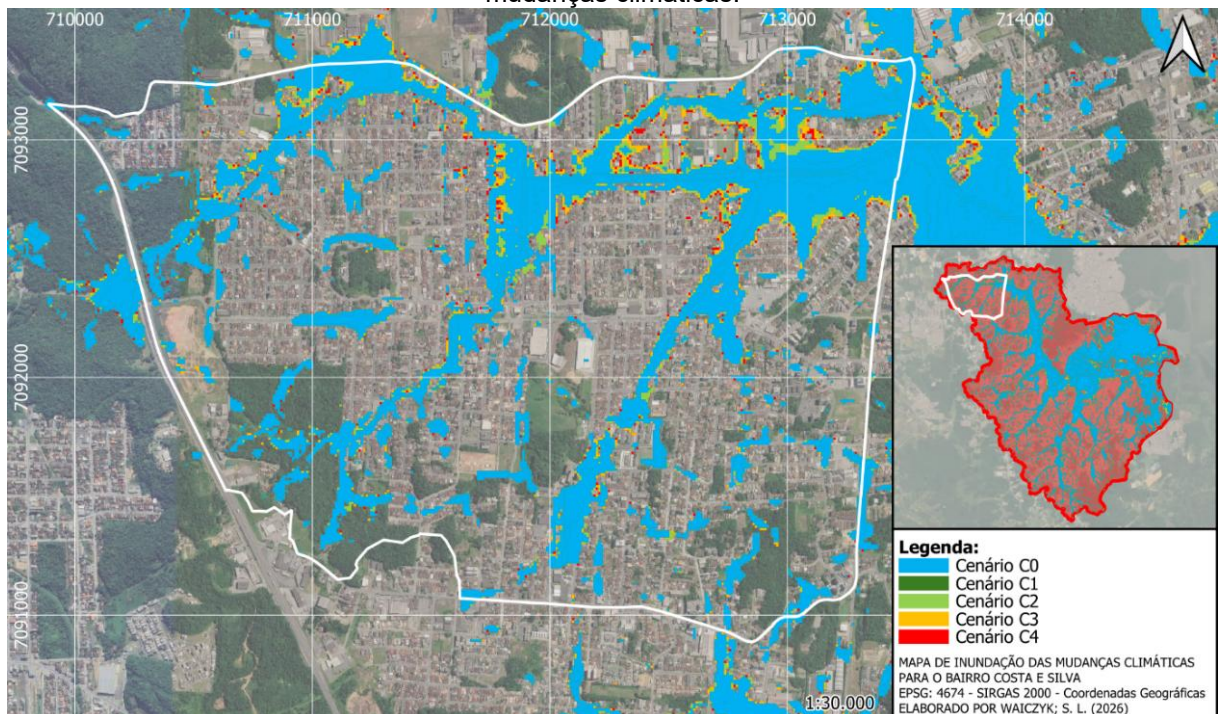
para a bacia como um todo (Figura 34). Frente a isso, é apresentado o mapa de inundação do maior pico do bairro na Figura 37. Esse comportamento está associado à maior altitude relativa e à ausência de influência direta da maré, fatores que favorecem maior eficiência no escoamento e menor tempo de permanência da lâmina d'água.

Figura 36 – Evolução temporal da área inundada do bairro Costa e Silva sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

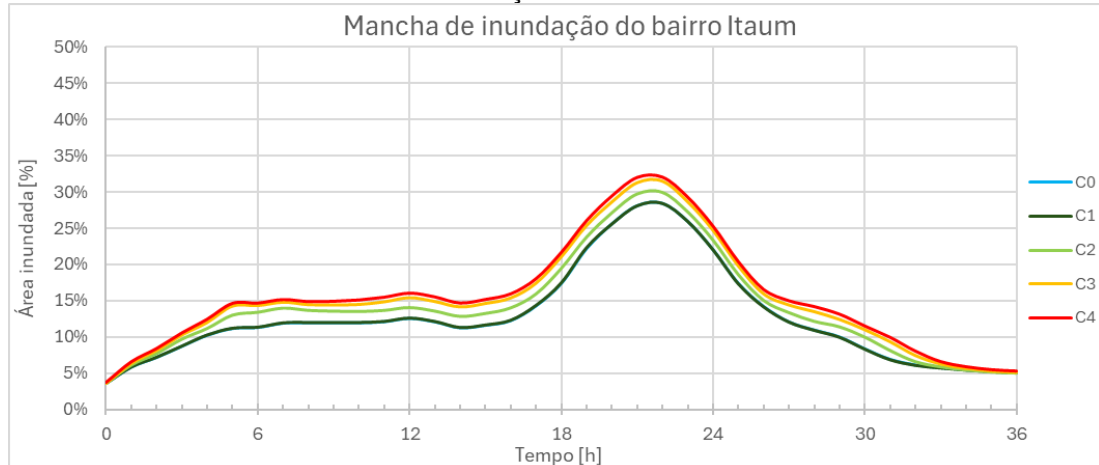
Figura 37 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Costa e Silva sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

De forma análoga, o bairro Itaum situado a montante sul e com área aproximada de 3,18 km². A evolução temporal (Figura 38) demonstra pequena variação entre C0 e C1 e incremento progressivo até C4 e pico de inundação ocorre cerca de uma hora após o pico de precipitação, ou seja, na hora 22.

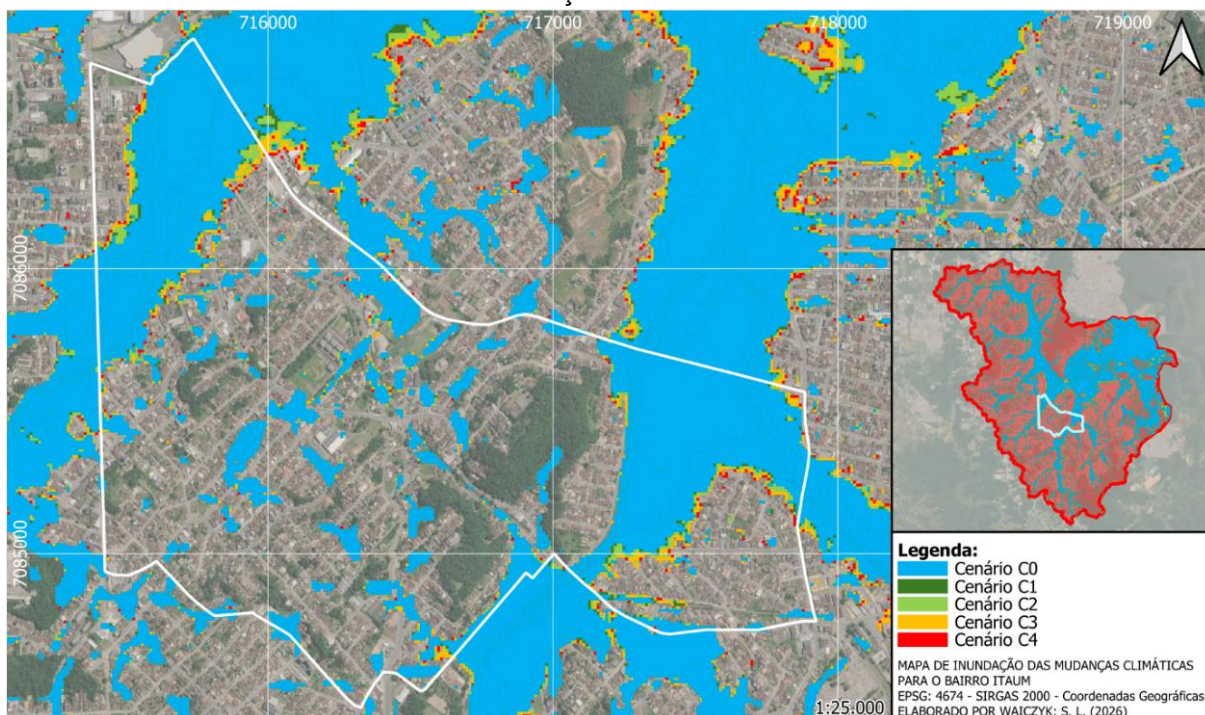
Figura 38 – Evolução temporal da área inundada do bairro Itaum sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

No cenário atual (C0), aproximadamente 28,48% da área encontra-se inundada no momento de máxima expansão, enquanto no cenário extremo (C4) esse percentual atinge 32,13%. Os mapas das áreas inundadas em cada cenário são apresentados na Figura 39. Observa-se ainda, entre as horas 28 e 33, um amortecimento na redução da área inundada, período coincidente com a elevação da maré até seu pico na hora 31. Esse comportamento indica influência indireta da maré na drenagem do bairro, retardando o escoamento das áreas mais a jusante e prolongando a permanência da inundação.

Figura 39 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Itaum sob diferentes cenários de mudanças climáticas.

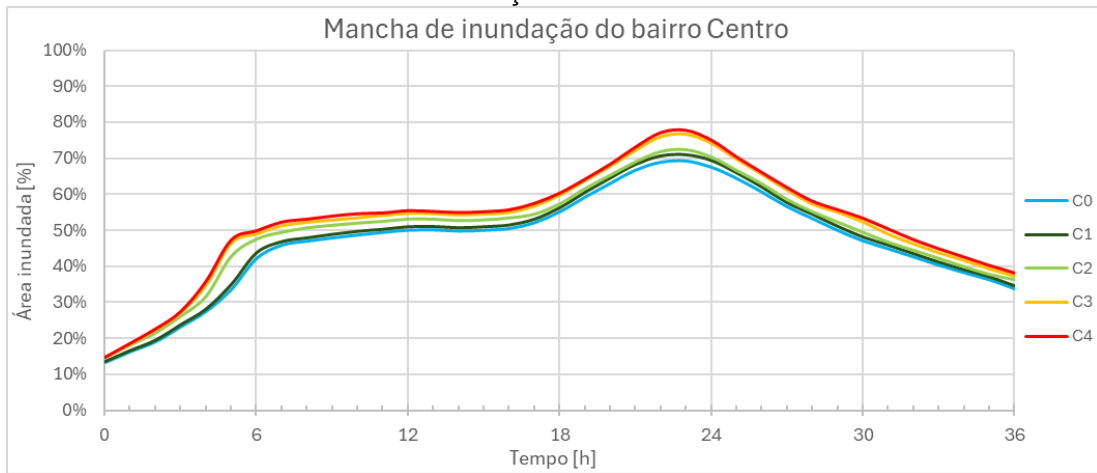


Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Já o bairro Centro, com área aproximada de 1,31 km², apresenta os maiores percentuais relativos de inundação entre todas as áreas analisadas. Conforme demonstrado na Figura 40 há aumento expressivo da área alagada nas primeiras seis horas, mesmo sob precipitações iniciais mais moderadas. O pico de inundação atinge 69,37% no cenário C0 e 77,72% no cenário C4. O mapa de inundação é apresentado na Figura 41. Além disso, o bairro permanece com mais de 50% da área inundada por aproximadamente 18 horas no cenário atual, valor que se amplia para 25 horas no cenário C4.

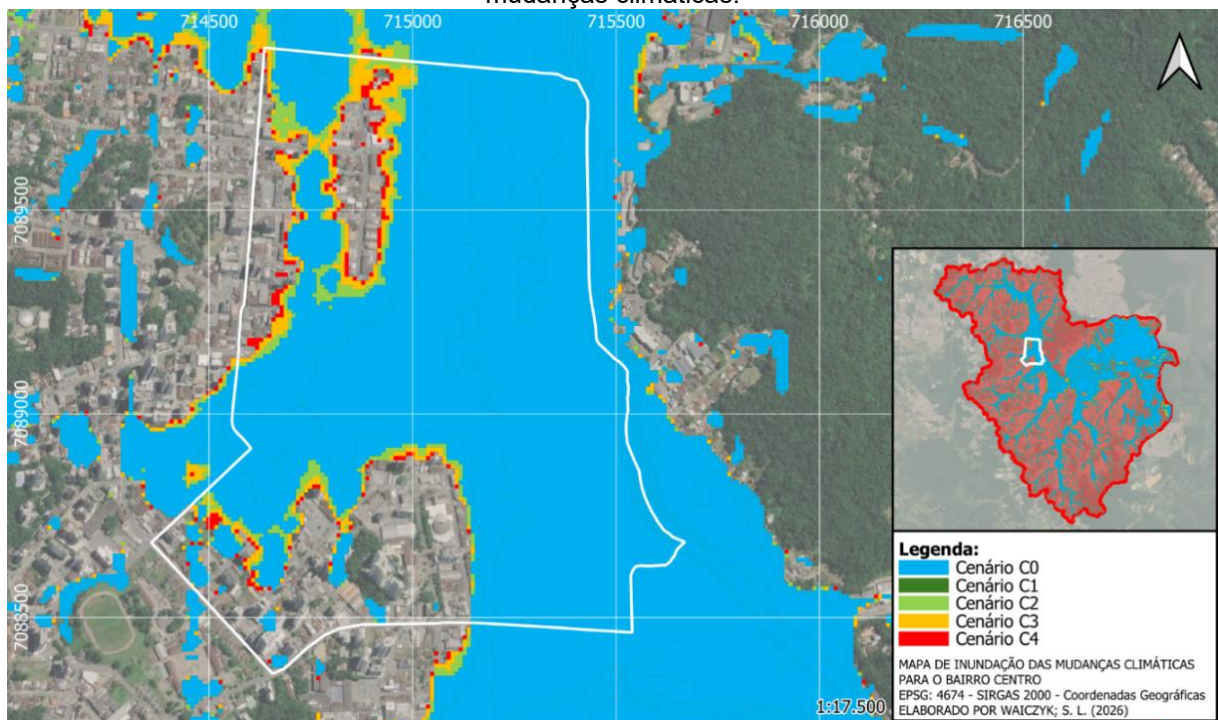
Observa-se defasagem aproximada de duas horas entre o pico de precipitação e o pico de inundação. Esse comportamento evidencia forte influência do remanso provocado pela maré, associado à baixa declividade e à posição intermediária-jusante do bairro, resultando em armazenamento temporário significativo e drenagem mais lenta das inundações.

Figura 40 – Evolução temporal da área inundada do bairro Centro sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

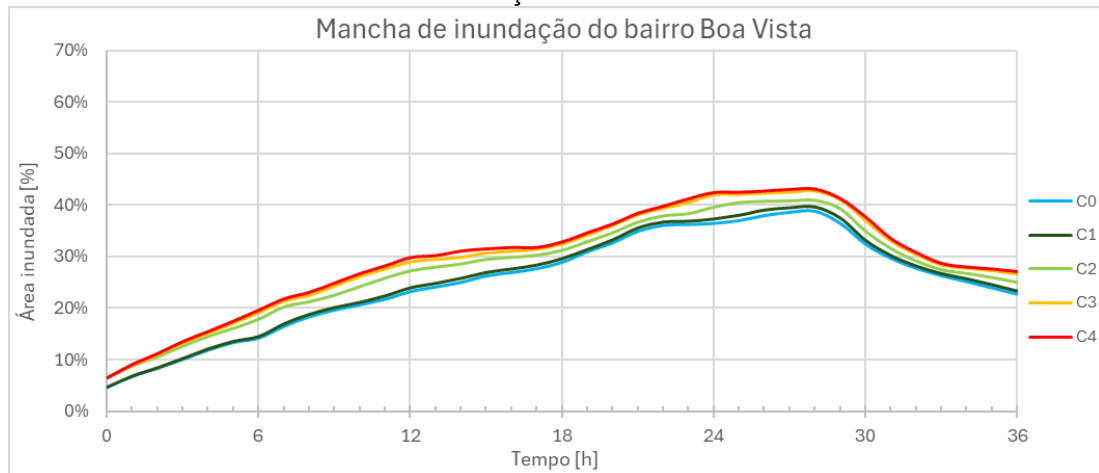
Figura 41 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Centro sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Por fim, o bairro Boa Vista, localizado na porção mais a jusante e com área aproximada de 6,49 km², apresenta a maior defasagem temporal entre o pico de precipitação e o pico de inundação, estimada em seis horas (Figura 42). Esse atraso está associado tanto ao tempo de concentração da bacia (estimado em oito horas no item 4.5) quanto à influência direta da maré.

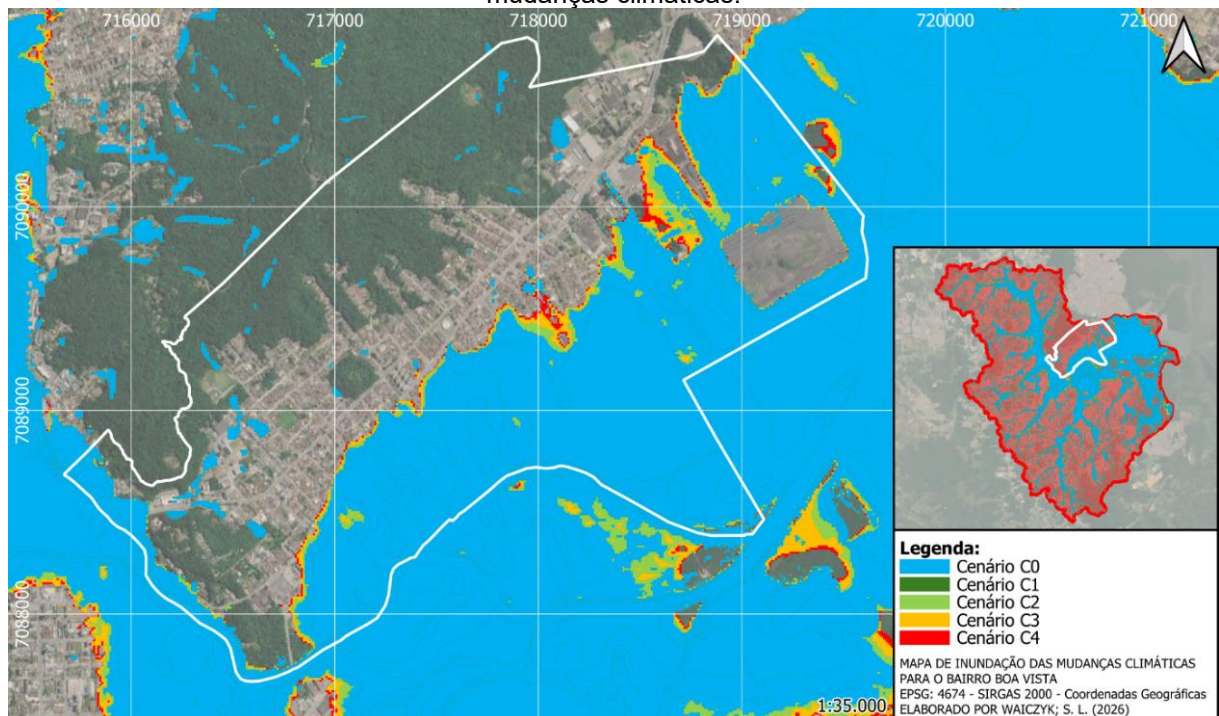
Figura 42 – Evolução temporal da área inundada do bairro Boa Vista sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

O pico máximo de inundação corresponde a 39,73% no cenário C0 e 44,10% no cenário C4. O mapa de inundação do pico é apresentado na Figura 43. A influência combinada da propagação da onda de cheia com a oscilação da maré resulta em resposta hidrodinâmica mais tardia e maior permanência de água no local.

Figura 43 – Mapeamento da mancha de inundação no bairro Boa Vista sob diferentes cenários de mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

De forma geral, os cenários de mudança climática não alteram o padrão estrutural da resposta hidrodinâmica, ou seja, as curvas mantêm formato semelhante e os instantes de pico permanecem próximos entre si. A principal alteração observada refere-se ao aumento da magnitude da área inundada à medida que se agravam os cenários.

Entretanto, essa ampliação não ocorre de maneira homogênea. As áreas a montante apresentam resposta rápida, menor defasagem e menor permanência da inundação, indicando predominância do escoamento superficial direto. Em contrapartida, as áreas intermediárias e a jusante evidenciam maior defasagem temporal, maior influência de remanso e maior tempo de permanência da água, refletindo processos hidrodinâmicos mais complexos associados à interação marítima. Apesar disso, as novas áreas de aumento estão contíguas às antigas não alterando, nas regiões analisadas, a localidade das áreas de riscos. Para melhor análise dos gráficos de evolução temporal das áreas estudadas, foi elaborado o APÊNDICE D.

Dessa forma, a Tabela 2 evidencia as alterações nas respostas hidrológicas das áreas de estudo frente às variações combinadas de precipitação e nível de maré, indicando comportamentos distintos entre os bairros analisados. À medida que os incrementos nos dados de entrada aumentam com acréscimos de precipitação de 3,40% (C1), 11,70% (C2), 25,00% (C3) e 30,60% (C4), associados a elevações do nível de maré de 0,44 m a 0,81 m, observa-se uma amplificação progressiva das áreas inundadas.

Tabela 2 – Variação percentual da área inundada em função dos incrementos de precipitação e maré, por área de estudo, em relação ao cenário C0.

Área de Estudo		Área [km²]	Aumento da área inundada em referência ao cenário C0 [%]			
			C1	C2	C3	C4
Acréscimos dos dados de	Precipitação [%]	-	3,40%	11,70%	25,00%	30,60%
	Maré [m]	-	0,44	0,58	0,72	0,81
Áreas de estudo	Bacia estendida do Rio Cachoeira	102,59	0,45%	1,93%	3,27%	3,74%
	Costa e Silva	6,34	0,41%	1,63%	3,22%	3,90%
	Itaum	3,14	-0,08%	1,56%	3,16%	3,92%
	Centro	1,30	1,53%	2,96%	7,28%	8,35%
	Boa Vista	6,34	0,74%	2,23%	3,95%	4,37%

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

Na análise da bacia estendida do Rio Cachoeira, considerando um incremento de 3,40% na precipitação e de 0,44 m no nível médio do mar, observa-se um aumento de 0,45% na área inundada. A variação da mancha de inundação concentra-se predominantemente nas regiões mais baixas e a jusante, comportamento corroborado pela análise espacial nos bairros, observando maiores alterações nos bairros do Centro e do Boa Vista, que apresentam aumentos de 1,53% e 0,74%, respectivamente.

No cenário mais extremo, com acréscimo de 30,60% na precipitação e elevação de 0,81 m no nível do mar, verifica-se um aumento expressivo de 8,35% na área inundada do bairro Centro, atingindo 77,72% de seu território. As demais áreas apresentam variações mais moderadas em comparação, entre 3,74% e 4,37%. Destaca-se que o bairro Boa Vista, embora situado a jusante, apresenta aumento de 4,37%, relativamente inferior ao esperado, em função da limitação territorial às áreas de borda de mangue, que atuam como zonas de amortecimento da propagação da inundação.

Observa-se uma redução percentual da área inundada no cenário C1 no bairro Itaum que pode ser explicada por um comportamento hidrodinâmico ainda não plenamente controlado pelas condições de jusante. Nesse cenário, o aumento do nível de maré (0,44 m) pode não ter sido suficiente para induzir um efeito significativo de remanso, permitindo que o escoamento fluvial mantenha maior eficiência hidráulica. Além disso, o incremento na precipitação pode ter contribuído para um aumento na velocidade do escoamento, fazendo com que a água seja rapidamente conduzida para jusante. Considerando a dinâmica local, é plausível que o bairro Itaum apresente um tempo de resposta reduzido, de modo que os volumes gerados atinjam trechos a jusante antes da ocorrência do pico de maré e da chegada das inundações dos bairros de outras regiões, reduzindo o represamento e, conseqüentemente, a extensão da inundação no pico máximo. Esse comportamento indica que o sistema ainda não atingiu um limiar crítico de interação entre maré e descarga fluvial, o qual tende a se manifestar de forma mais expressiva nos cenários subsequentes (C2 a C4).

Adicionalmente, não se pode descartar a influência de incertezas inerentes à modelagem hidrológica-hidrodinâmica, tais como limitações na resolução da malha computacional, simplificações na representação da topografia e das estruturas hidráulicas, bem como a sensibilidade a parâmetros numéricos, como o passo de tempo e os critérios de estabilidade. Esses fatores podem introduzir variações locais

nos resultados, especialmente em cenários de baixa magnitude de alteração, contribuindo para a aparente redução da área inundada no cenário C1.

4.7 INCERTEZAS AGREGADAS

Apesar de os resultados obtidos apresentarem boa aderência à realidade observada, é fundamental reconhecer a presença de incertezas do processo de modelagem adotado. Tais incertezas decorrem, sobretudo, de limitações nos dados de entrada, das simplificações assumidas e das próprias restrições metodológicas dos modelos empregados, podendo influenciar tanto na superestimação quanto na subestimação dos resultados.

No que se refere aos dados de entrada, destaca-se inicialmente a série histórica utilizada para a definição da chuva de projeto. A literatura recomenda a utilização de séries com extensão mínima de 30 anos para a construção de curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência). Entretanto, neste estudo foi adotada uma série de 19 anos, o que pode comprometer a robustez estatística das estimativas e aumentar a incerteza associada aos eventos extremos. De forma análoga, a reconstituição da maré, além de incorporar o erro inerente ao processamento pelo *software* T-Tide, e o erro devido a série de dados mais curta que o recomendado pela literatura (12 meses), conforme reportado por Borin (2025). Além disso, considerou-se exclusivamente a componente astronômica para a maré, desconsiderando a influência de forçantes meteorológicas, como ventos e variações de pressão atmosférica, e as transformações acarretadas pela propagação da onda na Baía da Babitonga e no canal do Rio Cachoeira. Tais fatores podem desempenhar papel relevante nos níveis d'água a serem utilizados, especialmente em eventos extremos.

Adicionalmente, os cenários de mudança climática incorporados ao estudo não passaram por um processo de *downscaling*, ou seja, não foram regionalizados para a escala da Bacia Estendida do Rio Cachoeira. Essa limitação implica na aplicação direta de projeções em escala mais ampla, o que pode não refletir adequadamente as particularidades locais e regionais do sistema analisado.

Outro aspecto relevante refere-se ao Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado, datado de 2011. Considerando o intervalo temporal de aproximadamente 15 anos, é plausível supor a existência de alterações significativas na morfologia. Além disso, avanços tecnológicos recentes, como levantamentos com LiDAR, possibilitam a

obtenção de modelos altimétricos significativamente mais precisos, o que evidencia um potencial fonte adicional de incerteza nos resultados.

No âmbito da modelagem hidrológica-hidrodinâmica, também devem ser consideradas as limitações inerentes ao modelo e ao *software* utilizados. Conforme apresentado por Borin (2025), o modelo adota coeficiente de Manning uniforme, e não contempla explicitamente a microdrenagem. Tais simplificações podem contribuir para o acúmulo de erros ao longo das simulações. Ainda segundo o autor, foram identificadas discrepâncias entre resultados simulados e observados variando de 0,00% a 21,87%, dependendo do ponto analisado e da metodologia de avaliação adotada.

Por fim, ressaltam-se limitações típicas de modelos hidrológico-hidrodinâmicos, como a resolução da malha computacional, simplificações na representação da topografia e das singularidades hidráulicas (como pontes e galerias), além da sensibilidade a parâmetros numéricos, como a discretização temporal e os critérios de estabilidade. Em conjunto, esses fatores reforçam a necessidade de interpretação criteriosa dos resultados, sempre considerando as incertezas inerentes ao processo de modelagem.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho, por meio de modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada, analisou os impactos das mudanças climáticas na bacia estendida do Rio Cachoeira sob a perspectiva das inundações urbanas. A partir da construção de cenários climáticos baseados nas diretrizes do IPCC para o horizonte de 2100 e com Tr de 100 anos, foi possível avaliar a evolução espacial e temporal das manchas de inundação, identificar as sensibilidades dos locais amostrais ao longo do rio e quantificar as taxas de áreas inundadas ao longo dos eventos simulados.

A análise dos impactos das mudanças climáticas evidenciou respostas hidrológicas distintas entre a bacia como um todo e a escala dos bairros. Em termos globais, a bacia estendida apresentou variações relativamente moderadas, como o aumento de 0,43% na área inundada para incrementos de 3,40% na precipitação e 0,44 m no nível do mar. No entanto, a análise espacial detalhada revelou maior sensibilidade nas áreas urbanas a jusante. Destaca-se o bairro Centro, que apresentou aumento de até 8,28% na área inundada no cenário mais extremo, atingindo 77,08% de seu território, evidenciando elevada vulnerabilidade. O bairro Boa Vista, também localizado a jusante, apresentou aumento de até 4,27%, valor inferior ao esperado em função da presença de áreas de mangue que atuam como zonas de amortecimento. Por outro lado, bairros menos influenciados pela maré apresentaram variações mais moderadas. Esses resultados demonstram que, embora a resposta média da bacia seja relativamente limitada, os impactos são significativamente mais intensos em escala local, reforçando a necessidade de análises espacializadas para subsidiar o planejamento urbano e a gestão de riscos.

Os resultados indicam que o agravamento progressivo dos cenários climáticos promove expansão sistemática das áreas inundadas, mantendo padrão hidrodinâmico semelhante, porém com intensificação da magnitude das respostas hidrológicas. Verificou-se que a influência da maré exerce papel significativo na dinâmica de inundação, especialmente nas regiões mais baixas e a jusante da bacia. Nesses trechos, a onda de maré favorece a ocorrência de remanso, prolongando a permanência da água, a depender tanto do nível da maré quanto da defasagem entre o pico da maré e o pico da precipitação. Ressalta-se que os resultados obtidos estão sujeitos a um conjunto de incertezas inerentes ao processo de modelagem, sendo,

portanto, indispensável uma interpretação criteriosa, considerando-se essas limitações ao analisar e aplicar os resultados.

Complementarmente, o trabalho delimitou o ponto de maré do Rio Cachoeira, distinguindo o trecho sob influência direta das variações de nível induzidas pela maré e pela vazão fluvial daquele de domínio predominantemente fluvial, contribuindo para a compreensão do comportamento hidrodinâmico do Rio Cachoeira. A partir da metodologia aplicada, identificou-se um deslocamento progressivo do ponto de maré em direção a montante, alcançando cerca de 610 m no cenário mais crítico (C4) frente ao cenário atual (C0). Esse avanço evidencia o aumento da influência marítima sobre o sistema fluvial, ampliando a suscetibilidade a efeitos de remanso e a inundações compostas.

Por fim, este estudo reforça a importância de investigações técnico-científicas voltadas à compreensão dos impactos das mudanças climáticas no contexto urbano. Em consonância com o 13º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Ação contra a Mudança Global do Clima), que estabelece a necessidade de adoção de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos, conforme destacado pelo IPEA (2019), e para isso, se faz necessário estudos para compreender os cenários previstos para a tomada de ação por parte do governo.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMOWICZ, M. *et al.* **Data-driven simulations to assess the impact of study imperfections in time-to-event analyses.** American Journal of Epidemiology, [S.L.], v. 194, n. 1, p. 233-242, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwae058>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aje/article/194/1/233/7665701>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- AGARWAL, S. **The Earth's imbalanced heat budget and its relationship to climate change.** 2024. DOI: 10.22541/essoar.171322596.63117375/v2. Disponível em: <https://essopenarchive.org/users/539040/articles/838140-the-earth-s-imbalanced-heat-budget-and-its-relationship-to-past-present-and-future-climate-change?commit=779d6e6349238eb891bc6341cab10a177617cf98>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- AGÊNCIA BRASIL. **ONU confirma 2024 como o ano mais quente em 175 anos:** relatório se baseou em serviços meteorológicos nacionais. 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/meio-ambiente/noticia/2025-03/onu-confirma-2024-como-o-ano-mais-quente-em-175-anos>. Acesso em: 06 abr. 2025.
- ALLEN, R. C. **Coal and the European Industrial Revolution.** 2014. DOI: 10.3386/w19802. Disponível em: <https://typeset.io/pdf/coal-and-the-european-industrial-revolution-3f4xdcjox3.pdf>. Acesso em: 19 fev 2025.
- AMALIAH, R.; GINTING, B. M. **Investigating the capability of HEC-RAS model for tsunami simulation.** Journal of the civil engineering forum, [S.L.], p. 161–180, 12 maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.22146/jcef.6140>. Disponível em: <https://journal.ugm.ac.id/v3/JCEF/article/view/6140/2549>. Acesso em: 16 mar. 2025.
- ATHANASIOU, P.; VAN DONGEREN, A.; GIARDINO, A.; VOUSDOKAS, M.; GAYTAN-AGUILAR, S.; RANASINGHE, R. **Global distribution of nearshore slopes with implications for coastal retreat.** Earth System Science Data, v. 11, p. 1515-1536, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-11-1515-2019>. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/11/1515/2019/essd-11-1515-2019.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada.** 1ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher. 2022. 430 p.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F.; Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, 2018. Scientific Data, [S.L.]. DOI: 10.1038/sdata.2018.214. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- BORIN, J. L. R. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica acoplada para previsão de inundação composta na Bacia do Rio Cachoeira - Joinville/SC.** 2025. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Udesc, Joinville, 2025. Disponível em: <https://repositorio.udesc.br/handle/UDESC/22940>. Acesso em: 20 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima** (IPCC). Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/painel-intergovernamental-sobre-mudanca-do-clima->

ipcc#:~:text=O%20Painel%20Intergovernamental%20sobre%20Mudan%C3%A7a,a%20mudan%C3%A7a%20do%20clima%2C%20suas. Acesso em: 20 fev. 2025.

CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Ed. Textos, 2017. 602 p. Disponível em: <https://cienciasdomarbrasil.furg.br/images/livros/LivroIntroducaoCienciasDoMar.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2025.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Inundação**. 2016. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/inundacao/>. Acesso em: 11 mar. 2025.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. Disponível em: https://openlibrary.org/books/OL2387782M/Applied_hydrology. Acesso em: 20 abr. 2026.

COLLISCHONN, W.; BRÊDA, J. P. L. F.; WONGCHUIG, S.; RUHOFF, A.; De PAIVA, R. C. D.; FAN, F. M.; MACHADO FILHO, R. C. C.; RAMALHO, N. **Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record**. RBRH, [S.L.], v. 29, 2024. DOI: 10.1590/2318-0331.292420240088. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/TTBsLzMCjgdpmsg4KLr8hQg/>. Acesso em: 06 abr. 2025.

COSTA, L. S. **Contribuição ao conhecimento da ornitofauna do município de Joinville, Santa Catarina, Brasil**. Saúde Meio Ambient. v. 4, n. 2, p. 16-31, jul./dez. 2015. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/contribuicao-ao-conhecimento-da-ornitofauna-do-municipio-de-4f5o72jck0.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2025.

DAEE/CETESB - Departamento de Águas e Energia Elétrica junto à Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. **Manual de Projeto**, 1980. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/handle/123456789/2863>. Acesso em: 12 dez. 2025.

DAVID, A.; SCHMALZ, B. **Flood hazard analysis in small catchments**: Comparison of hydrological and hydrodynamic approaches by the use of direct rainfall. Journal of flood risk management, v. 13, n. 4, p. e12639, 1 dez. 2020. DOI: 10.1111/jfr3.12639. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfr3.12639>. Acesso em: 25 mar. 2025.

De SOUSA, F. A. **Metodologia para Avaliação do Escoamento Subsuperficial em Vertentes**. Boletim Goiano de Geografia, Iporá/Go, v. 39, p. 1-22, 2019. DOI: 10.5216/bgg.v39i0.56995. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/56995>. Acesso em: 29 abr. 2025.

DEVIA, G. K.; GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S. **A review on hydrological models**. Aquatic procedia, v. 4, p. 1001–1007, 2015. DOI: 10.1016/j.aqpro.2015.02.126. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214241X15001273>. Acesso em: 23 mar. 2025.

DOS SANTOS, G. C. **Calibração e validação de modelos hidrológicos a partir de dados de vazão gerados por modelo hidrodinâmico-hidrológico acoplado**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Joinville, 2024. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/7929/TCC1_GIULIANA_17392072718833_7929.pdf. Acesso em: 21 fev. 2025.

DUARTE, S. *et al.* **Spatiotemporal Identification and Characterization of Extreme Hydrometeorological Events Patterns in the Magdalena River Basin**. Egu - General Assembly 2023, [S.L.], 15 maio 2023. Copernicus GmbH. DOI: 10.5194/egusphere-egu23-14230, 2023. Disponível em: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU23/EGU23-14230.html>. Acesso em: 11 mar. 2025.

DURÃES, G. **Tragédia do RS entra para as maiores do Brasil**: relembre principais desastres causados pelas chuvas. relembre principais desastres causados pelas chuvas. 2024. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/sos-rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/09/tragedia-do-rs-entra-para-as-maiores-do-brasil-relembre-principais-desastres-causados-pelas-chuvas.ghtml>. Acesso em: 06 abr. 2025.

EDENHOFER, O.; KILIMANN, C.; SEYBOTH, K. **The intergovernmental panel on climate change (IPCC) – Scientific authority and map maker of climate policy alternatives**. In: Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics. Elsevier Science, 2025. v. 1, p. 47-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91013-2.00013-7>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323910132000137?via%3Dihub>. Acesso em: 20 fev. 2025.

EPAL – EMPRESA PORTUGUESA DAS ÁGUAS LIVRES. **Ciclo da água**. 2024. Disponível em: <https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunica%C3%A7%C3%A3o-ambiental/ciclo-da-%C3%A1gua>. Acesso em: 20 fev. 2025.

FACHI, J.; BUCKMANN, M. F. Y.; ROSMAN, P. A.; ROSMAN, P. C. C. **Projeto Baías Do Brasil**: Baía da Babitonga – SC, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br/assets/relatorios/rel_baia_babitonga.html. Acesso em: 29 mai. 2025.

FOHRER, N. *et al.* **Interaction of River Basins and Coastal Waters – An Integrated Ecohydrological Perspective**. Treatise On Estuarine and Coastal Science (Second Edition), [S.L.], p. 114-162, 2024. Elsevier. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-90798-9.00069-x>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978032390798900069X?via%3Dihub>. Acesso em: 02 abr. 2025.

GAETA, F. **L'Accord de Paris: un outil indispensable pour contrer les changements climatiques dont la mise en œuvre doit être accélérée.** Administration, n. 282, p. 19-21, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3917/admi.282.0019>. Disponível em: <https://droit.cairn.info/revue-administration-2024-2-page-19?lang=fr>. Acesso em: 20 fev. 2025.

GARRISON, T. **Fundamentos de oceanografia.** 7ª edição. Costa Mesa/EUA: Orange Coast - College University of Southern California, 2016.

GHARNOUKI, I. *et al.* **Hydrological modelling using SWAT in a Complex Semi-Arid Watershed.** GSC Advanced Research and Reviews, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 238-247, 30 nov. 2024. DOI: 10.30574/gscarr.2024.21.2.0427. Disponível em: <https://gsconlinepress.com/journals/gscarr/content/hydrological-modelling-using-swat-complex-semi-arid-watershed>. Acesso em: 07 mar. 2025.

GOBIRA, A. K. M.; SILVA, A. G. R.; PEREIRA, F. J. S.; GONDIM, R. B.; COSTA, C. A. G. **Análise da acurácia do Método Chuva-Deflúvio (SCS-CN) para a Bacia do Açude Edson Queiroz, Santa Quitéria, Ceará.** In: Simpósio do Bioma Caatinga, 2018, Petrolina. Anais eletrônicos, Petrolina: Embrapa Semiárido, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/37553>. Acesso em: 16 março 2023.

HALL, J. **Direct rainfall flood modelling: The good, the bad and the ugly.** Australasian Journal of Water Resources, v. 19, n. 1, 16 nov. 2015. DOI: 10.7158/13241583.2015.11465458. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.7158/13241583.2015.11465458>. Acesso em: 13 mar. 2025.

HAQUE, A. **Theme: Climate change, plastic paradox, and conversion of CO2 - A brief study.** 2024. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4850761. Acesso em: 20 fev. 2025.

HARARI, J. **Noções de Oceanografia.** 1ª edição. São Paulo: Instituto Oceanográfico, 2021. E-book. Disponível em: <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1086>. Acesso em: 29 mar. 2025.

HARRISON, L. M.; COULTHARD, T. J.; ROBINS, P. E.; LEWIS, M. J. **Sensitivity of Estuaries to Compound Flooding.** Estuaries And Coasts, [S.L.], v. 45, n. 5, p. 1250-1269, 13 out. 2021. Springer. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-021-00996-1>. Acesso em: 17 mar. 2025.

HASIBUAN, M. A. Sari *et al.* **Hydrological response to land use/land cover projection in Cisadane watershed, Indonesia.** Journal Of Infrastructure, Policy and Development, [S.L.], v. 9, n. 1, 7 jan. 2025. EnPress Publisher. Disponível em: <https://systems.enpress-publisher.com/index.php/jipd/article/view/10102>. Acesso em: 11 mar. 2025.

HE, C.; YANG, C.-J.; TUROWSKI, J. M.; OTT, Richard F.; BRAUN, J.; TANG, H.; GHANTOUS, S.; YUAN, X.; QUAY G. S. **A global dataset of the shape of drainage systems**. Earth System Science Data, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 1151-1166, 1 mar. 2024. Copernicus GmbH. DOI: 10.5194/essd-16-1151-2024. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/16/1151/2024/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

HOITINK, A. J. F.; JAY, D. A. **Tidal river dynamics**: implications for deltas. Reviews Of Geophysics, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 240-272, 29 fev. 2016. American Geophysical Union (AGU). DOI: 10.1002/2015RG000507. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015RG000507>. Acesso em: 20 mar. 2025.

HUFF, F.A. (1967) **Time distribution of rainfall in heavy storms**. Water Resources Research, v. 3, n. 4, p. 1007-1019.

HUSSEIN, A. H.; ALFATLAWI, T. J. M. **Advanced uncertainty quantification in rainfall-intensity duration frequency curve modeling**: a case study of hilla city and surrounding regions, iraq. Ecological Engineering & Environmental Technology, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 316-332, 2025. DOI: 10.12912/27197050/196090. Disponível em: <https://www.ecoeet.com/Advanced-uncertainty-quantification-in-rainfall-intensity-duration-frequency-curve,196090,0,2.html>. Acesso em: 3 mar. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**: características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2022**: população e domicílios do Brasil: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-produto-interno-bruto-dos-municipios.html>. Acesso em: 18 jun. 2025.

INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA. **Guidelines for determining flood flow frequency**: Bulletin #17B of the Hydrology Subcommittee. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/70275162>. Acesso em: 20 abr. 2026.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. [S.L.]: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 13 fev. 2025.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Mudança do Clima 2021** A Base Científica: Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. [S.L.]: IPCC,

2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/srocc-port-web.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. O Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança. [S.L.]: **IPCC**, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/srocc-port-web.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13**: tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos, 2019. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/ods/ods13_card.html. Acesso em: 06 abr. 2025.

JOINVILLE, **Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU – da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira no Município de Joinville**. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, Secretaria de Administração, 2011. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/plano-diretor-de-drenagem-urbana-pddu-da-bacia-hidrografica-do-rio-cachoeira/>. Acesso em: 28 mai. 2025.

JOINVILLE. **Sistemas de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGeo)**. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 2010. Disponível em: <https://geoprocessamento.joinville.sc.gov.br/download>.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006.

KRETSCHMER, D. V. *et al.* **A Perceptual Model of Drivers and Limiters of Coastal Groundwater Dynamics**. Hydrological Processes, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 1-12, jan. 2025. DOI: 10.1002/hyp.70058. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.70058>. Acesso em: 17 mar. 2025.

LECOURS, V. *et al.* **A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor**. Hydrology And Earth System Sciences, [S.L.], v. 20, n. 8, p. 3207-3244, 9 ago. 2016. Copernicus GmbH. DOI: 10.5194/hess-20-3207-2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.70058>. Acesso em: 29 fev. 2025.

LIU, H. *et al.* **Application of LIDAR data in hydrodynamic simulation and analysis of small and medium-sized rivers in hilly areas**. Advances In Engineering Technology Research, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 417, 27 nov. 2024. DOI: 10.56028/aetr.12.1.417.2024. Disponível em: <https://madison-proceedings.com/index.php/aetr/article/view/3039>. Acesso em: 29 jan. 2025.

LIU, Y.; LIN, B. **Dual issue of resources and emissions**: Resources richness and Carbon Emissions with Oil rents, trade, and mineral rents exploration. Resources Policy, v. 59, p. 195-206, 2018. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104066 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420723007778?via%3Dihub>. Acesso em: 20 fev. 2025.

LIU, Z.; DENG, Z.; DAVIS, S. J.; CIAIS, P. **Global carbon emissions in 2023**. Nature Reviews Earth & Environment, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 253-254, 4 abr. 2024. Springer Science and Business Media LLC. DOI: 10.1038/s43017-024-00532-2. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43017-024-00532-2>. Acesso em: 06 abr. 2025.

MAIA, B. G. O.; KLOSTERMANN, D.; RIBEIRO, J. M. G.; SIMM, M.; OLIVEIRA, T. M. N.; BARROS, V. G. **Bacias Hidrográficas da Região de Joinville**. Universidade da Região de Joinville – Univille, 2013.

MALEEWONG, M.; GRIMSHAW, R. **Evolution of wind-induced wave groups in water of finite depth**. Journal Of Fluid Mechanics, [S.L.], v. 985, n. 900, 12 abr. 2024. DOI: 10.1017/jfm.2024.237. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-fluid-mechanics/article/evolution-of-windinduced-wave-groups-in-water-of-finite-depth/BAE6562B4E55346A7DB5172A5D7A3F91>. Acesso em: 02 mar. 2025.

MANCINELLI, W. S.; ESEMANN-QUADROS, K. **Orchidaceae Flora of Joinville, Santa Catarina, Brazil**. Acta Biológica Catarinense, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 36-48, 11 fev 2021. DOI: 10.21726/abc.v3i1.428. Disponível em: <https://periodicos.univille.br/ABC/article/view/428>. Acesso em: 29 mai 2025.

MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. **Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC)**. RBMET.org, [S.L.], v. 31, n. 2, 229-239, 2016. DOI: 10.1590/0102-778631220150040. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/3sv8mPCtrRqbcsvdrFKZPGG/?lang=pt>. Acesso em: 09 jun. 2025.

MELLO, Y. R.; SIMM, M.; VIEIRA, C. V. **Características físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Joinville (SC)**. Acta Biológica Catarinense, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 5-17, Out-Dez 2017. DOI: 10.21726/abc.v4i3.390. Disponível em: <https://periodicos.univille.br/ABC/article/view/390/334>. Acesso em: 29 mai 2025.

MELO FILHO, E. **Maré Meteorológica na Costa Brasileira**, Tese Professor Titular, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande, 328 p, Abril 2017.

MONTE, B.; COSTA, D. D.; CHAVES, M. B.; MAGALHÃES, L. F. O.; UVO, C. B. **Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone areas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 152-167, 25 fev. 2016. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=188&SUMARIO=5156>. Acesso em: 07 mar. 2025.

MONTEIRO, L. R.; KOBAYAMA, M. **Influência da distribuição temporal de precipitação no mapeamento de inundação**. REGA, 11/2, p. 25 a 35, 2014.

MONTEIRO, L. R.; SANTOS, C. I.; KOBAYAMA, M.; CORSEUIL, C. W.; CHAFFE, P. L. B. **Effects of return periods on flood hazard mapping: an analysis of the UFSC Campus Basin, Florianópolis city, Brazil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), v. 26, e9, 2021. DOI: 10.1590/2318-0331.262120200161. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbrh/a/mv98xs5n8fr4vd6RdmCtXXC/?lang=en>. Acesso em: 10 jun. 2025.

MULLER, C. R.; OLIVEIRA, F. H. de; SCHARDOSIM, P. R. A ocupação em Joinville/SC e o papel da gestão municipal para mitigação de danos causados por inundações. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 23, 30 dez. 2012.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Bacia Hidrográfica**. 2022. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/bacia-hidrografica.htm>. Acesso em: 15 abr. 2025.

NRCS - Natural Resources Conservation Service **National Engineering Handbook**, Part 630: Hydrology. Washington, D.C.: USDA, 2004. Disponível em: <https://directives.nrcs.usda.gov/sites/default/files2/1712930594/30410.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2026.

NUNES, A. B.; MARIANO, G. L. **Meteorologia em Tópicos**: volume 7. Maceió: Clube dos Autores, 2020.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Flood**. 2020. Disponível em: <https://www.un-spider.org/category/disaster-type/flood>. Acesso em: 29 abr. 2025.

PARK, H.; SONG, C.; LEE, W.-K. **Impacts of climate change on the energetics and ecosystem material cycles and extreme weather events**: An East Asian case study. EGU General Assembly 2024, Viena, Áustria, 14–19 abr. 2024. DOI: 10.5194/egusphere-egu24-19195. Disponível em: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU24/EGU24-19195.html>. Acesso em: 20 fev. 2025.

PARK, K.-A.; KIM, Y. H. **Recent Multifaceted Studies on the Physical, Chemical, Geological, and Biological Processes in the Yellow and East China Seas and Implications to Global Environmental Changes**. Ocean Science Journal, [S.L.], v. 59, n. 4, p. 59-69, dez. 2024. DOI: 10.1007/s12601-024-00199-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12601-024-00199-2>. Acesso em: 23 mar. 2025.

PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B; LENTZ, STEVE. **Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE**. Science Direct, v. 28, n. 8, p 929-937, October 2002. DOI: 10.1016/S0098-3004(02)00013-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098300402000134>. Acesso em: 20 fev. 2025.

PONTES, P. R. M. **Comparação de modelos hidrodinâmicos simplificados de propagação de vazão em rios e canais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

QU, Z. *et al.* **Coastal processes and dune stability**: insights from wave transmission and runup modeling. Physics Of Fluids, [S.L.], v. 36, n. 7, 1 jul. 2024. AIP Publishing.

DOI: 10.1063/5.0218370. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/pof/article/36/7/077115/3302425/Coastal-processes-and-dune-stability-Insights-from>. Acesso em: 28 mar. 2025.

QGIS Development Team. **QGIS User Guide**. Open Source Geospatial Foundation, 2026. Disponível em: <https://docs.qgis.org>. Acesso em: 18 mar. 2026.

RAPHAEL, R. M.; SANJAY, K. G.; THOMAS, V. G.; *et al.* **Investigation of the impact of climate change on urban microclimates**: A case study of New York City. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 2747, n. 1, p. 012041, 2022. DOI: 10.1088/1742-6596/2747/1/012041. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2747/1/012041>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SANDAL, N. **Global warming**: A comprehensive analysis of causes, impacts, and solutions. 07 dez. 2024. DOI: 10.62823/IJGRIT/2.4.7010 Disponível em: <https://typeset.io/papers/global-warming-a-comprehensive-analysis-of-causes-impacts-ipdm6seswj4i>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SHAH, M. **Greenhouse gases and effects of atmospheric pollution on the environment**. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, v. 7, n. 3, p. 1621-1625, 2020. Disponível em: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2003285.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SMIRNOV, B. M. **Water Condensation Processes in Atmospheric Air**. Springer Atmospheric Sciences, [S.L.], p. 37-69, 2020. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-58039-1_3. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-58039-1_3. Acesso em: 20 fev. 2025.

SOUZA, A. J. *et al.* Coastal Circulation. **Treatise On Estuarine and Coastal Science** (Second Edition), [S.L.], p. 321-367, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323907989000809?via%3Dihub>. Acesso em: 02 fev. 2025.

SOUZA, G. T. **Glossário de Termos Hidrológicos**. 1ª Edição. Brasília: Comissão Brasileira para o Decênio Hidrológico Internacional, 1976.

STOCKTON, N. **Brazil has seen a 460% increase in climate-related disasters since the 1990s**. Mongabay, 20 fev. 2025. Disponível em: <https://news.mongabay.com/2025/02/brazil-has-seen-a-460-increase-in-climate-related-disasters-since-the-1990s/>. Acesso em: 5 abr. 2025.

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. F. **MARÉS ASTRONÔMICAS NA BAÍA DA BABITONGA, SC**. [S. l.]: FACIMAR, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: 1 Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: 1 Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. 2017. **The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction** - Definition: Disaster. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology/disaster>. Acessado em 2 jun 2025.

URBAN, M. C. **Climate change extinctions**. Science, v. 386, p. 1123-1128, 2024. DOI: 10.1126/science.adp4461. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adp4461>. Acesso em: 28 mar. 2025.

USACE - UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-RAS River Analysis System User's Manual**. Hydrologic Engineering Center (HEC), 2025. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation.aspx>. Acesso em: 18 mar. 2026.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 1978.

WILLIAMS, J. *et al.* **Refinements to harmonic tidal predictions in estuaries and shallow water**. European Geosciences Union, Vienna, 20 jan. 2024. DOI: 10.5194/egusphere-egu24-9923. Disponível em: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU24/EGU24-9923.html>. Acesso em: 19 mar. 2025.

ZHANG, W.; FENG, H.; ZHU, Y.; ZHENG, J.; HOITINK, A. J. F. **Subtidal flow reversal associated with sediment accretion in a delta channel**. Water Resources Research, v. 55, n. 12, p. 10781-10795, 11 de dezembro de 2019. DOI: 10.1029/2019WR025945. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019WR025945>. Acesso em: 01 mar. 2025.

ZHU, H. *et al.* **Mechanisms and Modeling of Sea Level Rise in the Context of Global Warming**. Theoretical And Natural Science, [S.L.], v. 86, n. 1, p. 145-149, 15 jan. 2025. DOI: 10.54254/2753-8818/2025.20241. Disponível em: <https://www.ewadirect.com/proceedings/tns/article/view/20241>. Acesso em: 29 mar. 2025.

APÊNDICE A

Tabela 1 – Dados de entrada empregados na simulação do pior cenário de desalinhamento temporal entre os picos de precipitação e de maré. O evento de precipitação está destacado em azul, o ciclo de maré de 24 horas em verde e os respectivos picos de precipitação e maré em amarelo.

Data	Onda [m]	Chuva [mm]								
27/10/23 19:00	-0,640	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 20:00	-0,470	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 21:00	-0,224	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 22:00	-0,169	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 23:00	-0,211	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 0:00	-0,055	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 1:00	0,387	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00
28/10/23 2:00	0,863	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00
28/10/23 3:00	1,074	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00
28/10/23 4:00	0,909	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09
28/10/23 5:00	0,368	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39
28/10/23 6:00	-0,391	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18
28/10/23 7:00	-0,955	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76
28/10/23 8:00	-0,987	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75
28/10/23 9:00	-0,641	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59
28/10/23 10:00	-0,322	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31
28/10/23 11:00	-0,178	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59
28/10/23 12:00	-0,036	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86
28/10/23 13:00	0,256	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73
28/10/23 14:00	0,588	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10
28/10/23 15:00	0,723	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86
28/10/23 16:00	0,571	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18
28/10/23 17:00	0,170	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39
28/10/23 18:00	-0,387	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97
28/10/23 19:00	-0,820	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76
28/10/23 20:00	-0,785	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16
28/10/23 21:00	-0,355	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68
28/10/23 22:00	-0,015	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13
28/10/23 23:00	-0,027	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52
29/10/23 0:00	-0,137	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98
29/10/23 1:00	0,035	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15
29/10/23 2:00	0,506	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45
29/10/23 3:00	0,953	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01
29/10/23 4:00	1,075	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 5:00	0,773	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 6:00	0,096	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 7:00	-0,666	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 8:00	-1,014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 9:00	-0,757	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 10:00	-0,281	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 11:00	-0,038	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 12:00	-0,036	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 13:00	0,017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 14:00	0,277	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 15:00	0,588	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 16:00	0,683	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 17:00	0,439	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 18:00	-0,105	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 19:00	-0,732	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Varição entre picos		C0_-12	C0_-11	C0_-10	C0_-09	C0_-08	C0_-07	C0_-06	C0_-05	C0_-04

(continua)

Data	Onda [m]	Chuva [mm]									
27/10/23 19:00	-0,640	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 20:00	-0,470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 21:00	-0,224	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 22:00	-0,169	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 23:00	-0,211	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 0:00	-0,055	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 1:00	0,387	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 2:00	0,863	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 3:00	1,074	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 4:00	0,909	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 5:00	0,368	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 6:00	-0,391	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 7:00	-0,955	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 8:00	-0,987	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 9:00	-0,641	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 10:00	-0,322	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 11:00	-0,178	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00
28/10/23 12:00	-0,036	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00
28/10/23 13:00	0,256	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00
28/10/23 14:00	0,588	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09
28/10/23 15:00	0,723	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39
28/10/23 16:00	0,571	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18
28/10/23 17:00	0,170	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76
28/10/23 18:00	-0,387	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75
28/10/23 19:00	-0,820	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59
28/10/23 20:00	-0,785	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31
28/10/23 21:00	-0,355	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59
28/10/23 22:00	-0,015	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86
28/10/23 23:00	-0,027	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73
29/10/23 0:00	-0,137	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10
29/10/23 1:00	0,035	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86
29/10/23 2:00	0,506	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18
29/10/23 3:00	0,953	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39
29/10/23 4:00	1,075	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97
29/10/23 5:00	0,773	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76
29/10/23 6:00	0,096	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16
29/10/23 7:00	-0,666	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68
29/10/23 8:00	-1,014	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13
29/10/23 9:00	-0,757	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52
29/10/23 10:00	-0,281	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98
29/10/23 11:00	-0,038	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15
29/10/23 12:00	-0,036	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45
29/10/23 13:00	0,017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01
29/10/23 14:00	0,277	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 15:00	0,588	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 16:00	0,683	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 17:00	0,439	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 18:00	-0,105	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/23 19:00	-0,732	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Varição entre picos		C0_-03	C0_-02	C0_-01	C0_-00	C0_+01	C0_+02	C0_+03	C0_+04	C0_+05	

(fim)

Data	Onda [m]	Chuva [mm]						
27/10/23 19:00	-0,640	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 20:00	-0,470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 21:00	-0,224	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 22:00	-0,169	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27/10/23 23:00	-0,211	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 0:00	-0,055	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 1:00	0,387	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 2:00	0,863	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 3:00	1,074	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 4:00	0,909	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 5:00	0,368	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 6:00	-0,391	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 7:00	-0,955	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 8:00	-0,987	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 9:00	-0,641	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 10:00	-0,322	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 11:00	-0,178	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 12:00	-0,036	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 13:00	0,256	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 14:00	0,588	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 15:00	0,723	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 16:00	0,571	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00
28/10/23 17:00	0,170	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00	0,00
28/10/23 18:00	-0,387	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00	0,00
28/10/23 19:00	-0,820	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09	0,00
28/10/23 20:00	-0,785	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39	5,09
28/10/23 21:00	-0,355	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18	6,39
28/10/23 22:00	-0,015	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76	8,18
28/10/23 23:00	-0,027	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75	9,76
29/10/23 0:00	-0,137	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59	10,75
29/10/23 1:00	0,035	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31	8,59
29/10/23 2:00	0,506	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59	10,31
29/10/23 3:00	0,953	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86	8,59
29/10/23 4:00	1,075	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73	8,86
29/10/23 5:00	0,773	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10	8,73
29/10/23 6:00	0,096	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86	9,10
29/10/23 7:00	-0,666	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18	9,86
29/10/23 8:00	-1,014	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39	7,18
29/10/23 9:00	-0,757	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97	6,39
29/10/23 10:00	-0,281	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76	8,97
29/10/23 11:00	-0,038	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16	9,76
29/10/23 12:00	-0,036	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68	14,16
29/10/23 13:00	0,017	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13	20,68
29/10/23 14:00	0,277	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52	31,13
29/10/23 15:00	0,588	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98	37,52
29/10/23 16:00	0,683	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15	42,98
29/10/23 17:00	0,439	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45	35,15
29/10/23 18:00	-0,105	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	18,45
29/10/23 19:00	-0,732	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01
Variação entre picos		C0_+06	C0_+07	C0_+08	C0_+09	C0_+10	C0_+11	C0_+12

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

APÊNDICE B

Tabela 1 - Variação da precipitação para cada cenário de mudança climática.

Variação da precipitação para cada cenário de mudanças climáticas					
Cenário conforme o IPCC	C0	C1	C2	C3	C4
Cenário adotado neste estudo	Atual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Variação prevista [%]	-	3.40%	11.70%	25%	30.60%
Resultados obtidos [mm]	5,085	5,258	5,680	6,356	6,641
	6,391	6,608	7,138	7,988	8,346
	8,177	8,455	9,134	10,222	10,679
	9,758	10,089	10,899	12,197	12,744
	10,754	11,120	12,012	13,443	14,045
	8,590	8,882	9,595	10,737	11,218
	10,307	10,658	11,513	12,884	13,462
	8,590	8,882	9,595	10,737	11,218
	8,864	9,166	9,902	11,081	11,577
	8,727	9,024	9,748	10,909	11,397
	9,105	9,414	10,170	11,381	11,891
	9,861	10,196	11,015	12,326	12,878
	7,181	7,425	8,021	8,976	9,378
	6,391	6,608	7,138	7,988	8,346
	8,967	9,272	10,017	11,209	11,712
	9,758	10,089	10,899	12,197	12,744
	14,156	14,637	15,812	17,694	18,487
	20,684	21,387	23,104	25,855	27,013
	31,129	32,187	34,771	38,911	40,654
	37,519	38,795	41,909	46,899	49,000
	42,982	44,443	48,011	53,728	56,135
	35,148	36,343	39,261	43,936	45,904
	18,450	19,078	20,609	23,063	24,096
	7,009	7,247	7,829	8,761	9,154

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

APÊNDICE C

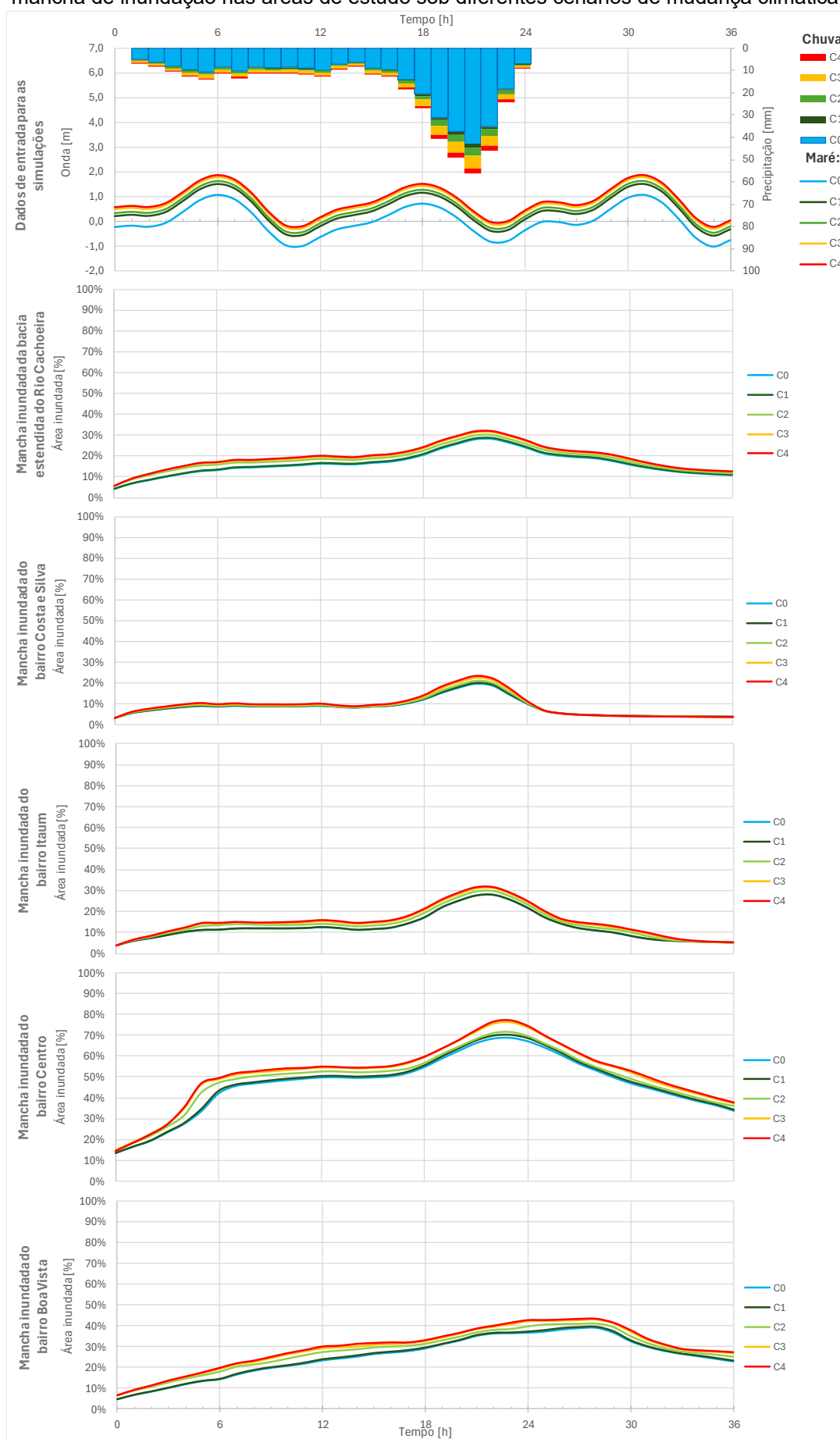
Tabela 1 – Variação do nível da maré para cada cenário de mudança climática.

Variação da maré para cada cenário de mudanças climáticas					
Cenário conforme o IPCC	Atual	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5
Cenário adotado neste estudo	C0	C1	C2	C3	C4
Variação prevista [m]	-	0,44	0,58	0,72	0,81
Resultados obtidos [m]	0,723	1,163	1,303	1,443	1,533
	0,571	1,011	1,151	1,291	1,381
	0,170	0,610	0,750	0,890	0,980
	-0,387	0,053	0,193	0,333	0,423
	-0,820	-0,380	-0,240	-0,100	-0,010
	-0,785	-0,345	-0,205	-0,065	0,025
	-0,355	0,085	0,225	0,365	0,455
	-0,015	0,425	0,565	0,705	0,795
	-0,027	0,413	0,553	0,693	0,783
	-0,137	0,303	0,443	0,583	0,673
	0,035	0,475	0,615	0,755	0,845
	0,506	0,946	1,086	1,226	1,316
	0,953	1,393	1,533	1,673	1,763
	1,075	1,515	1,655	1,795	1,885
	0,773	1,213	1,353	1,493	1,583
	0,096	0,536	0,676	0,816	0,906
	-0,666	-0,226	-0,086	0,054	0,144
	-1,014	-0,574	-0,434	-0,294	-0,204
	-0,757	-0,317	-0,177	-0,037	0,053
	-0,281	0,159	0,299	0,439	0,529
	-0,038	0,402	0,542	0,682	0,772
	-0,036	0,404	0,544	0,684	0,774
	0,017	0,457	0,597	0,737	0,827
	0,277	0,717	0,857	0,997	1,087

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

APÊNDICE D

Figura 1 – Interação temporal entre precipitação e maré e sua influência na evolução da mancha de inundação nas áreas de estudo sob diferentes cenários de mudança climática.



Fonte: Elaborado pela autora, 2026.