AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE EVENTOS EXTREMOS NA MACRODRENAGEM DE FORTALEZA/CE

José Lucas Ferreira de Oliveira [1]& Iran Eduardo Lima Neto [2]

Palavras-Chave – elevação dos oceanos, chuvas intensas, hidrodinâmica 2D.

INTRODUÇÃO

Chuvas intensas são caracterizadas por uma alta intensidade, normalmente em mm/h, as quais variam para cada localidade [Batista *et al*. (2025)]. Nos últimos anos, a ocorrência de chuvas que superam a precipitação secular está se tornando, cada vez mais, frequente [Xiong & Yang (2025)], ou seja, chuvas que deveriam ocorrer a cada duzentos anos estão acontecendo de vinte em vinte anos, por exemplo. Ademais, outro agravante causado pelas mudanças climáticas é a elevação do nível médio dos oceanos [Rignot *et al*. (2024)].

Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo avaliar como as chuvas intensas e a elevação d'água do Oceano Atlântico, em conjunto ou não, impactarão na macrodrenagem de Fortaleza, mais especificamente nos estuários dos Rios Cocó e Maranguapinho, assim como mensurar as áreas alagadas.

METODOLOGIA

Usou-se o software *HEC-RAS* para realizar as simulações hidrodinâmicas bidimensionais. Como dados de entrada no modelo, foi-se incluído três ocasiões de marés para a condição de contorno de jusante (CCJ) e mais três ocasiões hidrológicas, servindo como condição de contorno de montante (CCM). As Tabela 1 a Tabela 3 destrincham cada uma dessas ocasiões.

Ocasião	Jusante	Descrição
1	Atual	Cenário atual de marés
2	Otimista	Marés acrescidas com 60cm
3	Pessimista	Marés acrescidas com 300cm

Tabela 1. Destrinchamento da CCJ adotada no modelo. Fonte: Rignot et al. (2024).

Ocasião	Montante	Descrição
1	Outubro	Cenário com as perenizações dos rios e sem chuva na malha
2	Janeiro seco	Cenário com vertimento máximo das barragens e sem chuva na malha
3	Janeiro chuvoso	Cenário com vertimento máximo das barragens e com chuva na malha

Tabela 2. Destrinchamento da CCM adotada no modelo. Fonte: autoria própria.

Visando à melhor compreensão da ordem de grandeza das vazões, elaborou-se a Tabela 3.

Ocasião	Vazão no Rio Cocó (m^3/s)	Vazão no Rio Maranguapinho (m^3/s)	Intensidade da precipitação (mm/h)
1	0,20038	0,12728	-
2	30	10	-
3	30	10	12,11

Tabela 3. Destrinchamento da CCM adotada no modelo. Fonte: COGERH (2026) & Batista et al. (2025).

Adicionalmente, a linha de CCJ foi delimitada em toda a costa de Fortaleza – cerca de 26,5 km –, já as linhas de CCM foram as larguras dos Rios Cocó e Maranguapinho na entrada do município – cerca

1) Universidade Federal do Ceará (UFC), lucasfer1227@alu.ufc.br.
2) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA-UFC), iran@deha.ufc.

de 1240 e de 195 m –, respectivamente. Concomitantemente, a Figura 1 apresenta o refinamento da malha para cada setor de fluxo, bem como os valores de rugosidade associados.

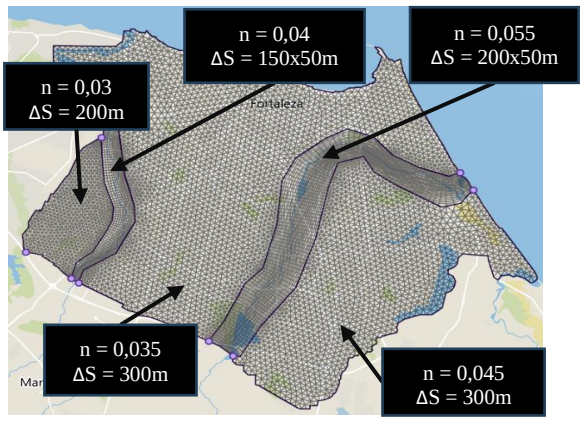


Figura 1. Malha utilizada. Fonte: autoria própria.

Vale salientar que o modelo digital de terreno, cedido pela Prefeitura, possui uma resolução de 30 cm e DATUM WGS84.

RESULTADOS

No que se refere à foz do Rio Cocó, elaborou-se a Figura 2, a qual traça os gráficos de vazão versus tempo. Assertivamente, quando os valores de vazões sobem e descem significam, respectivamente, maré enchente e maré secante. De maneira análoga, quando os valores estão negativos, representam que o fluxo prevalecente é o marítimo, ou seja, a água flui para o rio. Vale destacar que não houve diferença entre outubro e janeiro seco.

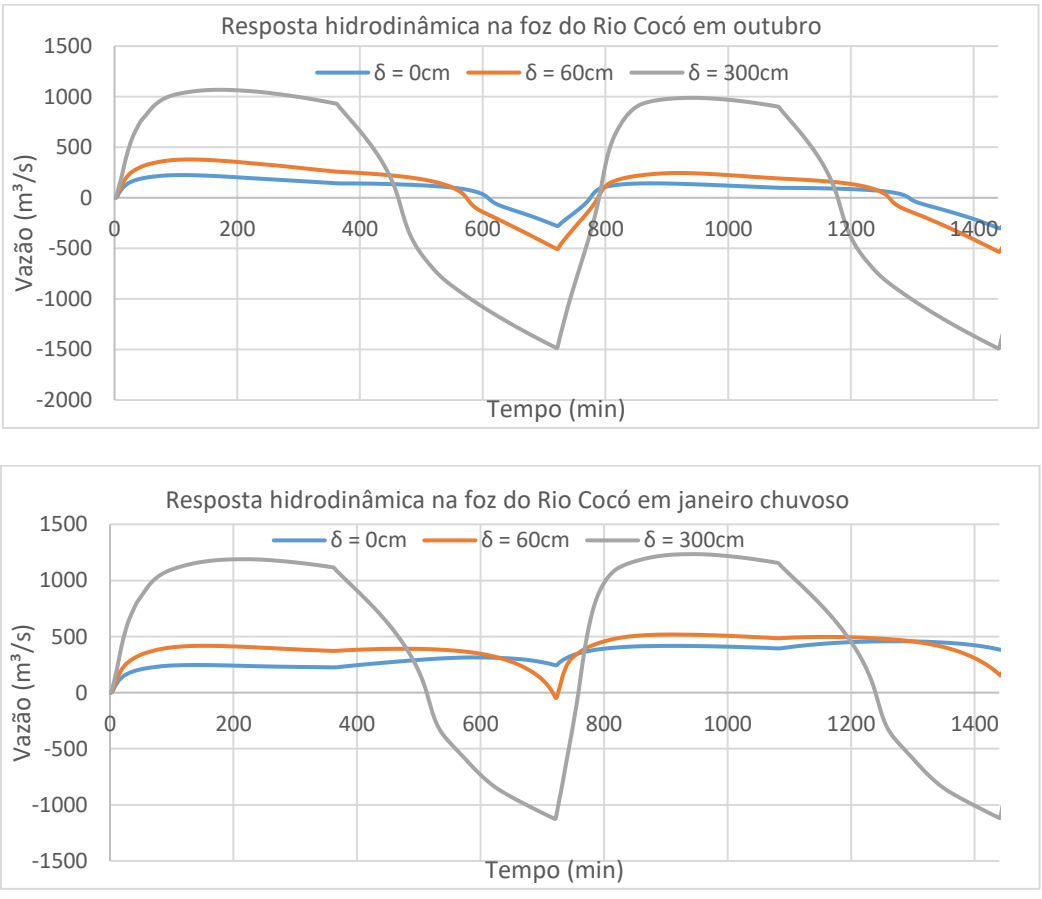


Figura 2. Resposta hidrodinâmica em função dos cenários de marés na foz do Rio Cocó. Fonte: autoria própria.

Os gráficos acima ratificam o efeito denominado assimetria de marés, o qual estabelece que a duração da maré enchente tende a ser menor que o da maré secante (ALFREDINI & ARASAKI, 2009); sendo cerca de 90 min para a maré atingir o patamar da preia-mar e cerca de 330 min para atingir o ponto da baixa-mar. Outrossim, na estimativa pessimista, praticamente não existe diferença entre os cenários hidrológicos; e, em janeiro chuvoso, quando a amplitude de maré não é suficientemente alta, os valores de vazões ficam, quase que na totalidade do tempo, positivos, com exceção do minuto 717 ao 725 na estimativa otimista.

Agora, a mesma análise foi apurada para a foz do Rio Maranguapinho, a qual consta na Figura 3. Novamente, houve a coincidência dos resultados entre outubro e janeiro seco.

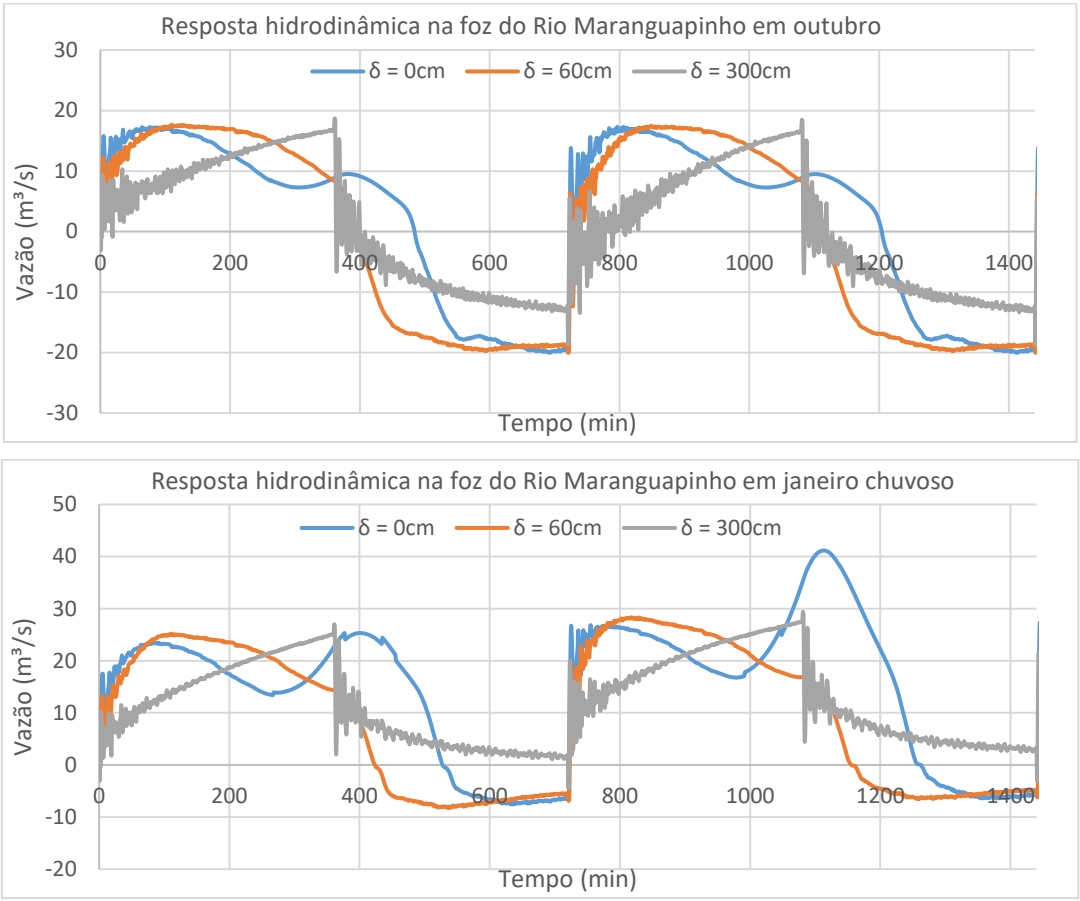


Figura 3. Resposta hidrodinâmica em função dos cenários de marés na foz do Rio Maranguapinho. Fonte: autoria própria.

Em contrapartida aos resultados na foz do Rio Cocó, os gráficos acima reportam uma exceção ao efeito de assimetria de marés na estimativa pessimista em ambos os regimes hidrológicos e uma segunda maré enchente presente no cenário atual, a qual muda somente sua magnitude de vazão somente com o valor do aporte fluvial. Tal fenômeno ocorre, de forma mais branda, no cenário de maior aporte fluvial (janeiro chuvoso) concomitantemente com a estimativa otimista, reverberando que este segundo pico está atrelado ao confronto entre o fluxo fluvial e o marítimo. Ademais, outro fator a se observar é a amplitude de vazões, sendo cerca de 50 vezes menor que no Rio Cocó. Por fim, outra característica bastante notável nos gráficos da foz do Rio Maranguapinho é que a vazão máxima da estimativa pessimista não ultrapassa a vazão máxima da estimativa otimista.

Para exemplificar o impacto isolado de cada evento extremo, decidiu-se elaborar a Figura 4 e a Figura 5, as quais contém a mancha de inundação em outubro pessimista (analisar somente o pior caso de elevação no nível do Oceano Atlântico) e em janeiro chuvoso atual (analisar somente a chuva intensa de longa duração, 24h).

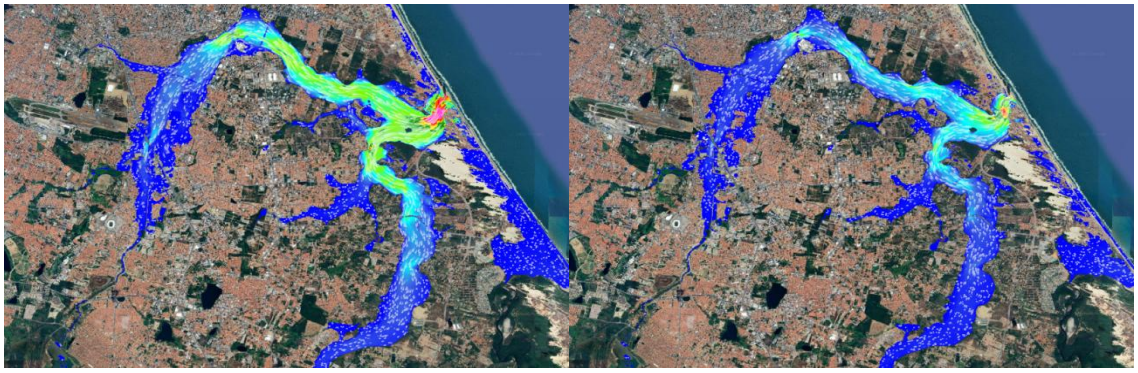


Figura 4. Variação de maré em outubro na estimativa pessimista. Fonte: autoria própria.

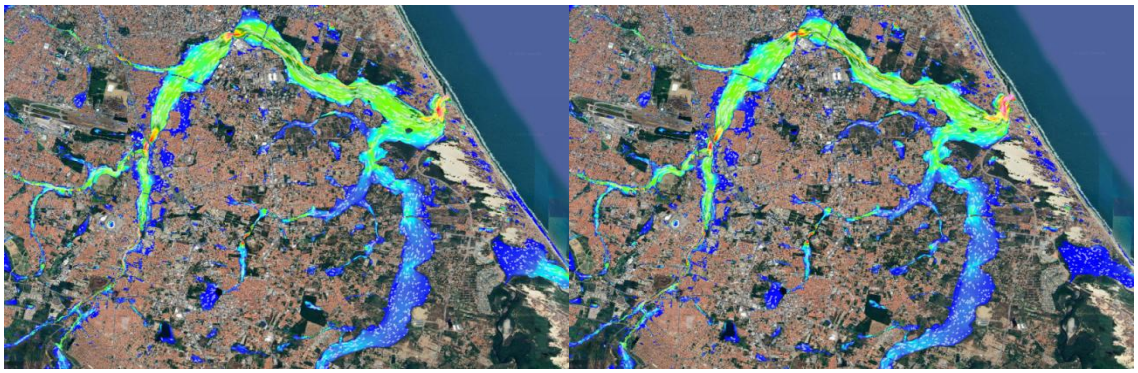


Figura 5. Variação de maré em janeiro chuvoso no cenário atual. Fonte: autoria própria.

Observa-se, pelas figuras acima que, o impacto de uma chuva intensa de alta duração reverbera em um maior grau de magnitude na várzea do Rio Cocó. Ademais, não foi possível estabelecer uma zona salobra para a simulação com a condição atual de elevação do nível do oceano em janeiro chuvoso ao contrário do que se afere no cenário pessimista em outubro.

CONCLUSÕES

Nota-se que, no Rio Cocó, a ocorrência de uma chuva intensa de longa duração inibirá a formação de uma zona salobra, ou seja, sem local propício para mangues, exceto se for em conjunto com a estimativa pessimista de elevação do nível do Oceano Atlântico. Outrossim, percebe-se que, na foz do Rio Maranguapinho, devido à sua forma extensa, ampla e convergente, os efeitos da assimetria de maré foram apaziguados, reverberando em uma quebra de expectativas nas respostas dos tempos de marés; houve a formação de uma segunda maré enchente; ocorreu um baixo valor da amplitude de vazões, o qual pode ser explicado pelo regime quase que estacionário do fluxo naquela região; e por fim, reverberou em uma diminuição da vazão positiva mesmo em uma condição hidrológica de maior aporte fluvial.

REFERÊNCIAS

[1] ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emília. "*Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental*". 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

[2] BATISTA, T. L; TAVARES, P. R. L.; LOPES, M. C.; LIMA NETO, V. S. (2025). *"Equações IDF dos municípios cearenses geradas a partir de dados pluviométricos"*. Revista Brasileira de Geografia Física, v.18, p.702-722. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p702-722.

[3] RIGNOT, Eric; CIRACÌ, Enrico; SCHEUCHL, Bernd; TOLPEKIN, Valentyn; WOLLERSHEIM, Michael; DOW, Christine. "*Widespread seawater intrusions beneath the grounded ice of Thwaites Glacier, West Antarctica*". Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 121, n. 22, e2404766121, 2024. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.2404766121.

[4] XIONG, J., YANG, Y. "*Climate Change and Hydrological Extremes*". Current Climate Change Reports, vol.11, 1 (2025). https://doi.org/10.1007/s40641-024-00198-4.