UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

IAN VINICIO LOPES DE SOUZA

Análise da influência dos aspectos meteoceanográficos na formação de ondas na Baía de Todos os Santos.

Salvador
2025

IAN VINICIO LOPES DE SOUZA

Análise da influência dos aspectos meteoceanográficos na formação de ondas na Baía de Todos os Santos.

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia. Este trabalho é apresentado na forma de um manuscrito que será submetido para a revista Ocean Modelling Journal.

Orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Ferreira de Mendonça.
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa.

Salvador

2025

Sumário

Lista de Tabelas.....**4**
Resumo.....**6**
Abstract.....**7**
1. INTRODUÇÃO.....**8**
2. Metodologia..... **11**
2.1. Modelo de ondas SWAN.....11
2.2. Modelo ROMS.....12
2.3. Configuração COAWST..... 13
2.4. Validação do modelo.....14
2.5. Análise dos aspectos meteorológicos e oceanográficos..... 15
3. Resultados e discussão.....**16**
3.1. Comparação entre as Etapas..... 19
3.2. Influência da maré na propagação de ondas..... 25
4. Conclusão:..... **28**
5. Referências.....**31**
Anexo A. - Tabelas complementares.....**37**
Anexo B. - Figuras complementares.....**38**

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa da área de estudos.....9
Figura 2: Batimetria e localização dos 5 pontos analisados na Baía de Todos os Santos. Os pontos B2 e B1, correspondem às boias, SISMO e SiMCosta.....15
Figura 3: Comparação temporal dos parâmetros de onda entre as etapas e os dados observados. Hs representa altura significativa em metros, Tp, período de pico em segundos, e Dir, direção média em graus.....16
Figura 4: comparação espacial da altura significativa (Hs) de onda para os quatro cenários simulados durante a maré de sizígia na preia-mar.....19
Figura 5: Diferença espacial do campo de ondas entre a etapa 1 e as demais etapas para o mesmo momento da fig 4.....20
Figura 6: Comparação da Altura significativa entre as etapas nos 5 pontos da BTS.....22
Figura 7: Comparação da Direção de onda entre as etapas nos 5 pontos da BTS.....23
Figura 8: Campo espacial da altura significativa da etapa 4 em diferentes momentos do estofo de maré, preia-mar e baixa-mar.....24
Figura 9: Diferença do campo espacial da altura significativa em momentos de preia-mar e baixa-mar para os dias 17 e 24.....25
Figura 10: Campo espacial da altura significativa da etapa 4 em diferentes momentos de maré, meia vazante e meia enchente. Dia 17 refere-se a maré de quadratura, e dia 24, sizígia.....26
Figura 11: Diferença do campo espacial da altura significativa em momentos de meia vazante e enchente para os dias 17 e 24.....27

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais parâmetros físicos utilizados na configuração do modelo SWAN.....13
Tabela 2: Comparação das métricas entre os dados observados da boia SiMCosta e as simulações realizadas por diferentes forçantes. n representa o número de observações comparadas entre o modelo e a boia.....17

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, especialmente à minha avó (Nete) , minha mãe (Dalva) , ao meu pai (Romário),aos meus tios, (Marcus e Vicente) e aos meus avós (Nilton e Raimunda), que sempre me apoiaram e incentivaram em meus estudos e sonhos. Sem o apoio deles nada disso teria sido possível. Um agradecimento especial à minha namorada Júlia, que me incentivou e apoiou durante minha graduação, tornando esse caminho mais leve.

Aos meus orientadores, Luis Felipe e Guilherme Lessa, que acreditaram no meu potencial, me guiaram com atenção, entusiasmo e companheirismo. Obrigado por compartilharem seus conhecimentos e experiências durante todas as etapas deste trabalho.

Agradeço à equipe do LOS pela colaboração, pelo trabalho em equipe e por tornar o ambiente mais leve e descontraído, onde todos sempre se ajudaram.

Quero agradecer a todos os meus amigos que me ajudaram e estiveram presentes durante a minha graduação, nas disciplinas, festas, atividades de campo e resenhas.

Por fim, gostaria de agradecer aos professores do curso pelas oportunidades e pelo conhecimento compartilhado, que foram muito importantes para minha formação. Também gostaria de agradecer aos coordenadores e funcionários do colegiado, em especial a Ritinha, que sempre tentaram resolver minhas pendências.

Análise da influência dos aspectos meteoceanográficos na formação de ondas na Baía de Todos os Santos.

Resumo

A dinâmica das ondas na Baía de Todos os Santos (BTS), um dos maiores estuários do Brasil, é governada pela interação entre ondulações oceânicas, vento local, maré e correntes. Este estudo avalia a contribuição dessas forçantes na propagação e transformação das ondas na BTS, durante um evento extremo em junho de 2021. Foram realizadas quatro simulações utilizando o sistema COAWST, (i) SWAN combinado com vento e ondas, (ii) SWAN apenas com forçante de onda, (iii) SWAN com forçante de vento; e (iv) ROMS–SWAN acoplados, incluindo maré, correntes, vento e ondas. A validação foi feita com dados das boias SISMO e SIMCosta, utilizando viés, MAE, RMSE e coeficiente de correlação de Pearson. A Etapa (i) apresentou o melhor desempenho, com viés de −0,014 m, RMSE de 0,18 m, MAE de 0,14 m e correlação de 0,77 para a altura significativa (Hs) na boia SIMCosta, também obteve os menores erros para período de pico (Tp) e direção média (θm). Os resultados indicam que ondas oceânicas são as principais fontes de energia na entrada da baía, enquanto o vento local atua como modulador secundário nas regiões internas. A simulação acoplada revelou que a interação onda–corrente durante a maré de sizígia altera Hs significativamente, com aumento durante a vazante e redução na enchente. Logo, embora a combinação ondas + vento seja suficiente para reproduzir as condições observadas na entrada da BTS, de forma satisfatória, a inclusão da maré e das correntes é essencial para representar a dinâmica interna da baía, especialmente em ambientes rasos e morfologicamente complexos como o Canal de Itaparica e o banco de Santo Antônio.

Palavras-chave - Baía de Todos os Santos, Interação onda-corrente, COAWST, Transformação de ondas, Forçantes meteoceanográficas.

Analysis of the influence of meteoceanographic aspects on wave formation in the Todos os Santos Bay

Abstract

The wave dynamics in the Bay of All Saints (BTS), one of the largest estuaries in Brazil, are governed by the interaction between oceanic swell, local wind, tide, and currents. This study evaluates the contribution of these forcings to the propagation and transformation of waves in the BTS during an extreme event in June 2021. Four simulations were carried out using the COAWST system: (i) SWAN combined with wind and waves, (ii) SWAN forced only by waves, (iii) SWAN forced only by wind, and (iv) coupled ROMS–SWAN, including tide, currents, wind, and waves. Validation was performed using data from the SISMO and SIMCosta buoys, applying bias, MAE, RMSE, and Pearson's correlation coefficient. Simulation (i) showed the best performance, with a bias of −0.014 m, RMSE of 0.18 m, MAE of 0.14 m, and a correlation of 0.77 for significant wave height (Hs) at the SIMCosta buoy, and it also produced the lowest errors for peak period (Tp) and mean direction (θm). The results indicate that ocean waves are the main source of energy at the bay entrance, while local wind acts as a secondary modulator in the inner regions. The coupled simulation revealed that wave–current interaction during the spring tide significantly alters Hs, with increases during ebb tide and reductions during flood tide. Therefore, although the combination of swell and wind is sufficient to satisfactorily reproduce the observed conditions at the BTS entrance, the inclusion of tide and currents is essential to represent the internal dynamics of the bay, especially in shallow and morphologically complex environments such as the Itaparica Channel and the Santo Antônio shoal.

Keywords - Todos os Santos Bay, wave–current interaction, COAWST,wave transformation, Meteoceanographic forcings.

1. INTRODUÇÃO

As ondas superficiais desempenham um papel fundamental na dinâmica costeira e estuarina, atuando como agentes no transporte de sedimentos, na evolução morfológica da linha de costa e na circulação em águas rasas (Thornton & Guza, 1983; Svendsen, 1984). Durante a propagação em direção à costa, as ondas são transformadas, mudando suas características por interações com a batimetria, correntes, marés e ventos locais, em processos que incluem refração, difração, quebra e dissipação (Battjes, 1975; Holthuijsen, 2007). Essas transformações modulam a distribuição espacial e espectral da energia das ondas, influenciando diretamente a formação de feições morfológicas como barras de areia e canais de maré (Castelle *et al.*, 2023).

A geração das ondas é predominantemente controlada pelo vento, que transfere momento e energia à superfície do mar por meio de mecanismos não lineares descritos pela teoria de crescimento de ondas de Phillips (1957). De acordo com Carter (1982) a altura e período das ondas geradas dependem da intensidade, duração e extensão do vento (fetch), resultando em um espectro local de ondas que evolui com o tempo e o espaço (Komen *et al*., 1994). Após se propagarem para fora da região de geração, as ondas são denominadas swell, caracterizado por períodos mais longos e menor dispersão espectral (Echevarria *et al*., 2019), podendo viajar milhares de quilômetros até regiões costeiras distantes (Ardhuin *et al*., 2008). O swell não apenas modula o espectro de ondas local, mas também retroage na camada limite atmosférica, alterando perfis de vento e turbulência, especialmente quando se propaga contra o vento (Semedo *et al*., 2009).

Em ambientes costeiros e estuarinos, a transformação das ondas também é afetada pela variação do nível do mar e pelas correntes de maré (Dodet *et al.*, 2019). A mudança no nível d'água altera a coluna d'água, mudando o ponto e a intensidade da quebra das ondas, durante a maré alta, o aumento da coluna d'água permite que ondas de maior energia penetrem mais proximais à costa, enquanto na maré baixa ocorre intensificação da dissipação em áreas rasas (Fewings *et al.*, 2008; Lentz *et al*., 2008). Além disso, as correntes de maré interagem diretamente com as ondas, modificando sua altura e comprimento de onda. Ondas que se propagam contra uma corrente são comprimidas, tornando-se mais íngremes e suscetíveis à quebra prematura, enquanto ondas que viajam a favor da corrente se alongam e diminuem em altura (Lowe *et al.*, 2005). Essas interações onda-corrente alteram

significativamente a distribuição de energia no espectro e influenciam o transporte sedimentar (Li *et a*l., 2022).

A Baía de Todos os Santos (BTS) (Figura 1), localizada na costa nordeste do Brasil, é o segundo maior sistema estuarino do país, com área máxima de 1.233 km² e profundidade média de 9,8 m (Lessa *et al*., 2001). A baía conecta-se ao Oceano Atlântico por dois canais principais: o Canal de Salvador, que possui 9 km de largura e até 70 m de profundidade, e o Canal de Itaparica (mais raso e estreito). A maré é a principal forçante barotrópica do sistema, seu regime é semidiurno, dominado pela componente M2 (Martinho *et al.*, 2019), com amplificação de até 0,11 m em áreas internas (Cirano & Lessa, 2007). As correntes de maré no Canal de Salvador atingem velocidades de 1 m/s, com domínio da vazante (Cirano & Lessa, 2007). O regime de ventos apresenta padrões sazonais e diurnos, com ventos predominantes dos quadrantes leste, nordeste (E–NE) no verão e sul, sudeste (S–SSE) no inverno, com velocidades médias em torno de 5,5 m/s (Lessa *et al.*, 2009). A brisa marítima atua, principalmente, pela borda leste da Baía de Todos os Santos, como uma circulação térmica diária que resfria a camada limite atmosférica, aumenta a umidade e regula as temperaturas ao longo do dia.

O regime de ondas na BTS é sazonal e influenciado por ondas locais e swell. Durante o verão, as ondas são predominantemente de leste, com alturas entre 1 e 2 m e períodos de 6 a 8 s, enquanto no inverno, ondas de sudeste com alturas de 2 a 3 m e períodos entre 6 e 10 s dominam, registrando picos de até 4 m e 17 s (Fonseca, 2019). As ondas mais energéticas estão associadas a frentes frias do quadrante sul, que afetam a região no outono e inverno (PIANCA *et al.*, 2010).

Um elemento morfológico-chave na dinâmica de ondas e correntes na entrada da BTS é o banco de Santo Antônio (BSA), um delta de maré vazante. Localizado estrategicamente na passagem entre o Canal de Salvador e a plataforma continental, o BSA apresenta cerca de 12 km de comprimento e largura média entre 3 e 3,5 km, com topo atingindo profundidades mínimas de 5 m (Rebouças, 2010; Dominguez *et al*., 2011). Esse banco atua como um obstáculo submarino que modula a propagação de ondas e a distribuição das correntes de maré. Sua posição e topografia deflete as correntes de vazante para leste, intensificando a energia hidrodinâmica na região (MARTA-ALMEIDA *et al*., 2017) influenciando a formação das ondas que penetram na baía. A presença do banco induz mudanças na profundidade local, promovendo refração e quebra de ondas, especialmente durante eventos de swell, quando

ondas de maior energia interagem com a batimetria rasa do BSA. Essa interação morfo-hidrodinâmica desempenha papel crucial na atenuação e redistribuição da energia de ondas antes de sua entrada nas zonas mais internas da BTS.

Diante disso, este estudo tem como objetivo investigar, por meio de modelagem numérica com o acoplamento dos modelos ROMS (Regional Ocean Modeling System) + SWAN (Simulating WAves Nearshore), a influência dos fatores meteorológicos e oceanográficos na dinâmica de ondas na BTS. Através de simulações em diferentes cenários de forçantes, busca-se identificar a contribuição relativa das ondulações oceânicas (*swell* + *wind sea*) e das ondas geradas pelo vento local, bem como o papel das marés e da batimetria, na propagação e distribuição de energia das ondas. Os resultados visam compreender as mudanças que as ondas sofrem ao se propagarem na BTS.

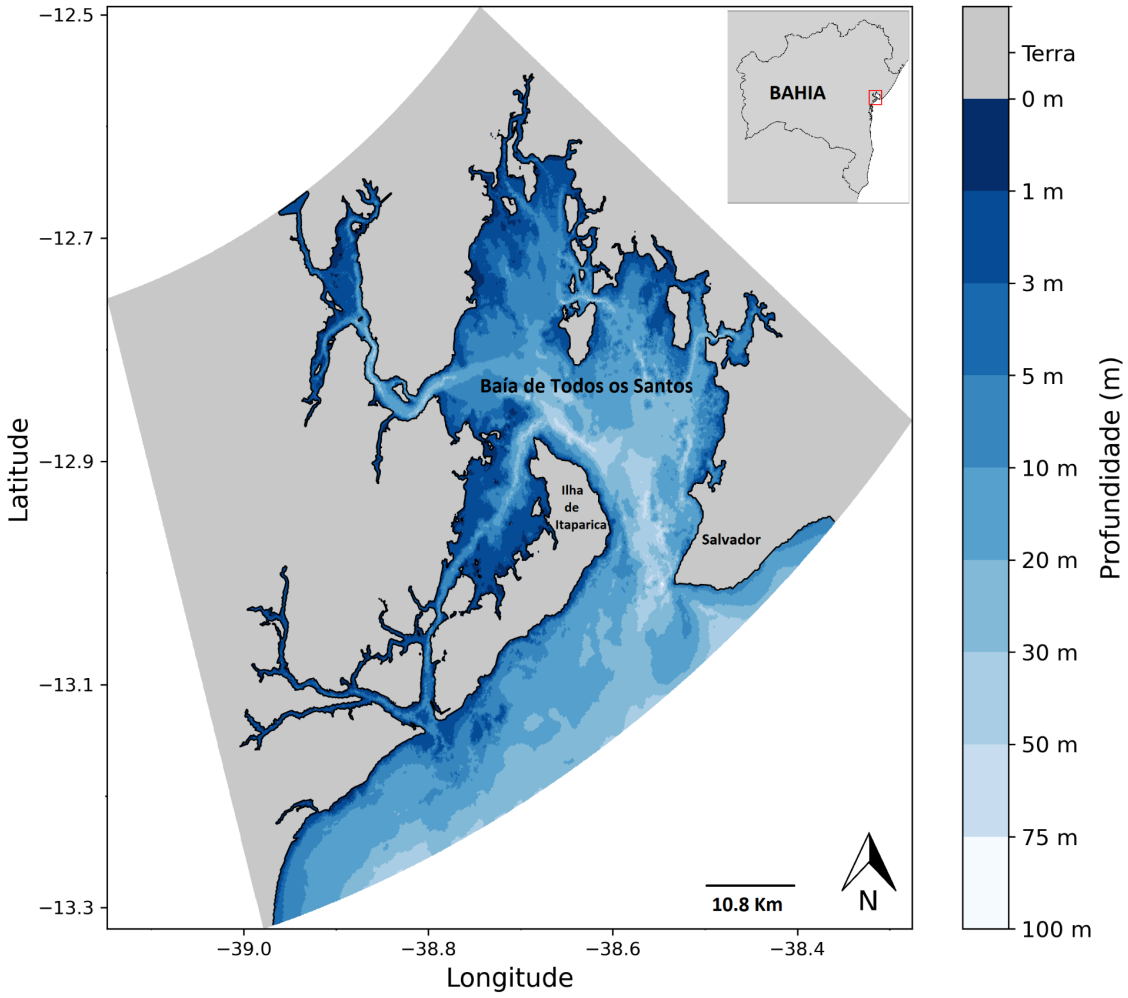


Figura 1: Mapa da área de estudos

2. Metodologia

O sistema de modelagem acoplada COAWST (Coupled Ocean – Atmosphere – Wave – Sediment Transport) (Warner *et al*., 2010) foi aplicado na Baía de Todos os Santos (BTS) para avaliar a influência de processos meteoceanográficos na formação e transformação de ondas superficiais. As simulações combinam o modelo oceânico ROMS (Regional Ocean Modeling System) e o modelo espectral de ondas SWAN (Simulating WAves Nearshore) em um esquema de acoplamento bidirecional, permitindo a troca de informações sobre correntes, batimetria, vento e forçantes de onda.

O período de estudo corresponde a todo o mês de junho de 2021, selecionado devido às condições meteorológicas e oceanográficas extremas registradas na região, associadas a um ciclone extratropical que atingiu a costa. Neste trabalho foram realizadas quatro simulações, dentre elas, as 3 primeiras foram feitas apenas com o SWAN, (i) ondas forçadas por vento + ondas oceânicas, (ii) apenas ondulações oceânicas, (iii) apenas vento, e (iv) com o sistema acoplado, considerando maré, correntes, vento, ondas e rugosidade de fundo. Esses cenários permitiram avaliar a influência das forçantes de forma isolada e em conjunto.

2.1. Modelo de ondas SWAN

No presente trabalho, as simulações de ondas geradas por vento foram realizadas utilizando o SWAN, versão 41.20, desenvolvido pela Delft University of Technology (Booij et al., 1999), disponível em https://www.swan.tudelft.nl. O SWAN é um modelo de onda espectral de 3° geração, que resolve o estado aleatório do mar de ondas geradas pelos ventos em regiões costeiras e offshore. Este modelo é baseado na equação de balanço da ação de ondas (1), explicando sua geração, evolução e dissipação através do espaço, tempo, frequência relativa (σ) e direção de propagação da onda (θ), assim descrevendo o espectro de densidade da ação das ondas.

A equação fundamental que governa o SWAN é a equação do balanço da ação das ondas (Hasselmann *et al*., 1973), expressa como:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla\cdot[(cg + U)\,N] + \frac{\partial(c_{\sigma}\,N)}{\partial\sigma} + \frac{\partial(c\theta\,N)}{\partial\theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

Onde $N(\sigma,\theta,x,y,t)$ é a densidade espectral da ação de ondas, c_g é a velocidade de grupo da onda, c_σ e c_θ representam as velocidades de propagação na frequência relativa e na direção

de propagação da onda, U é a velocidade média da corrente, respectivamente, e S é o termo fonte, que representa os processos físicos que governam a evolução do espectro de ondas. Esses processos incluem a geração por vento, que descreve a transferência de energia do vento para as ondas, baseada na formulação de Janssen (1991); a dissipação por quebra de ondas, que modela a perda de energia devido à arrebentação em águas profundas e rasas; a dissipação por fricção no fundo, relevante para regiões costeiras onde a interação com o fundo oceânico reduz a energia das ondas; a dissipação por efeito de whitecapping, que representa a quebra de ondas em águas profundas devido à instabilidade não linear; e a interações não lineares entre componentes espectrais, que envolve trocas de energia entre diferentes componentes espectrais através de interações onda-onda (triad e quádruplas). Esses processos são representados no modelo por parametrizações empíricas e teorias fundamentadas, permitindo ao SWAN capturar com precisão a evolução das ondas em diversas condições ambientais.

2.2. Modelo ROMS

O ROMS (disponível em: http://www.myroms.org), é um modelo hidrodinâmico baseado em coordenadas verticais sigma, que favorecem a representação de áreas costeiras e batimetria complexa. Ele resolve as equações primitivas de Navier–Stokes em três dimensões (na forma média de Reynolds), discretizadas por diferenças finitas, assegurando a conservação de massa, momento, calor e salinidade (Shchepetkin; McWilliams, 2005). O ROMS incorpora parametrizações físicas para mistura vertical, *vertical K-Profile Parameterization* (KPP) (Large, McWilliams & Doney, 1994), difusão horizontal, advecção de traçadores e efeitos de maré, sendo amplamente aplicado em estudos costeiros e regionais. No presente estudo, o ROMS foi empregado como componente oceânico do sistema acoplado COAWST, fornecendo ao SWAN informações de correntes, níveis de maré e rugosidade do fundo.

Para melhor representar os efeitos das ondas sobre a circulação, o modelo ROMS foi parametrizado com algumas fórmulas. A opção UV_KIRBY (2) foi implementada para calcular a velocidade média sentida pelas ondas, considerando a estrutura vertical da corrente com base na formulação de Kirby e Chen (1989).

$$Uk = \frac{2kd}{sinh(2kd)} \int_{-d}^{0} U(z)\, cosh[2k(d + z)]\, dz \quad (2)$$

Temos que, U(z) é o perfil de velocidade do ROMS, k é o número de onda e d é a profundidade. Além disso, a opção WDISS_WAVEMOD (3) foi ativada para incluir a dissipação de ondas no balanço de momento.

$$F_w = B_bf + B_sf + B_wb \quad (3)$$

Onde B_wb representa a aceleração devida à quebra de ondas. Essas parametrizações melhoram a representação da refração por correntes e da mistura induzida pela quebra, essenciais na dinâmica da Baía de Todos os Santos.

2.3. Configuração COAWST

A configuração do sistema COAWST utilizou grades aninhadas com 30 níveis verticais iguais para o ROMS e SWAN, de forma integrada. A grade pai, com resolução espacial de aproximadamente 4,5 km, abrangeu toda a Baía de Todos os Santos e o litoral da Bahia, incluindo as estações do SIMCosta (Figura 2). A grade filha possui uma resolução horizontal que varia entre 50 e 150 m, cobrindo detalhadamente a Baía de Todos os Santos e permitindo a representação em escala local dos processos hidrodinâmicos.

Nas simulações que compreenderam apenas o modelo SWAN, o campo de vento utilizado foi obtido da reanálise ERA5 (Copernicus Climate Change Service/ECMWF) (Hersbach *et al*., 2020), com dados de vento a 10 m de altura, resolução espacial de 0,25° × 0,25° e resolução temporal horária. As condições de contorno de ondas foram extraídas do modelo global WAM, também disponível no repositório ERA5, incluindo altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção média (θm), com resolução temporal de 1 hora e espacial de 0,5° × 0,5°. Os principais parâmetros físicos, bem como as características das grades e demais configurações empregadas no modelo SWAN, estão descritos na Tabela 1.

Parâmetros físicos	**Grade 1**	**Grade 2**
Gen3	KOMEN	KOMEN
WindGrowth	ATIVADO	ATIVADO
Bottom Friction	JONSWAP	JONSWAP
Diffraction	ATIVADO	-
Whitecapping	KOMEN	-

Depth induced breaking	α = 1.00; γ = 0.73	α = 1.00; γ = 0.73
Triad wave-wave interaction	ATIVADO	ATIVADO
Propagation scheme	BSBT	BSBT
Number of interaction	15	15
Time step	180 seg	60 seg

Tabela 1: Principais parâmetros físicos utilizados na configuração do modelo SWAN.

As configurações e forçantes do modelo ROMS foram baseadas no estudo de (Franklin *et al*., 2024). O modelo foi forçado com dados atmosféricos da reanálise global CFSR, condições oceânicas de contorno fornecidas pelo reanálise GLORYS e condições iniciais provenientes do HYCOM. A forçante de maré foi obtida do banco de dados TPXO 8.0 (Egbert e Erofeeva, 2002), com resolução de 1/12°, que forneceu amplitudes e fases das oito principais componentes diurnas e semi-diurna da maré barotrópica (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1 e Q1). A representação batimétrica utilizada em ambos os modelos foi construída a partir da integração de diferentes bases de dados. Para a região oceânica e de plataforma empregou-se o modelo global ETOPO, enquanto, no interior da Baía de Todos os Santos, utilizaram-se cartas náuticas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) complementadas por levantamentos batimétricos.

2.4. Validação do modelo

A validação do modelo SWAN foi realizada com base em dados observacionais dos projetos SISMO (Sistema de Informações Meteo-Oceanográficas em Tempo Real) e SIMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira), obtidos em três pontos distintos do litoral da Bahia SISMO 1, BA-1 e BA-2 (Figura 1). A boia SISMO 1 está localizada nas proximidades da Baía de Todos os Santos, nas coordenadas 13°01'51" S e 38°35'07" W, e fornece registros contínuos de altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção média das ondas (θm), com resolução temporal de 30 minutos. A boia BA-1, também situada na Baía de Todos os Santos e pertencente ao projeto SIMCosta, encontra-se nas coordenadas 12°59'22" S e 38°32'30" W, registrando os mesmos parâmetros de medição a cada 1 hora. Já na Praia do Forte (BA-2), foi utilizado um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) instalado na coordenada 12°36'13.8" S e 37°58'31.8" W, a aproximadamente 32 m de profundidade, que forneceu dados com resolução temporal de 3 horas.

A comparação entre os dados simulados e observados foi realizada após filtragem inicial, ajustando todas as séries à mesma resolução temporal do equipamento de medição. Valores inconsistentes ou ausentes foram removidos e substituídos pela média dos registros anteriores. O desempenho do modelo foi quantificado por meio de métricas estatísticas amplamente empregadas em validações numéricas, incluindo o erro médio quadrático (RMSE), erro médio absoluto (MAE), coeficiente de correlação de Pearson (R) e viés (Bias), aplicadas separadamente para Hs, Tp e θm, de modo a possibilitar uma avaliação detalhada do desempenho do modelo sob diferentes condições ambientais.

2.5. Análise dos aspectos meteorológicos e oceanográficos

A fim de compreender os efeitos das variáveis meteorológicas e oceanográficas na dinâmica das ondas na BTS, foram realizadas diferentes simulações numéricas utilizando o modelo SWAN, tanto de forma isolada quanto acoplado ao modelo hidrodinâmico ROMS. Esta abordagem permitiu uma avaliação detalhada da contribuição de cada forçante na geração e propagação das ondas dentro da baía. Inicialmente, foram consideradas três simulações utilizando apenas o SWAN, de forma a isolar os efeitos do vento e das condições de contorno oceânicas. A primeira configuração incorporou simultaneamente o vento local e as ondas de contorno, permitindo avaliar a interação entre ondulações oceânicas e o vento regional. A segunda incluiu apenas as condições de contorno de ondas, simulando seu efeito isolado. Por fim, a terceira considerou unicamente a forçante do vento, possibilitando a análise da geração de ondas locais pelo campo de vento.

Posteriormente, o acoplamento ROMS–SWAN foi empregado com objetivo investigar os efeitos adicionais da maré e das correntes sobre a propagação e transformação das ondas. Essa abordagem possibilitou identificar os efeitos isolados e integrados de cada processo físico sobre a modificação do campo de ondas, destacando variações de Hs, Tp e θm em diferentes setores da baía.

Atualmente, faltam dados observacionais de ondas disponíveis de forma gratuita no interior da BTS. Por essa razão, foi necessário definir uma simulação de referência para a análise dos cinco pontos dentro da baía. Essa simulação foi escolhida com base no melhor desempenho obtido durante a validação, realizada nas estações SISMO (B2) e SIMCosta BA-1 (B1) (Figura 2). Assim, os resultados internos foram analisados a partir do cenário que apresentou maior consistência com as observações reais, garantindo maior confiabilidade às

inferências sobre os processos locais. As saídas das simulações foram analisadas espacial e temporalmente em 5 pontos com profundidades menores que 10 m dentro da BTS, incluindo o canal Salvador-Itaparica e áreas mais abrigadas. Essa seleção permitiu avaliar o grau de atenuação e de transformação das ondas em função dos aspectos oceanográficos e meteorológicos, fornecendo subsídios para compreender a modulação dos processos de propagação e dissipação de energia dentro da baía.

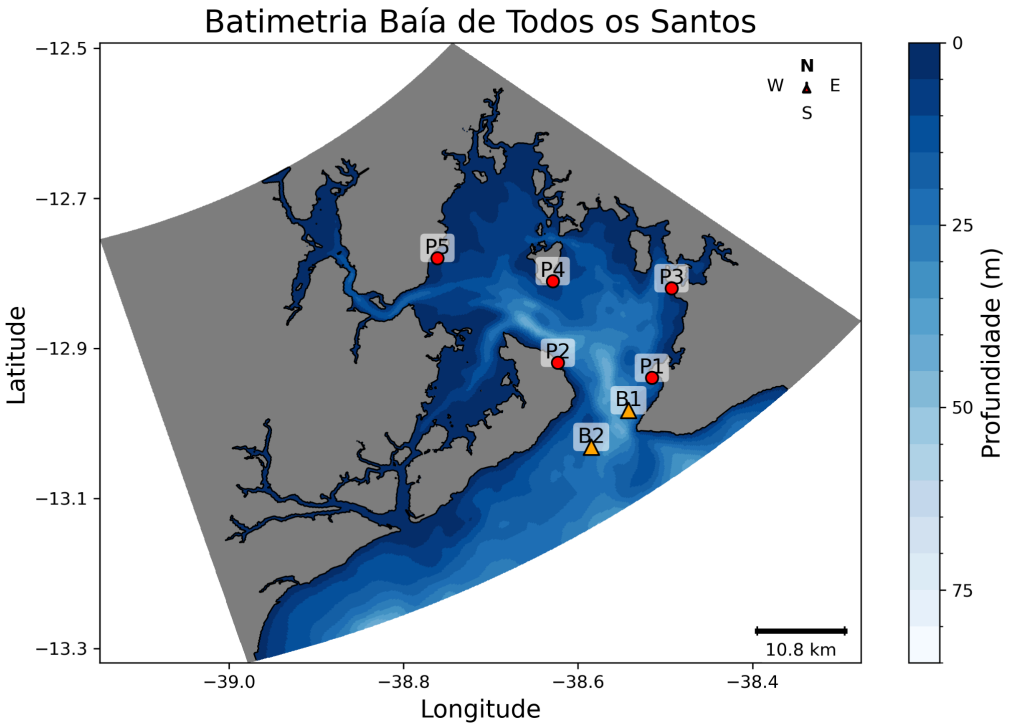


Figura 2: Batimetria e localização dos 5 pontos analisados na Baía de Todos os Santos. Os pontos B2 e B1, correspondem às boias, SISMO e SiMCosta.

3. Resultados e discussão

A validação do modelo foi realizada entre os dados observados e as saídas das simulações. Para a região da BTS, todas as etapas foram comparadas com os dados observados da boia SISMO e BA-1, com o objetivo de verificar a contribuição dos fatores meteorológicos e oceanográficos na propagação e geração das ondas. Os resultados dessas comparações são apresentados na tabela 2 (Anexo A.). Para o litoral norte do estado da Bahia (grade maior), os dados foram comparados com a BA-2, apenas na etapa 1, já que a simulação obteve melhores métricas para a região da BTS. Ao comparar os dados com a BA-2 observamos como o modelo se comporta em uma região com pouca influência das marés e correntes e mais exposta às ondulações Figura (Anexo B.).

Os resultados obtidos para a boia SIMCOSTA (Tabela 2) indicam que a Etapa 1 apresentou o melhor desempenho geral entre as simulações. O modelo reproduziu adequadamente a altura significativa (Hs), com viés próximo de zero (−0,014 m), correlação positiva significativa (r = 0,77) e baixos valores de RMSE (0,18 m) e MAE (0,14 m). A direção média também foi bem representada, com predominância de ondas provenientes do quadrante sul, conforme mostrado na Figura 3.

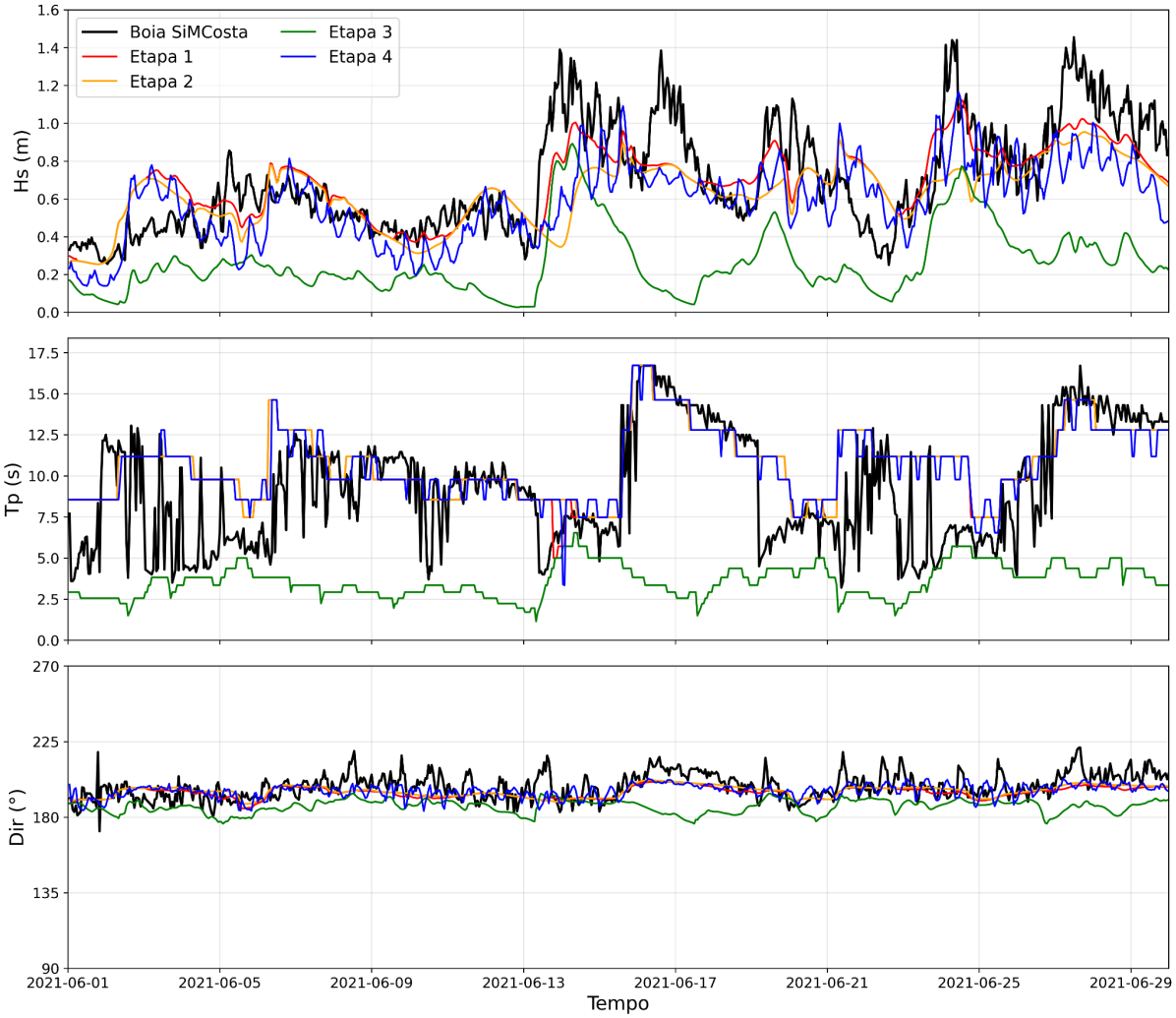


Figura 3: Comparação temporal dos parâmetros de onda entre as etapas e os dados observados. Hs representa altura significativa em metros, Tp, período de pico em segundos, e Dir, direção média em graus.

A Etapa 2 (Ondulações oceânicas) apresentou resultados coerentes, com erros relativamente baixos, especialmente para Hs (viés = −0,075 m; MAE = 0,175 m) e direção média (viés = −2,81°; MAE = 5,59°). Esses resultados reforçam a forte influência de ondas vindas dos contornos da BTS, uma vez que, mesmo sem o campo de vento local, o modelo manteve boa concordância com as observações. Em contraste, a Etapa 3 (apenas vento)

apresentou os maiores erros entre as simulações. O modelo subestimou a Hs (viés = −0,442 m) e apresentou baixa correlação para o período de pico (Tp) (r = −0,172), indicando que o vento isolado gera ondas com o espectro deslocado para frequências mais altas, típicas de mares jovens. Esse resultado reforça que Tp depende criticamente da presença do swell. A direção média seguiu o mesmo padrão, com bom desempenho nas Etapas 1, 2 e 4, mas grandes distorções na Etapa 3, evidenciando que o vento atua apenas como modulador das ondas na região, exercendo influência significativa apenas em eventos de maior intensidade.

n = 696	**BOIA SIMCOSTA**			
Hs	**Viés**	**Correlação (r)**	**RMSE**	**MAE**
Etapa 1	- 0.014 m	0.771	0.182 m	0.144 m
Etapa 2	- 0.075 m	0.610	0.235 m	0.175 m
Etapa 3	- 0.442 m	0.621	0.494 m	0.443 m
Etapa 4	- 0.117 m	0.680	0.237 m	0.186 m
Tp				
Etapa 1	1.467 s	0.600	3.144 s	2.260 s
Etapa 2	1.509 s	0.601	3.157 s	2.289 s
Etapa 3	-5.620 s	-0.172	6.764 s	5.623 s
Etapa 4	1.411 s	0.612	3.085 s	2.277 s
Dir				
Etapa 1	-3.610 °	0.510	7.506 °	5.887 °
Etapa 2	-2.813 °	0.486	7.232 °	5.593 °
Etapa 3	-11.960 °	0.138	14.427 °	12.255 °
Etapa 4	-2.741 °	0.435	7.413 °	5.823 °

Tabela 2: Comparação das métricas entre os dados observados da boia SiMCosta e as simulações realizadas por diferentes forçantes. **n** representa o número de observações comparadas entre o modelo e a boia.

Apesar de incluir os efeitos de marés e correntes, a Etapa 4 não superou o desempenho da simulação forçada por ondas e vento (Etapa 1), ainda que tenha apresentado métricas superiores às Etapas 2 e 3. Esse resultado sugere a presença de imprecisões nos campos de corrente ou na parametrização da interação onda–corrente, o que pode ter reduzido o ganho esperado com o acoplamento. Para Hs, observou-se viés de −0,117 m e RMSE de 0,237 m. Mesmo considerando a influência das marés entre o canal e a posição da boia, a combinação entre ondas oceânicas e o vento local mostrou-se suficiente para representar satisfatoriamente as condições observadas.

3.1. Comparação entre as Etapas

A fim de compreender como os fatores meteoceanográficos influenciam a propagação das ondas em toda a área de estudo, foi feita uma comparação entre o campo espacial de altura significativa para cada cenário (Figura 4), onde foi escolhido o dia 24, devido às fortes influências do campo de ventos, marés e ondas.

No cenário forçado apenas por ondas (Etapa 2, Figura 4), observa-se a propagação das ondas provenientes do oceano, com maior intensidade na área externa, especialmente no banco Santo António e nos recifes próximos à costa. De acordo com *Holthuijsen (2007)*, a redução abrupta da coluna d'água provoca o empilhamento das ondas, aumentando suas alturas. À medida que as ondulações adentram a baía, ocorre uma dissipação gradual de energia, desde o canal principal até as zonas mais abrigadas, resultado do atrito de fundo e da diminuição da profundidade. Nota-se ainda uma canalização das ondas nas regiões mais profundas, sobretudo no canal Salvador–Itaparica, que conecta a entrada da baía às porções internas situadas a noroeste. Nessa área, as ondas sofrem menor dissipação, mantendo a Hs mais elevadas em comparação às zonas internas e rasas da mesma região.

No cenário forçado apenas pelo vento local (Etapa 3, Figura 4), observa-se a formação de ondas restritas à pista de vento, com as maiores alturas concentradas na porção externa da BTS. Esse padrão difere do observado na Etapa 2, na qual ondas oceânicas dominam o campo de ondas, provocando quebra nos recifes e bancos externos e evidenciando a canalização ao longo do canal principal. A distribuição espacial das ondas geradas apenas pelo vento mostra menor variação, característica das ondas de curto período e baixa energia típicas do regime de ondas geradas pelo campo de vento.

Quando combinados o vento e ondas (Etapa 1, Figura 4), observa-se um padrão espacial que reflete a contribuição conjunta das ondas oceânicas e da ação do vento local. Essa combinação resulta na superposição de ondas de alta e baixa frequência, remodelando o espectro e elevando a Hs em toda a região de estudo. A interação entre essas duas forçantes mostra que a energia associada à combinação de swell e vento exerce maior influência sobre o campo de ondas na BTS do que cada fator isoladamente. Em relação à Etapa 2, nota-se uma redução na canalização das ondas ao longo do canal principal, indicando maior influência do vento local nas porções internas da baía.

O cenário mais complexo (Etapa 4 – ROMS+SWAN) inclui também os efeitos de maré e correntes, produzindo modificações adicionais no campo de ondas. Essa análise refere-se à condição de sizígia durante a preia-mar, quando os fluxos de corrente são reduzidos e o nível do mar mais elevado aumenta a coluna d'água, principalmente nas áreas internas da BTS. A inclusão da maré reduziu levemente as alturas de onda na região externa e na entrada da baía, mas favoreceu a propagação da energia de ondas para o interior, indicando o papel modulador do nível d'água sobre a propagação das ondas.

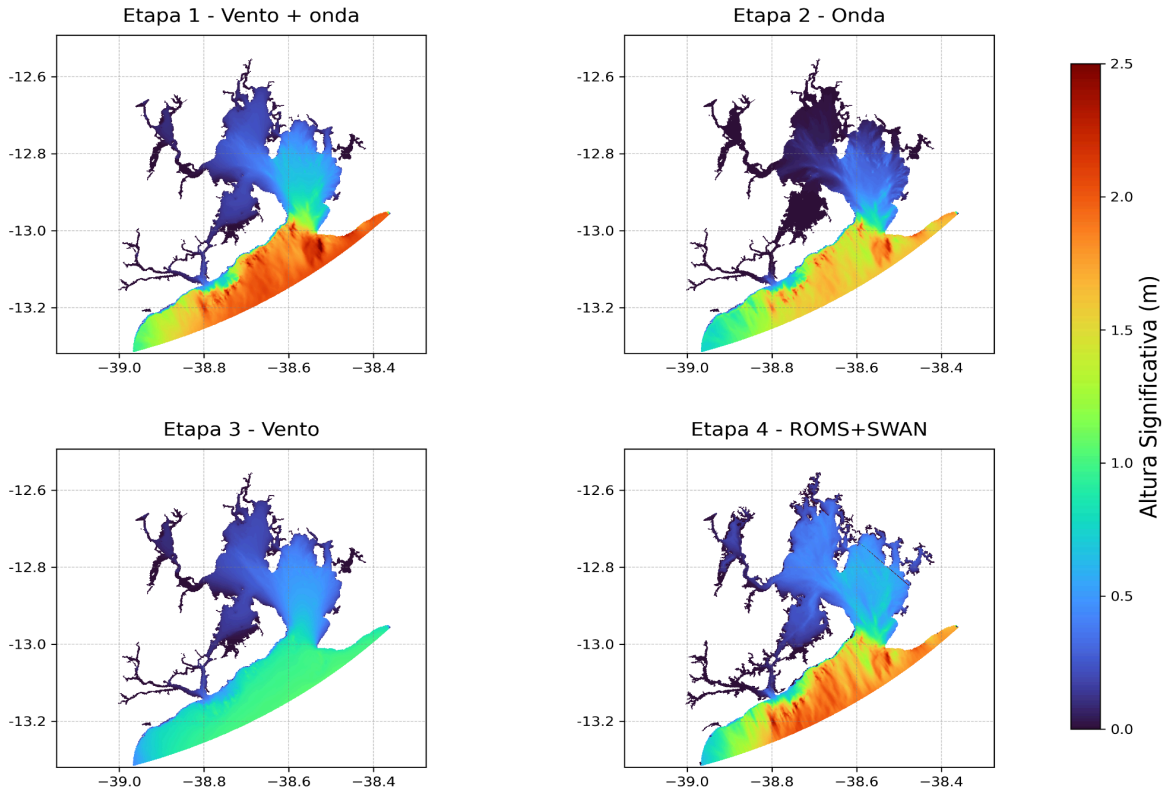


Figura 4: comparação espacial da altura significativa (Hs) de onda para os quatro cenários simulados durante a maré de sizígia na preamar.

Foram feitas diferenças entre os campos de Hs das etapas para o mesmo período da figura 4, com o objetivo de visualizar quantitativamente a ação de cada combinação dos fatores. Para isso, utilizou os resultados da etapa 1, como referência, subtraindo dos campos de ondas das etapas 2,3 e 4. As diferenças encontram-se na Figura 5.

Os resultados indicam que a Etapa 4 apresenta as menores diferenças em relação à Etapa 1, principalmente nas porções internas da BTS, no canal principal e nas zonas mais

profundas da área externa. Nota-se uma leve superestimação das ondas em áreas internas e profundas, sugerindo que a elevação do nível do mar durante a maré reduz o atrito de fundo e, consequentemente, a dissipação de energia, intensificando a canalização das ondas nessas regiões. Por outro lado, a Etapa 4 tende a subestimar as alturas próximas à zona costeira, recifes e ao banco de Santo António. Na Etapa 3, as maiores discrepâncias ocorrem na zona costeira exposta e na entrada da baía, evidenciando que o vento isolado é insuficiente para reproduzir a magnitude das ondas observadas na Etapa 1. Essa diferença reforça que ondulações provenientes do oceano são as principais responsáveis pela geração e propagação das ondas na região, enquanto o vento local atua apenas como modulador secundário. Nas porções internas da BTS, as diferenças são menores, indicando que o campo de vento exerce maior influência local sobre as ondas.

A comparação entre as Etapas 1 e 2 mostra diferenças relativamente uniformes em toda a BTS, com tendência à subestimação da altura significativa na Etapa 2. Esses resultados demonstram que a atuação isolada das ondas não é suficiente para representar adequadamente as condições dentro e fora da baía, sendo o campo de vento e as variações de maré fatores essenciais para a correta propagação e distribuição da energia de ondas na região.

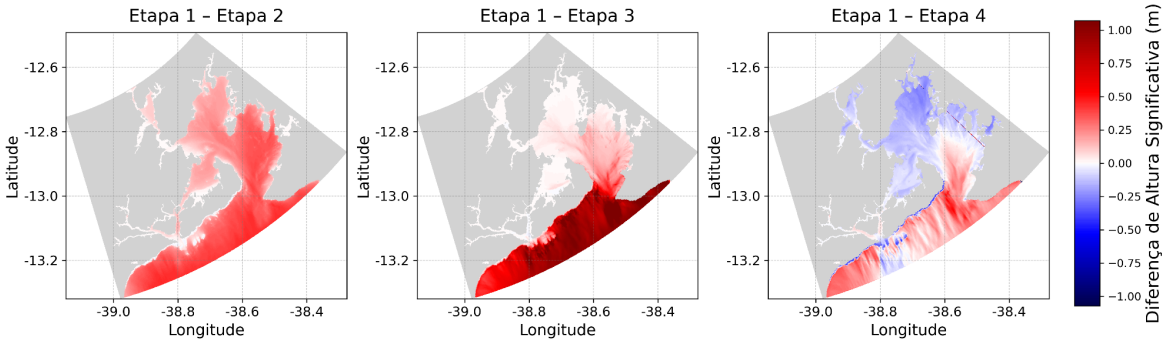


Figura 5: Diferença espacial do campo de ondas entre a etapa 1 e as demais etapas para o mesmo momento da fig 4.

Buscando compreender qual a zona de influência de cada fator meteoceanográfico foram analisados 5 pontos dentro da BTS para os parâmetros de Hs (Figura 6) e direção de onda(Figura 7). Pela ausência de dados observacionais para os parâmetros de onda, adotou-se a Etapa 1 como referência, por ter apresentado as melhores métricas de correlação com os dados disponíveis. Assim, nas análises comparativas, as simulações que apresentarem valores

mais próximos aos da Etapa 1 serão consideradas aquelas em que os fatores meteoceanográficos exercem maior influência sobre o ponto estudado.

Ao analisar a Figura 6, observamos ondas com altura de até 0.8 m no ponto 1. Os valores da simulação que mais se aproximaram dos valores referência foram os da etapa 2, e em seguida a etapa 4. Mostrando que ondas oceânicas exercem maior influência sobre as ondas neste ponto. Em P2, as ondulações observadas não são tão intensas quanto no P1, observou-se alturas máximas de 0.4m, isso é devido a sua localização ser mais abrigada para a ondulação de sudeste. A etapa que correspondeu aos valores referência foram os da etapa 2 e 4, mostrando que além do swell, a maré influencia significativamente a formação das ondas no local.

O ponto 3 está localizado na parte interna da BTS, a simulação com maior correspondência com a referência foi a etapa 4, em seguida a etapa 3, mostrando que além da maré, o campo de vento é um fator importante nas ondas, a discordância vinda da simulação 2 mostra que as ondas oceânicas são dissipadas antes de chegar ao local, levando a uma influência mínima do swell para o local. O ponto 4 mesmo estando na porção interna da BTS, as alturas máximas chegam a passar dos 0.6m, a ausência de zonas de abrigo, e o alinhamento com o canal (zona com maiores profundidades) reduz a dissipação da energia de onda vinda do oceano permitindo a maior conservação da energia. Por esses motivos, o P4 possui alturas máximas maiores que o P2, P3 e P5. Notamos que a maior correlação é a da etapa 4, a combinação do campo de vento, ondulações e marés vai influenciar diretamente a formação de ondas neste local.

O P5 encontra-se na porção mais interna e abrigada, a simulação com maior correlação foi a etapa 3, mostrando que as ondas geradas pelo vento são dominantes neste local. Ao analisar estes pontos, podemos observar como a onda se comporta à medida que se propaga dentro da BTS e a contribuição das variáveis meteorológicas e oceanográficas. Nos pontos menos abrigados e mais externos temos uma contribuição maior das ondulações oceânicas, ao adentrar na baía, essas ondulações se dissipam ao interagir com zonas de baixa profundidade, a partir daí, o fator swell perde sua influência, permitindo o campo de vento local e as marés a modular as ondas.

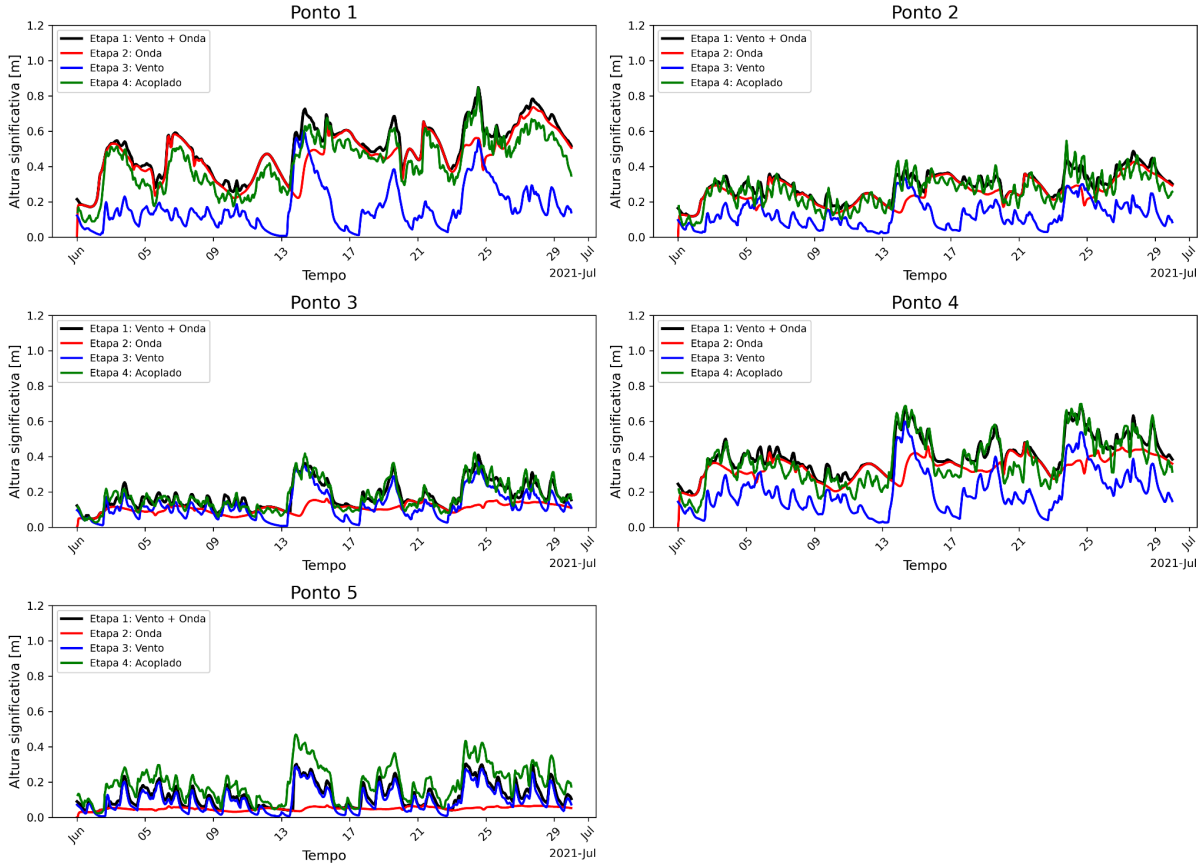


Figura 6: Comparação da Altura significativa entre as etapas nos 5 pontos da BTS.

Ao analisarmos a direção das ondas nos cinco pontos da BTS (Figura 7), observa-se a influência da variação batimétrica da baía na propagação das ondas geradas pelos diferentes fatores meteoceanográficos. Nota-se uma diferença marcante entre as ondas das etapas 2 e 3, associadas, respectivamente, ao oceano e ao vento local. As ondas provenientes do oceano sofrem refração mais intensa ao se propagarem para o interior da baía, devido ao seu maior comprimento e período, o que as torna mais sensíveis às variações de profundidade. À medida que essas ondas longas interagem com o fundo, a redução gradual da velocidade de fase provoca um desvio progressivo em direção às regiões mais rasas, intensificando o realinhamento das frentes de onda (Holthuijsen, 2007). Esse comportamento é acentuado no ambiente confinado da baía, onde as variações batimétricas e a morfologia costeira canalizam a energia e ampliam o efeito de refração. Em contraste, as ondas geradas pelo vento local, de menor comprimento e maior frequência, mantém-se menos afetadas por essas variações,

resultando em um padrão direcional mais uniforme e com menor grau de refração (Chen et al., 2018).

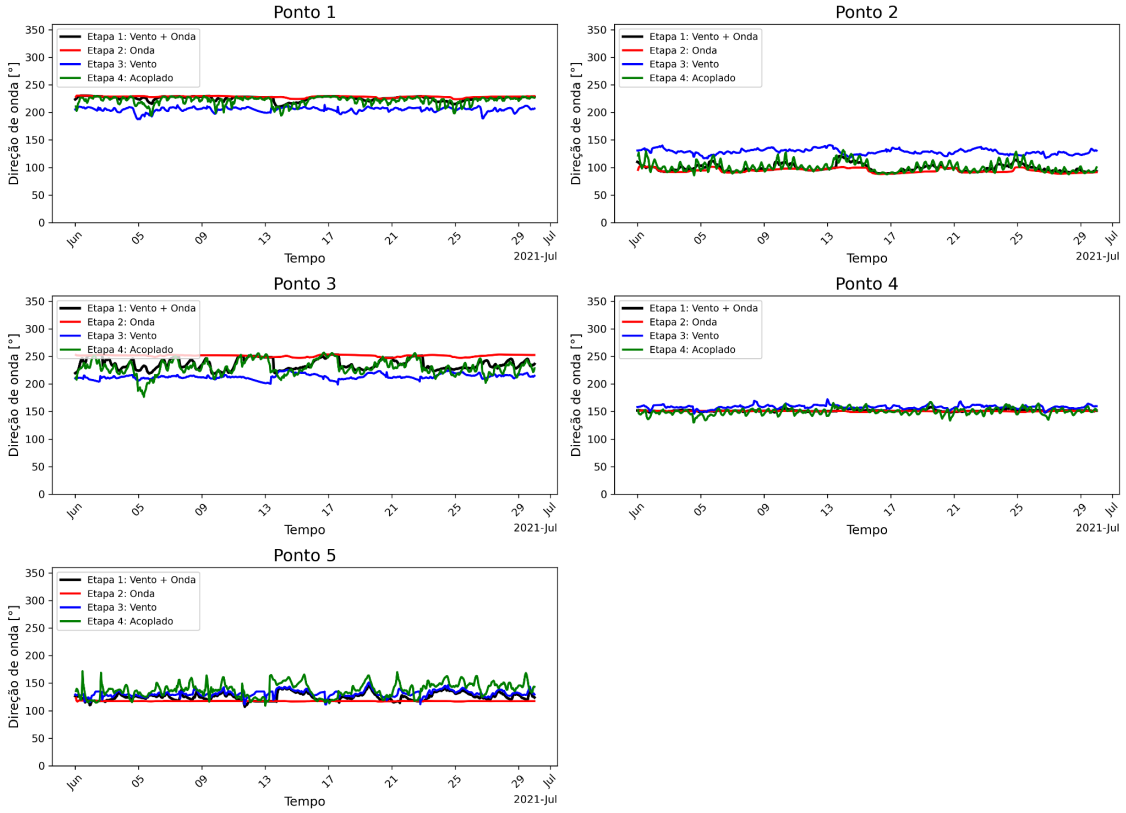


Figura 7: Comparação da Direção de onda entre as etapas nos 5 pontos da BTS.

Em relação às outras etapas, a etapa acoplada apresenta maiores oscilações na direção das ondas, sobretudo nos pontos mais internos da BTS. Esse comportamento está associado à influência combinada dos fatores meteoceanográficos com a maré. A variação do nível da maré modifica diretamente a profundidade local, alterando a velocidade de fase e, consequentemente, o grau de refração das ondas. Além disso, as correntes geradas pelo escoamento de maré podem induzir variações adicionais na direção de propagação, intensificando o desvio das frentes de onda. De acordo com Lessa *et al.* (2009), os maiores níveis e amplitudes de maré na BTS ocorrem nas regiões mais internas da baía, o que reforça a hipótese de que os pontos selecionados são áreas mais suscetíveis às oscilações direcionais observadas na etapa acoplada. Dessa forma, a interação entre maré, correntes e forçantes atmosféricas constitui um mecanismo fundamental para a variabilidade espacial da direção das ondas no interior da baía. Comparando com a simulação referência, podemos observar que nos pontos mais externos P1, P2 e P4, o swell rege a direção de ondas. A combinação

com a maré representou melhor no P3 com direção predominante de sudoeste, enquanto as forçantes de vento dominam a direção de ondas no P5, com direção predominante de leste-sudeste.

3.2. Influência da maré na propagação de ondas

Buscando compreender a influência da maré com os demais fatores meteoceanográficos na propagação das ondas, foram comparadas as saídas do campo espacial de altura significativa (Hs) da etapa 4 em diferentes condições de maré (Figura 8). Foram escolhidos dois dias representando a maré de quadratura (Dia 17) e maré de sizígia (Dia 24). Para cada dia, analisaram-se quatro estágios do ciclo de maré, preamar, baixa-mar, meia vazante e meia enchente com o objetivo de avaliar como a variação do nível d'água e dos fluxos de corrente modificam o campo de ondas na Baía de Todos os Santos (BTS).

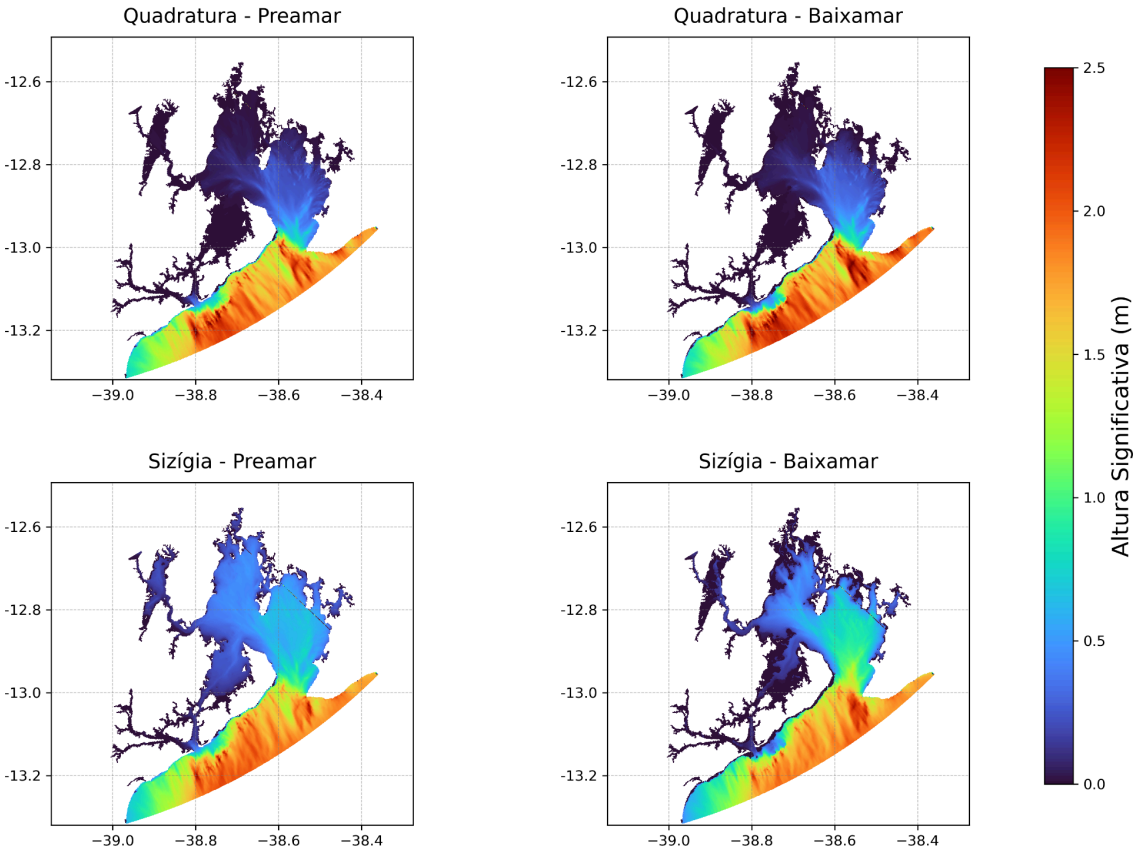


Figura 8: Campo espacial da altura significativa da etapa 4 em diferentes momentos do estofo de maré, preamar e baixa-mar.

Durante a quadratura, observou-se pequena diferença entre os momentos de preamar e baixa-mar (Figura 8), refletindo a menor amplitude de maré. As variações mais perceptíveis ocorreram na área externa da BTS, especialmente no banco Santo Antônio e nos recifes costeiros, durante a baixa-mar, e nas zonas de praia durante a preia-mar. Já em Sizígia, as diferenças espaciais foram significativamente maiores, na baixa-mar, com níveis d'água mais baixos, ondas de maior altura tenderam a quebrar sobre o banco Santo Antônio e o canal principal da BTS. Essa intensificação local da Hs no banco está associada ao aumento da rugosidade de fundo e à redução da profundidade, favorecendo processos de *shoaling* e quebra. Além disso, o campo de vento mais intenso nesse período contribuiu para maior energia incidente na entrada da baía, intensificando as alturas no canal durante o estofo da vazante. Em contrapartida, quando o vento atua com intensidade semelhante, espera-se o efeito oposto: a preamar tende a permitir maior penetração da energia de onda na baía, pois o maior nível d'água reduz a dissipação por atrito de fundo (Figura 9).

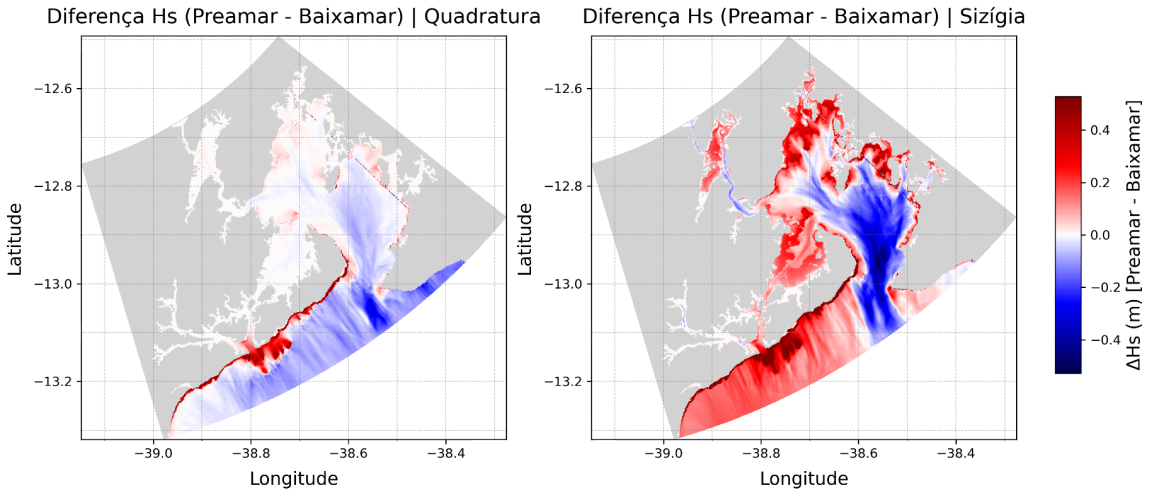


Figura 9: Diferença do campo espacial da altura significativa em momentos de preamar e baixa-mar para os dias 17 e 24.

A Figura 10 destaca a Interação entre Ondas e Correntes (IOC) durante os períodos de meia maré, quando os fluxos são mais intensos. Na quadratura, as correntes foram mais fracas, resultando em variações modestas de altura de onda em toda a baía, com leve aumento

de Hs no canal durante a meia vazante. Já em Sizígia, maiores fluxos de corrente intensificaram as interações. Durante a meia vazante, ondas mais altas foram observadas em quase toda a região, exceto nas zonas de praia, os maiores ganhos de Hs foram no Canal de Itaparica, enquanto durante a meia enchente as alturas foram menores. Podemos observar a diferença dos campos de Hs nos 2 momentos na Figura 11.

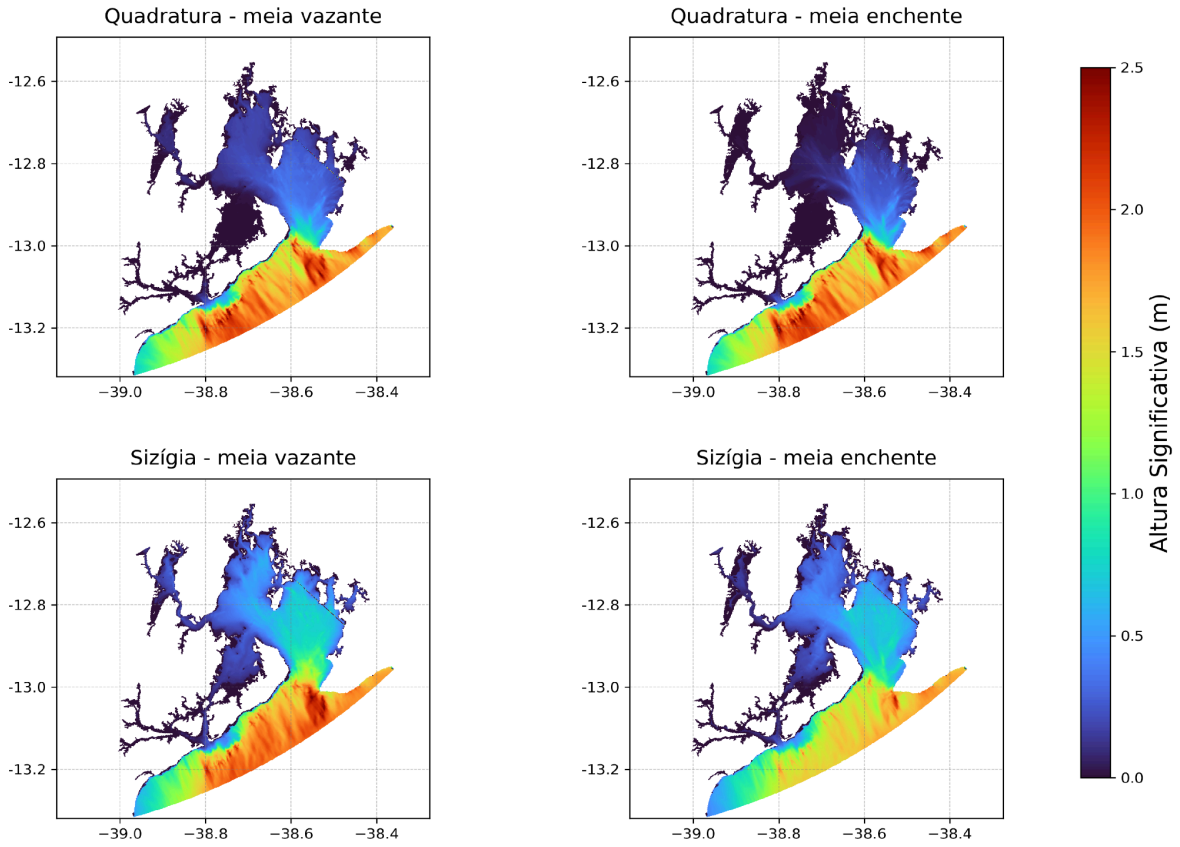


Figura 10: Campo espacial da altura significativa da etapa 4 em diferentes momentos de maré, meia vazante e meia enchente. Dia 17 refere-se a maré de quadratura, e dia 24, sizígia.

Esses resultados estão de acordo com a teoria clássica da (IOC), conforme discutido por Benetazzo *et al.* (2013) e Ponce de León & Guedes Soares, 2021. Quando ondas se propagam contra a corrente (vazante), o comprimento de onda diminui devido à diferença de velocidade entre a base e o topo da onda, levando à acumulação de energia e consequente aumento da Hs (processo análogo ao *wave blocking* ou *shoaling* induzido por corrente). Por outro lado, quando a onda se propaga no mesmo sentido da corrente (enchente), o comprimento de onda se alonga, resultando em dissipação de energia e redução da altura significativa.

Rusu et al. (2011) demonstraram esse mesmo comportamento no estuário do Tejo, onde correntes de vazante (opostas à direção de propagação das ondas) produziram aumentos de até 60% na Hs no canal principal, enquanto correntes de enchente resultaram em reduções de cerca de 20%. O estudo também mostrou que os efeitos são mais acentuados em regiões de canal, onde a geometria estreita intensifica o cisalhamento horizontal de corrente e, consequentemente, a refração e modulação espectral das ondas.

Na BTS, a intensificação da Hs observada no Canal de Itaparica e no banco Santo Antônio durante a meia vazante de sizígia apresenta comportamento análogo, indicando que a interação hidrodinâmica entre ondas e correntes de maré desempenha papel fundamental na redistribuição da energia de onda e no controle da dissipação e da refração dentro da baía. Tal processo, além de alterar o regime de propagação, pode afetar a morfodinâmica local, uma vez que o aumento de Hs em marés vazantes tende a intensificar o transporte sedimentar e a energia de quebra em áreas rasas.

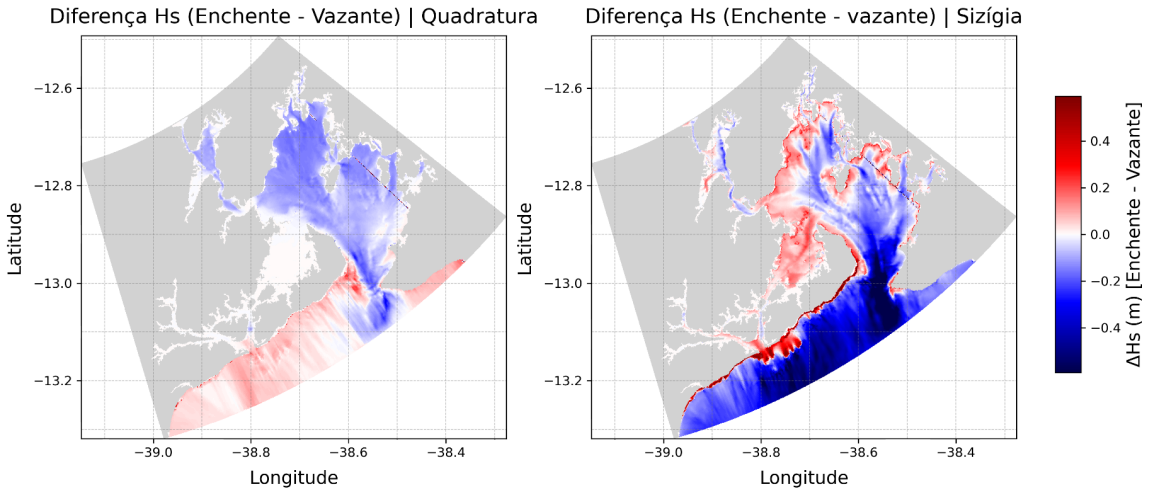


Figura 11: Diferença do campo espacial da altura significativa em momentos de meia vazante e enchente para os dias 17 e 24.

4. Conclusão:

Este estudo investigou, por meio de modelagem numérica com o sistema acoplado ROMS–SWAN, a influência dos fatores meteoceanográficos vento, swell oceânico, maré e correntes sobre a dinâmica de ondas na Baía de Todos os Santos (BTS). Os resultados obtidos mostram como essas forçantes interagem, modulando a propagação e a dissipação da energia

de onda em um ambiente de alta complexidade. A análise das simulações demonstrou que a combinação entre ondas e vento local (Etapa 1) proporcionou a melhor representação das condições observadas, indicando que as ondulações oceânicas são a principal fonte de energia incidente, enquanto o vento local atua como modulador secundário, principalmente nas porções internas da baía. As etapas forçadas individualmente por ondas ou vento evidenciaram o papel dominante das ondulações de origem oceânica e a limitação do vento isolado na geração de ondas de maior período. Por outro lado, a simulação acoplada ROMS+SWAN (Etapa 4) permitiu identificar a importância da maré e das correntes na modulação do campo de ondas, ainda que o ganho quantitativo na validação tenha sido discreto devido a possíveis incertezas nos campos de corrente ou parametrizações.

As comparações entre os diferentes momentos de maré mostraram que o nível d'água controla a dissipação e a penetração da energia de onda, durante a preamar, o aumento da coluna d'água favorece a propagação para o interior da BTS, enquanto na baixa-mar, a redução do nível intensifica os processos de *shoaling* e quebra sobre bancos e recifes. Durante os períodos de meia maré, quando os fluxos de corrente são mais intensos, verificou-se uma forte interação onda–corrente (IOC). Nas fases de vazante, ondas propagando contra as correntes apresentaram aumento da altura significativa (Hs), principalmente no Canal de Itaparica e no banco Santo Antônio, enquanto nas fases de enchente, observou-se atenuação da Hs. Esse comportamento está de acordo com a teoria clássica de IOC, segundo a qual ondas contrárias às correntes têm seu comprimento de onda reduzido e energia concentrada, ao passo que ondas seguindo as correntes sofrem alargamento espectral e dissipação de energia. Esses paralelos confirmam que a BTS compartilha mecanismos dinâmicos semelhantes a outros sistemas estuarinos, nos quais a morfologia dos canais e a intensidade das correntes determinam a redistribuição da energia de ondas.

De forma geral, os resultados mostram que as ondas na BTS sofrem transformações significativas à medida que se propagam do oceano para o interior, com dissipação progressiva, substituída pela influência crescente do vento e da maré. Essa transição reflete a complexa interação entre batimetria, variação da coluna d'água, correntes e forçantes atmosféricas, que definem a variabilidade espacial e temporal do campo de ondas no interior da baía. Assim, concluímos que a inclusão dos efeitos de maré e corrente é essencial para representar adequadamente a dinâmica de ondas em ambientes costeiros complexos como a

BTS. Apesar de desafios na parametrização, o modelo acoplado demonstrou consistência física e coerência espacial com os mecanismos descritos na literatura. O estudo apresenta, portanto, um avanço importante na modelagem numérica de ondas para o litoral baiano, oferecendo uma visão inédita sobre a propagação e transformação das ondas em uma das maiores baías do Brasil. Além de fornecer subsídios científicos para o aprimoramento de previsões meteorológicas e oceanográficas, os resultados contribuem para a gestão costeira e o planejamento de atividades marítimas na região, reforçando a relevância do acoplamento entre modelos numéricos para compreender os processos que controlam a dinâmica costeira.

5. Referências

Ardhuin, F., F. Collard, B. Chapron, P. Queffeulou, J.-F. Filipot, and M. Hamon (2008), Spectral wave dissipation based on observations: A global validation, in Proceedings of Chinese-German Joint Symposium on Hydraulics and Ocean Engineering, edited by U. Zanke, pp. 391 – 400, Tech. Univ. Darmstadt, Darmstadt, Germany.

Battjes, J. A. (1975). Modeling of turbulence in the surf zone. In *Proceedings of the Symposium on Modeling Techniques* (pp. 46–61). American Society of Civil Engineers (ASCE).

Benetazzo, A., Carniel, S., Sclavo, M., Bergamasco, A., 2013. Wave-current interaction: effect on the wave field in a semi-enclosed basin. Ocean Modell. 70, 152–165. https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.12.009.

Booij, N., R. C. Ris, and L. H. Holthuijsen (1999), A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation, *J. Geophys. Res.*, 104(C4), 7649–7666, doi:10.1029/98JC02622.

Carter, D. J. T. (1982). Prediction of wave height and period for a constant wind velocity using the JONSWAP results. *Ocean Engineering*, *9*(1), 17–33.

Castelle, B. and Masselink, G. (2023) 'Morphodynamics of wave-dominated beaches', *Cambridge Prisms: Coastal Futures*, 1, p. e1. doi:https://doi.org/10.1017/cft.2022.2

Chen, J.-L., Ralston, D. K., Geyer, W. R., Sommerfield, C. K., & Chant, R. J. (2018). Wave generation, dissipation, and disequilibrium in an embayment with complex bathymetry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123, 7856–7876. https://doi.org/10.1029/2018JC014381.

Cirano, M., & Lessa, G. C.. (2007). Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. Revista Brasileira De Geofísica, 25(4), 363–387. https://doi.org/10.1590/S0102-261X2007000400002

DODET, G. et al. The contribution of wind-generated waves to coastal sea-level changes. Surveys in Geophysics, Dordrecht, v. 40, n. 6, p. 1563–1601, 2019. DOI: 10.1007/s10712-019-09557-5.

DOMINGUEZ, J.M. L. et al, 2011. A plataforma continental do município de Salvador: geologia, usos múltiplos e recursos minerais. CBPM, Série Arquivos Abertos, 37.

Echevarria, E. R., Hemer, M. A., & Holbrook, N. J. (2019). Seasonal variability of the global spectral wind wave climate. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 2924–2939. https://doi.org/10.1029/2018JC014620

Fewings, M., Lentz, S., & Fredericks, J. (2008). Observations of cross-shelf flow driven by cross-shelf wind stress on the inner shelf. *Journal of Physical Oceanography*, *38*(10), 2358–2372.

Fonseca, L, 2019. "A INFLUÊNCIA DA CIRCULAÇÃO GRAVITACIONAL E AÇÃO DAS ONDAS NO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR ARRASTO NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS". https://oceanografia.ufba.br/Monografia_Lucas_Fonseca.pdf.

Franklin, Taoan Silva and Lessa, Guilherme Camargo and Teixeira, Carlos E. P. and Santos, Felipe Moraes and Marta-Almeida, Martinho and Mendes-Lopes, Rubens, High-Resolution Simulations Of Coastal Dispersion Of Tubastraea Spp. Larvae from a Large Estuary in

Northeast Brazil. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=5062090 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5062090 .

Hasselmann,K., et al., Measurementsof wind-wave growth and swelldecayduringthe JointNorth SeaWave Project(JONSWAP),Dtsch.Hydrogr.Z. Suppl.,12(A8), 1-95, 1973.

Hatje, V.; de Andrade, J. B. *Baía de Todos Os Santos: Aspectos Oceanográficos*; EDUFBA, 2009.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.adbb2d47 (Accessed on 02-10-2024)

Holthuijsen, L. H. (2007). *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press.

Janssen, P.A.E.M, 1991. Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting. J. Phys. Oceanogr. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0485(1991)021<1631:QLTOWW>2.0.CO;2

Kirby, J. T., and T.-M. Chen (1989), Surface waves on vertically sheared flows: Approximate dispersion relations, *J. Geophys. Res.*, 94(C1), 1013–1027, doi:10.1029/JC094iC01p01013.

Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., & Janssen, P. A. E. M. (1994). *Dynamics and modelling of ocean waves*. Cambridge University Press.

Large, W.G., McWilliams, J.C., & Doney, S.C. (1994). *Oceanic vertical mixing: A review. Journal of Physical Oceanography*, 24(9).

Lentz, S. J., Fewings, M. R., Howd, P., Fredericks, J., & Dahlen, K. (2008). Observations and a model of undertow over the inner continental shelf. *Journal of Physical Oceanography*, *38*(11), 2341–2357. DOI: https://doi.org/10.1175/2008JPO3986.1

LESSA, G. C.; CIRANO, M.; GENZ, F.; TANAJURA, C. A. S.; SILVA, R. R.. Oceanografia Física. In: HATJE, V.; ANDRADE, J. B. (Org.). Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos. Salvador: EDUFBA, 2009. p. 67-119.

Lessa, G. C.; Dominguez J. M. L.; Bittencourt A. C. S. P.; Brichta, A. (2001) The tides and tidal circulation of Todos os Santos Bay, northeast Brazil: a general characterization. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 73, n. 2, p. 245–261.

Li, L., Xu, J., Ren, Y., Wang, X., & Xia, Y. (2022). Effects of wave-current interactions on sediment dynamics in Hangzhou Bay during Typhoon Mitag. *Frontiers in Earth Science*, *10*, Article 931472. https://doi.org/10.3389/feart.2022.931472.

Lowe, R. J., Falter, J. L., Bandet, M. D., Pawlak, G., Atkinson, M. J., Monismith, S. G., & Koseff, J. R. (2005). Spectral wave dissipation over a barrier reef. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *110*(C4), C04001.

MARTA-ALMEIDA, Martinho; CIRANO, Mauro; SOARES, Carlos Guedes; LESSA, Guilherme C. A numerical tidal stream energy assessment study for Baía de Todos os Santos, Brazil. Renewable Energy, v. 107, p. 271–287, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.047

Martinho, P., Cirano, M., & Lessa, G. (2019). Harmonic analysis of tidal constituents in Todos os Santos Bay, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *47*(2), 247–259.

Miles, J. W. (1957). On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, *3*(2), 185–204.

Phillips, O. M. (1957). On the generation of waves by turbulent wind. *Journal of Fluid Mechanics*, *2*(5), 417–445.

Pianca, C., Mazzini, P. L. F., & Siegle, E. (2010). Brazilian wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, *58*(3), 307–316.

Ponce de León, S., & Guedes Soares, C. (2021). Numerical modelling of the effects of the gulf stream on the wave characteristics. Journal of Marine Science and Engineering, 9(1), 42. https://doi.org/10.3390/jmse9010042

Rebouças, R.C., 2010. Sedimentação holocênica da plataforma continental de Salvador-BA. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/21482

Rusu, L., Pilar, P., & Guedes Soares, C. (2011). Wave–current interactions in the Tagus estuary. *Journal of Coastal Research*, *27*(6), 1089–1098.

Semedo, A., Saetra, Ø., Rutgersson, A., Kahma, K. K., and Pettersson, H.: Wave-induced wind in the marine boundary layer, J. Atmos. Sci., 66, 2256–2271, 2009. DOI: https://doi.org/10.1175/2009JAS3018.1

SHCHEPETKIN, Alexander F.; McWILLIAMS, James C. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, v. 9, n. 4, p. 347-404, 2005. DOI: 10.1016/j.ocemod.2004.08.002.

Svendsen, I. A. (1984). Mass flux and undertow in a surf zone. *Coastal Engineering*, *8*(4), 347–377.

Thornton, E. B., & Guza, R. T. (1983). Transformation of wave height distribution. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *88*(C10), 5925–5938.

Warner, J.C., Armstrong, B., He, R., Zambon, J.B., 2010. Development of a coupled ocean-atmosphere-wave-sediment transport (COAWST) modeling system. Ocean Model. 35 (3), 230–244.

Anexos

Anexo A. - Tabelas complementares

n = 696	BOIA SISMO			
Hs	**Viés (m)**	**Correlação (r)**	**RMSE (m)**	**MAE (m)**
Etapa 1	0.150	0.766	0.324	0.261
Etapa 2	0.073	0.648	0.349	0.274
Etapa 3	-1.017	0.501	1.088	1.017
Etapa 4	0.119	0.643	0.371	0.306
Tp				
Etapa 1	1.078	0.695	2.360	1.680
Etapa 2	1.085	0.696	2.361	1.686
Etapa 3	-5.802	-0.077	6.583	5.802
Etapa 4	1.050	0.707	2.313	1.656
Dir				
Etapa 1	6.538	0.724	14.493	12.156
Etapa 2	4.988	0.638	14.993	12.639
Etapa 3	19.701	0.410	26.076	21.911
Etapa 4	7.454	0.558	16.263	13.484

Tabela 3: Comparação das métricas entre os dados observados da boia SISMO e as simulações realizadas por diferentes forçantes. **n** representa o número de observações comparadas entre o modelo e a boia.

Anexo B. - Figuras complementares

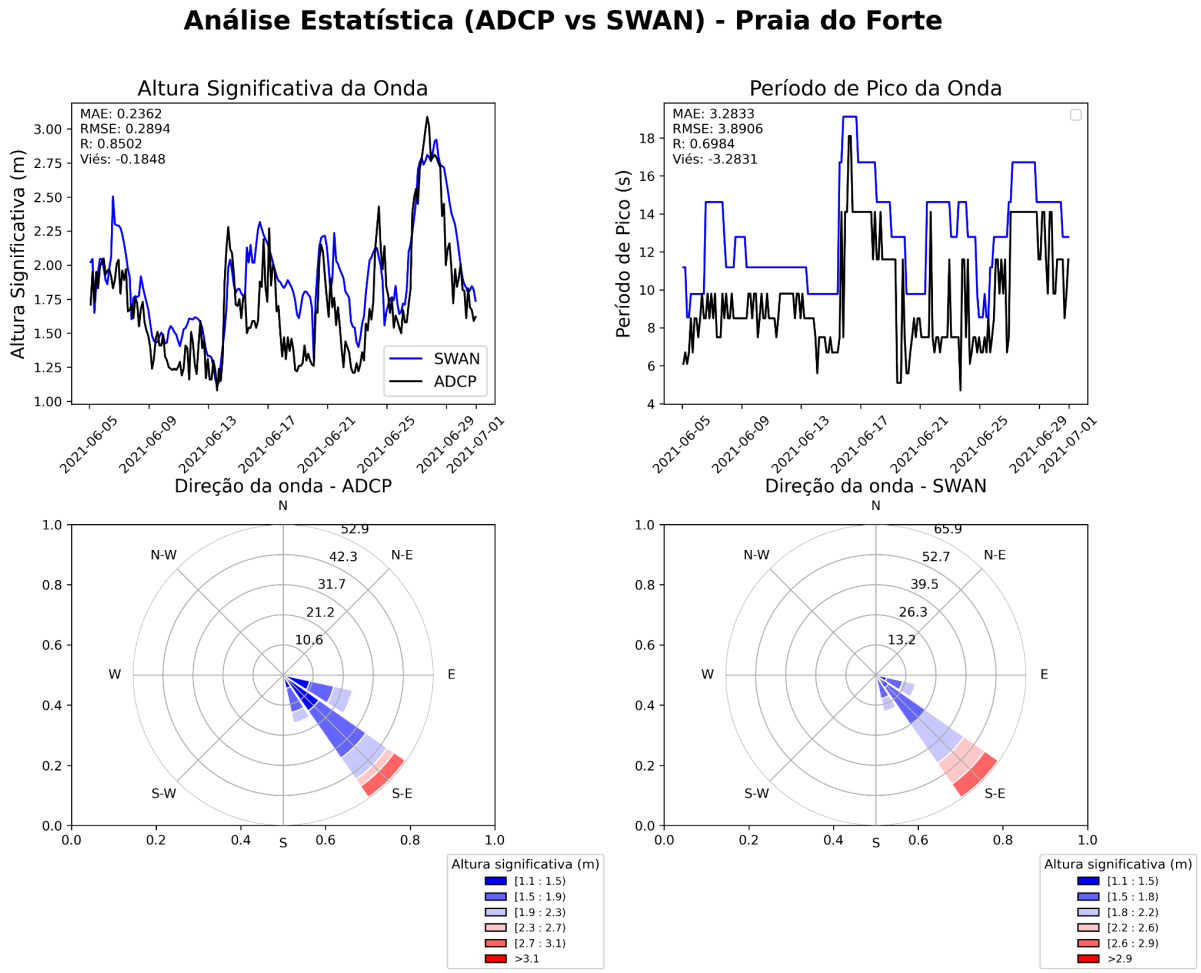


Figura B1. Validação do modelo SWAN para a região da Praia do Forte.