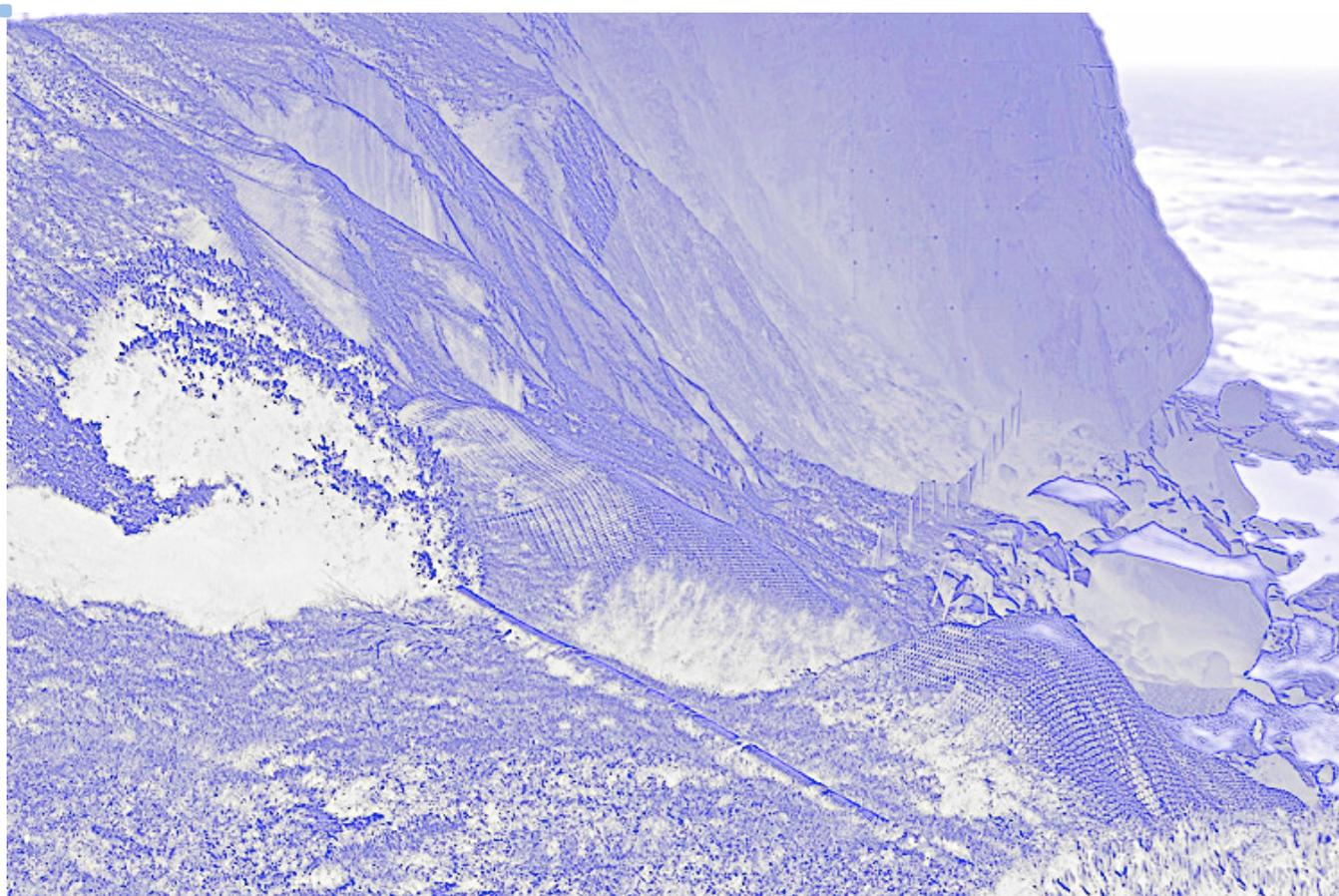


Capítulo III

*Análise computacional das modificações morfodinâmicas
em relação à recuperação da orla de Matinhos-PR*





ANÁLISE COMPUTACIONAL DAS MODIFICAÇÕES MORFODINÂMICAS EM RELAÇÃO À RECUPERAÇÃO DA ORLA DE MATINHOS-PR

Paola Stefani de Araujo; Eduardo de Paula Kirinus⁷

Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar. Laboratório de Infraestrutura de Transportes e Obras Portuárias. Pontal do Sul, Pontal do Paraná, Paraná, Brasil (araujo.pstefani@gmail.com; ekirinus@ufpr.br).

RESUMO

O avanço da urbanização vem provocando grandes transformações nas relações sociais e morfológicas das áreas costeiras. O município de Matinhos é um grande exemplo disso, onde frequentemente era noticiado o avanço do mar, em maré alta, nas avenidas. A obra, como a prevista, traz inúmeras modificações morfodinâmicas da praia, para observar os efeitos causados pela revitalização, é indispensável o desenvolvimento de estudos que analisem as características hidrodinâmicas e morfológicas da área de estudo. Utilizando o modelo numérico TELEMAC, que conta com os modelos TELEMAC-3D, utilizado para modelagens hidrodinâmicas e SISYPHE, utilizado para modelagens morfodinâmicas, foi modelado as feições praias em dois cenários, um antecedente e um posterior às obras construídas, simulando o ambiente, tendo como resultados parâmetros da área costeira que possibilita a discretização dos efeitos causados pela obra, como por exemplo, a função dos guias-correntes de ocasionar o assoreamento no lado oposto ao que as ondas colidem e como isso é demonstrado nos resultados finais, também o balanço sedimentar mais intenso após as obras, evidenciando o efeito da construção.

Palavras-chave: Morfodinâmica praias; Hidrodinâmica praias; Modelo Numérico; Obras de Engenharia Costeira.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa faixa costeira com cerca de 8.600 km de comprimento, região a qual está sujeita a constantes mudanças devido à interação entre o continente e o mar, o que resulta em alterações no equilíbrio de sedimentos (CALLIARI *et al.*, 2003).

A costa do estado do Paraná sofre com problemas relacionados à intensa erosão costeira, como é o caso do município de Matinhos. Resultando no recuo da linha de costa das praias

Computational analysis of morphodynamic changes in relation to the recovery of the edge of Matinhos-PR

ABSTRACT

The advancement of urbanization is causing significant transformations in coastal areas, as exemplified by the Matinhos city, Where the advance of the sea is frequently reported, affecting avenues during high tides. To understand the effects of the planned revitalization, it is crucial to conduct studies that analyze the hydrodynamic and morphological characteristics of the area in question. Using the numerical model TELEMAC, which includes the TELEMAC-3D model for hydrodynamic modeling and SISYPHE for morphodynamic modeling, the beach features were modeled in two scenarios: one prior to the construction works and one after. Simulating the environment yielded parameters of the coastal area, enabling the discretization of the effect caused by construction. For instance, the function of the current guides in causing sedimentation on the side opposite to where waves collide and how this is demonstrated in the final results, as well as the more intense sediment balance after the Works, highlighting the effect of the construction.

Keywords: Coastal morphodynamics; Coastal hydrodynamics; Numerical model; Coastal Engineering projects.

Brava de Caiobá, Mansa e Flamingo/Riviera. Na praia Brava, o problema chegou a um ponto crítico, com o mar invadindo a cidade durante ressacas, destruindo a calçada, com ondas de tormentas, devido à falta de barreiras de proteção.

Para a recuperação da orla do município, iniciou em junho de 2022 o engordamento da praia através da dragagem de areia de uma jazida submarina, sendo depositado na orla, finalizando em novembro do mesmo ano. Além disso, foram construídas estruturas semirrígidas em locais estratégicos para preservar o acúmulo artificial de

sedimentos e aumentar a deposição de areia na cidade (IAT, 2021). Sendo assim, espera-se que o problema da erosão seja mitigado após a conclusão da obra, tornando de extrema relevância abordagens prognósticas dos resultados morfodinâmicos para monitoramento e a verificação das condições da dinâmica local.

Em certas épocas, o efeito erosivo é intensificado, com o mar retirando a areia e colocando em risco construções próximas a ele, quando não há vegetação, como a restinga, que auxilia como barreira para evitar o mar adentrar a cidade (ANGULO, 2000). Em situações de problemas erosivos na costa, a solução pode ser a construção de obras costeiras que protegem a LP (linha de praia) da quebra das ondas e evitando que ocorra o balanço sedimentar negativo, auxiliando no assoreamento local, favorecendo a estabilização e propagação da berma (KLEIN *et al.*, 2005).

Em vista disso, o principal objetivo deste estudo é analisar as modificações hidrodinâmicas decorrentes das obras de recuperação da orla, utilizando simulações que envolvem a dinâmica entre as correntes oceânicas e o fundo marinho na faixa costeira de Matinhos, em dois cenários distintos: o primeiro, referente ao período anterior

às obras, como em 2019, quando a praia ainda estava bastante erodida; e o segundo, após a conclusão das obras, correspondente ao final de 2023.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram abordadas simulações numéricas considerando a situação da orla de Matinhos erodida, em 2019, e com a implementação das obras marítimas, em 2023. Para isso, será utilizado sistema numérico open TELEMAC-MASCARET (TELEMAC-MASCARET) calibrado e validado, acionando os modelos hidrodinâmicos TELEMAC-3D e o morfodinâmico SISYPHE de forma acoplada. Para este estudo, o modelo TOMAWAC que simula as ondas espectrais direcionais não foi utilizado devido a ausência de dados para sua calibração. A área de estudo foi a região do litoral paranaense, sul do Brasil, especialmente a orla da cidade de Matinhos (25° 49' 8" S e 48° 32' 29" W), verificando os efeitos causados pela obra atual de engordamento da linha de praia e construção e obras semirrigidas, como ilustrado na Figura 1.

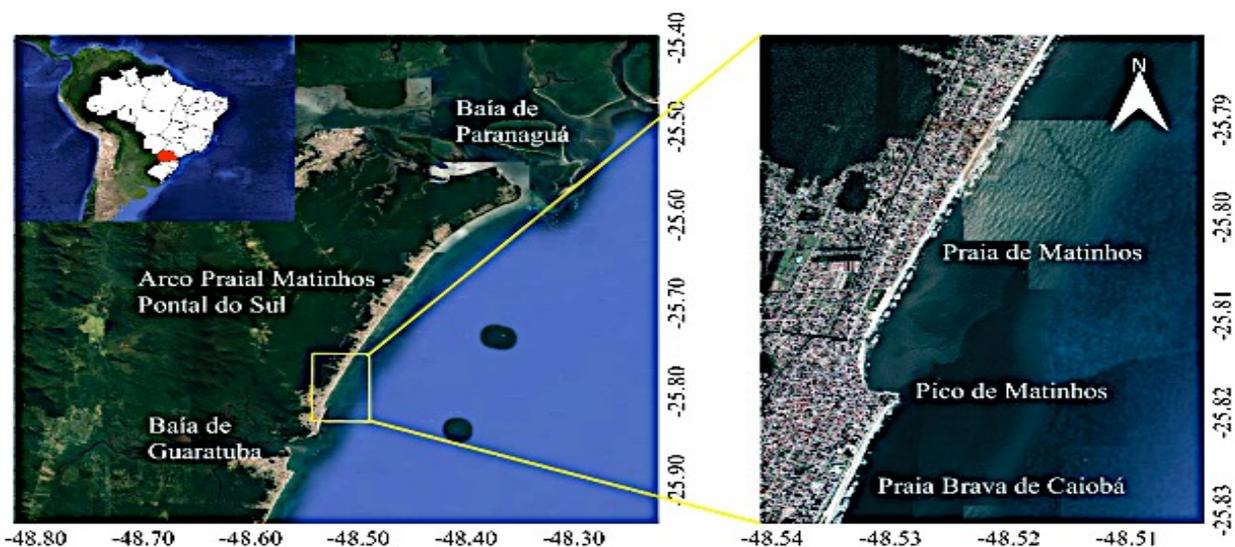


Figura 1. Imagem de satélite (Landsat 2019), representando o arco praial Matinhos, enfatizando a área estudada.

Modelos numéricos

Modelo Hidrodinâmico – TELEMAC – 3D

O modelo Telemac– 3D é utilizado para modelagens hidrodinâmicas em três dimensões, simulando a ação das correntes geradas pelos ventos e a energia transportada por elas que

movimentam os sedimentos (HERVOUET, 2007). Este modelo utiliza o método de elementos finitos capaz de discretizar com grande detalhe a região costa, incluindo as obras costeiras projetadas.

Em cada ponto da malha numérica computacional será calculada a velocidade e

quantidades transportadas, além da elevação da superfície livre resultante na camada superficial. Este modelo considera diversos efeitos na análise, resolvendo as equações de Navier-Stokes, utilizando das equações de advecção e difusão para solucionar o sistema de equações como função do tempo. Adicionalmente, são consideradas as influências da temperatura e salinidade da água do mar, a influência da força de Coriolis, fricção com o fundo, descargas de rios, e a pressão atmosférica. Também discretiza o espaço, considerando a discretização vertical em coordenadas sigmas, respeitando as restrições de superfície e fundo (HERVOUET, 2007).

Modelo Morfodinâmico – SISYPHE

O SISYPHE é um modelo de simulação que faz parte do sistema de modelagem numérica open TELEMAC-MASCARET, em função dos diversos fluxos e parâmetros do sedimento, calcula a carga de material transportada junto ao fundo. Aplicável para sedimentos não coesivos, sedimentos erosivos e misturas areia-lama (VILLARET et al., 2013). O transporte de sedimentos muda a inclinação da praia, alterando o tipo de quebra e para sedimentos coesivos, o efeito da consolidação do leito pode ser considerado (CALLIARI et al., 2003).

É condicionado ao modelo um número de camadas de sedimento no fundo, onde ocorrem as transferências de energia das correntes, gerando o transporte junto ao fundo. E assim iniciando a simulação, é possível analisar a movimentação dos grãos. Neste trabalho foi utilizado apenas o transporte pelo fundo. Utilizando um sistema de camadas sigmas, empregado no modelo 11 camadas, devido a testes, foi a que apresentou melhores resultados e o tamanho dos sedimentos modelados 0,18 mm (BIGARELLA, 2001). Ambos os modelos permitem uma análise abrangente das interações entre a água e os sedimentos, sendo cruciais para estudo de engenharia costeira e gestão ambiental.

Malha Numérica

A malha numérica computacional foi construída considerando um raio de 70km de Matinhos para a modelagem, com ênfases nas obras entre o Pico de Matinhos e o Morro do Boi, englobando os guias correntes da Avenida Paraná, espigão da Praia Brava e a engorda neste trecho. Dois cenários foram idealizados, o primeiro representando a linha

de costa anterior ao início das obras, com a erosão predominante, com uma pequena faixa de areia em alguns lugares e nulas em outros, com o oceano cobrindo todo o perímetro. E o segundo cenário, agora contendo a engorda de praia e as obras semirrígidas. Seguindo as cotas dispostas nos projetos, com a faixa de areia variando de 3,5 a 4 metros, e com guias correntes da Avenida Paraná e o espigão da Praia Brava, cada um seguindo sua própria altimetria, como demonstrado na Figura 2.

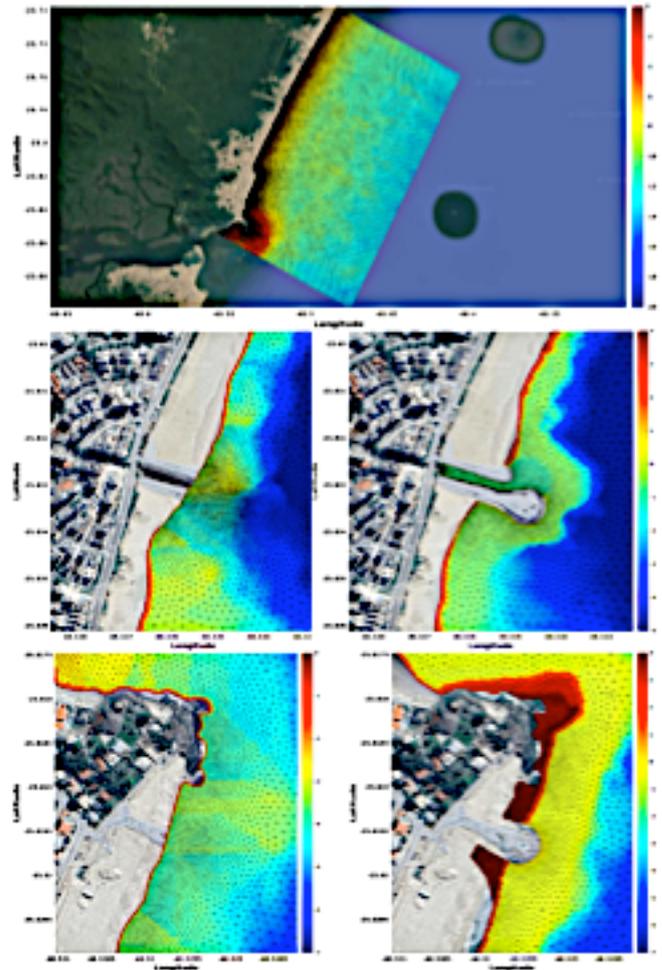


Figura 2. Ilustração da malha completa, com nível em metros (m), juntamente com zoom nas obras da Avenida Paraná e no Pico de Matinhos.

Condições de Contorno Inicial e Final

As simulações foram feitas considerando os dois cenários (o antes e o após da revitalização da praia de Matinhos), será considerado como condições de contorno inicial as mesmas variáveis, no mesmo período e advindas dos mesmos bancos de dados para evitar efeitos adversos no resultado obtido. As simulações tiveram 192 dias de duração.

A partir do modelo HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model), foram obtidos os dados oceanográficos. A resolução espacial dos dados

que estão sendo utilizados no trabalho é de 0,08 de latitude e longitude (aproximadamente 9km), com escala temporal de 24 h (METZGER et al., 2006). Já os dados meteorológicos representam as condições superficiais, aplicadas durante todo o período simulado, utilizando o banco de dados do

ERA-5 do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). A resolução espacial dos dados utilizados no trabalho é de 0,125 (aproximadamente 14 km), com escala temporal de 6 h.

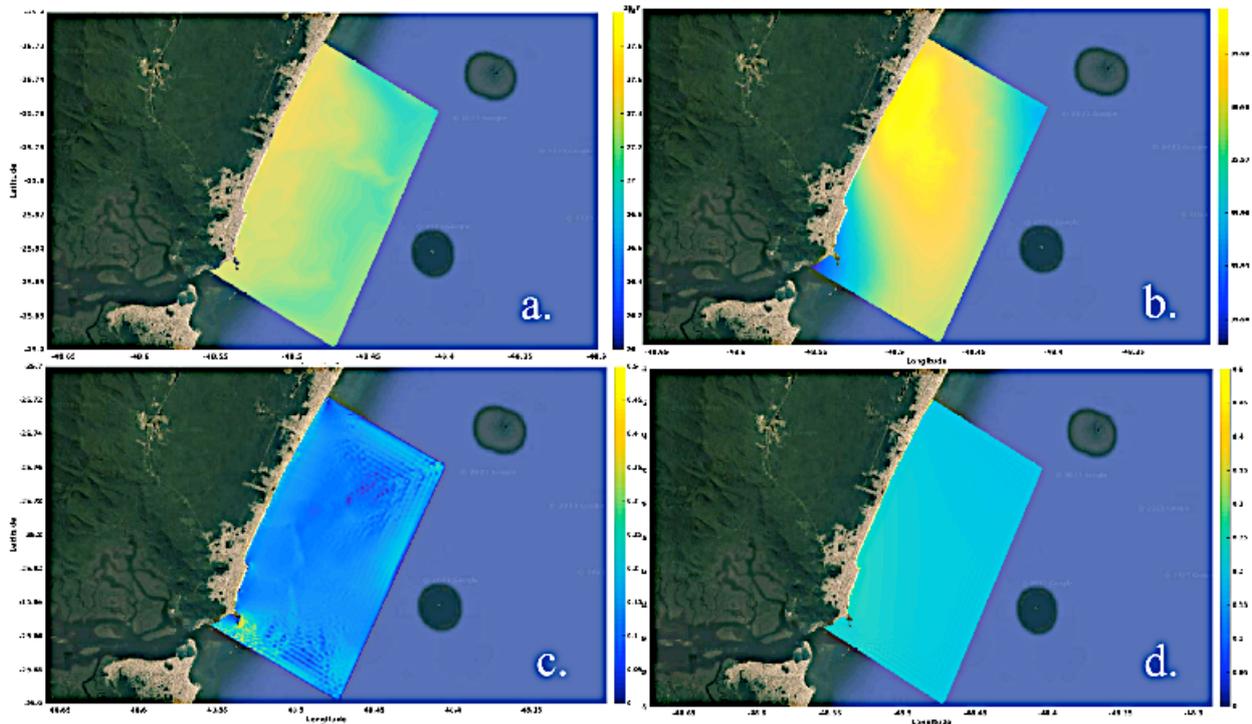


Figura 3. Condições iniciais hidrodinâmicas para a camada superficial do módulo TELEMAC-3D . Temperatura (°C), Salinidade, Intensidade da Velocidade (m.s⁻¹) e Nível da superfície (m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações são apresentados a seguir referente a dois cenários: i) Praia de Matinhos, do trecho entre o Morro do Boi ao de Pico de Matinhos, e ii) Praia Brava, enfoque no Pico de Matinhos.

Hidrodinâmica

Através das Figuras 4 a. e 4 b. vemos que há uma variação na velocidade máxima entre os cenários estudados. Inicialmente, é possível observar que a Figura 4 b. possuem intensidades superiores de velocidade máxima da corrente do que o cenário anterior a obra (Figura 4 a.), esses valores estão localizados na face praial com intensidades superando $1,2 \text{ m.s}^{-1}$. Adicionalmente, é perceptível o aumento significativo da velocidade máxima da corrente no cabeço das obras costeiras projetadas, além de possuir uma região que

"conectando" a guia-corrente, o espigão e o Pico de Matinhos, situada entre as isóbatas de 8 e 10 metros onde há uma corrente paralela à praia Brava contendo velocidades máximas em torno de $1,3 \text{ m.s}^{-1}$. A adição das obras resulta em uma intensificação da velocidade máxima na faixa praial, indicando uma tendência à erosão.

A inclinação da zona de varrido difere entre os cenários, com o cenário da obra apresentando uma elevação de 4 metros após o engordamento. Isso desvia as correntes de deriva da praia para a zona de arrebenção, o que pode criar correntes mais fortes na costa e um deslocamento litorâneo mais distante da zona de arrebenção.

Podemos observar que a guia-corrente atua como um obstáculo que amortece o impacto das correntes costeiras atuantes nas praias. Com esse resultado é possível supor que existe maior tendência da ocorrência de processos erosivos no trecho entre o Morro do Boi e os guias da Avenida Paraná, incluindo na própria obra.

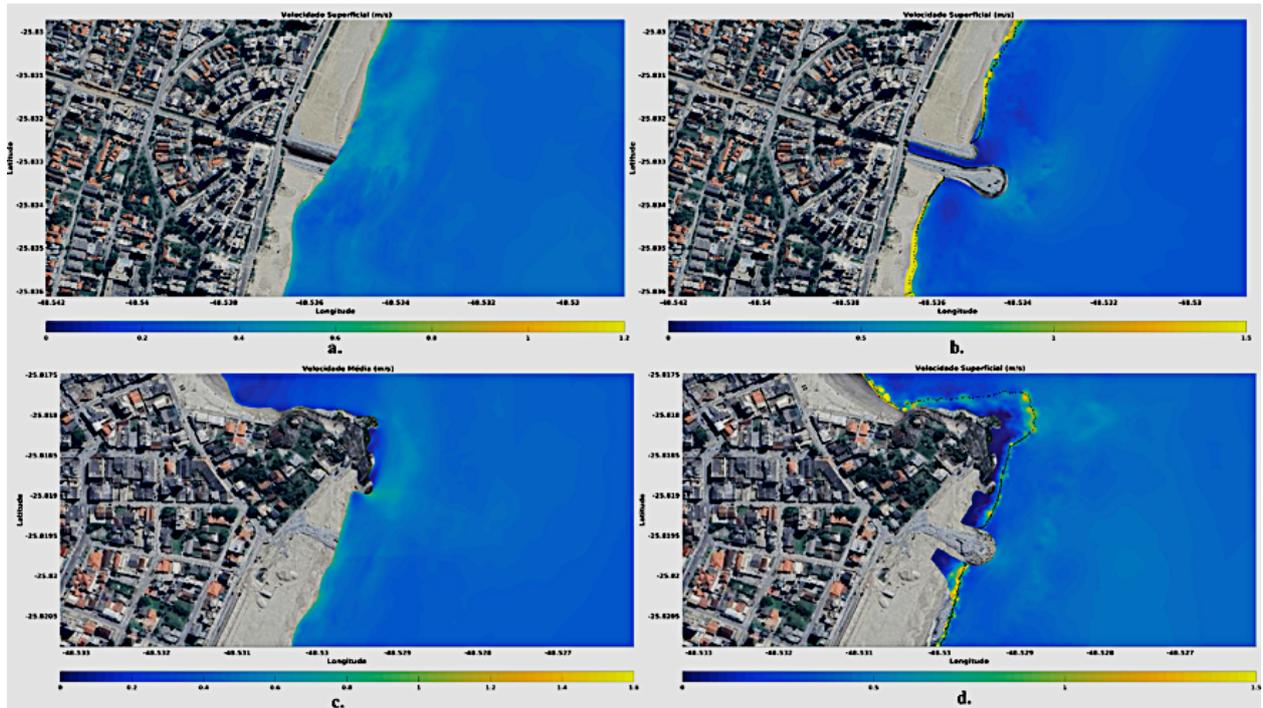


Figura 4. Comparação das velocidades superficiais máximas da corrente, com zoom nas obras da Avenida Paraná, e com enfoque nas obras do Pico de Matinhos, temos antes a. e c. e depois b. e d. da obra.

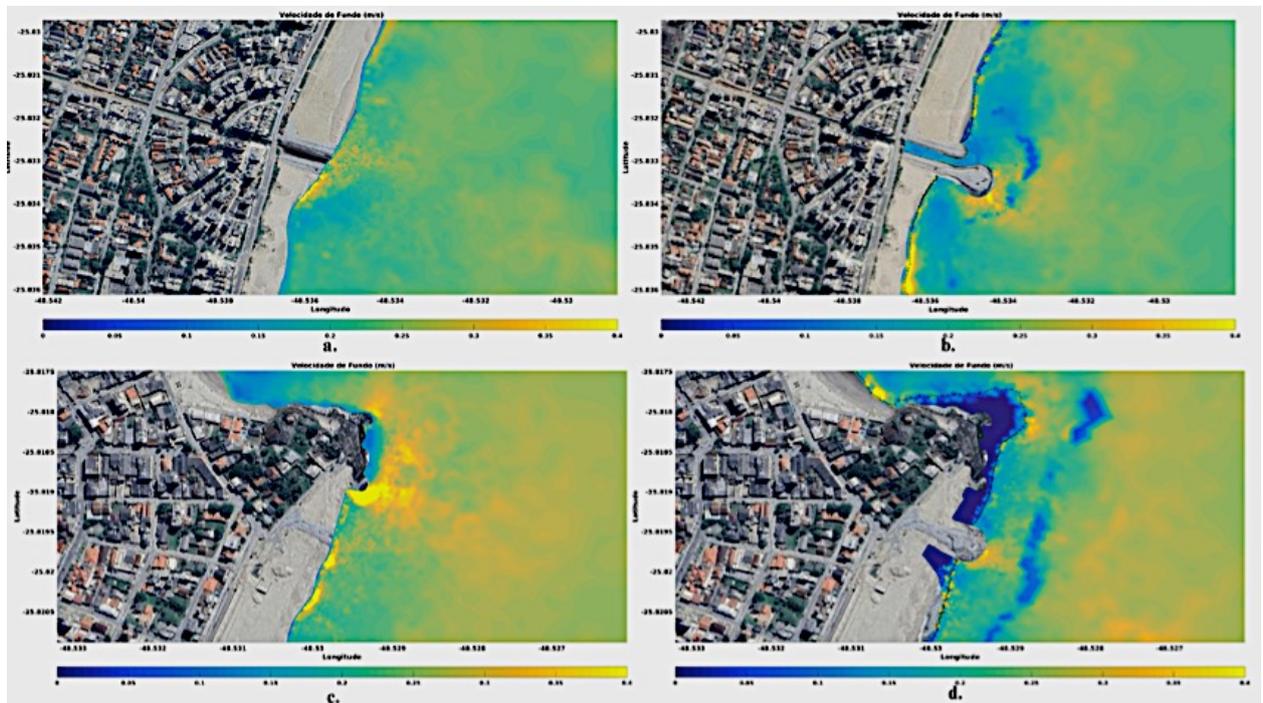


Figura 5. Comparação das velocidades médias de fundo, com zoom nas obras da Avenida Paraná, e com enfoque nas obras do Pico de Matinhos, temos antes a. e c. e depois b. e d. da obra.

É possível observar que no Pico de Matinhos, onde foi posicionado o espigão, tornando-se relevante ressaltar a linha pontilhada representando a quota de 0 (zero) m de batimetria. Entre o espigão e o Pico, é possível notar um ponto de elevada velocidade máxima com valores tendendo a zero na zona de varrido, indicando ser uma região

com alta capacidade de transporte sedimentar e ao mesmo tempo, grande retenção de sedimentos na zona de varrido. No sentido sul do espigão, percebe-se alguns metros de faixa praias com velocidade elevada e em seguida um decréscimo na velocidade, indicando um déficit sedimentar seguido de processos deposicionais.

Adicionalmente, o espigão consegue atenuar o impacto das correntes na zona do subaérea da praia, podendo vir a reduzir a capacidade de ocorrência de eventos extremos erosivos.

A velocidade de fundo representa a resultante do decaimento da velocidade superficial em sua camada limite até atingir a camada de fundo (último nível sigma do modelo), transferindo sua energia para os processos de transporte sedimentar. Sendo assim, podemos observar a velocidade máxima de fundo na Figura 5.

Na Figura 5 b., focando na região da Avenida Paraná, percebe-se que a presença da obra resulta em uma intensificação da velocidade de fundo no guia corrente ao sul e uma redução no guia ao norte. Isso indica que o guia sul receberá maior impacto energético de fundo, enquanto o guia norte pode induzir a deposição sedimentar. Ainda nesta figura, nota-se regiões com baixa velocidade de fundo máxima seguida de aumento de velocidade, que pode estar associado às alterações batimétricas geradas pela presença da obra e seu subsequente transporte sedimentar.

No Pico de Matinhos, a diferença da velocidade média de fundo, em ambos os cenários, é perceptível (Figura 5). Com a adição do espigão ao sul do Pico (Figura 5 b.) ocorre uma grande modulação da localização dos máximos de velocidade das correntes de fundo. A praia recebeu altitude de projeto de quatro metros em relação ao cenário anterior, reduzindo a capacidade da velocidade de fundo atingir a facie praial com tanto impacto quanto visto anteriormente. Ainda assim, no cabeço do espigão ocorre a intensificação da velocidade máxima de fundo, e por outro lado, ao redor da estrutura existe a ocorrência de velocidade de fundo atenuada, indicando a possível prevalência de processos deposicionais.

Os parâmetros relevantes para a descrição das modificações do fundo marinho e que serão abordadas nesta seção são a tensão de cisalhamento com o fundo e a evolução do fundo. A tensão de cisalhamento com o fundo é o resultado da interação da corrente de fundo com ele, provocando a atrito superficial com o fundo, e em condições de elevada velocidade de fundo pode iniciar o transporte sedimentar, gerando posteriormente erosão e deposição.

Para permitir melhor visualização da tensão no litoral, foi determinado escalas diferentes para cada

cenário, na Figura 6 a. a escala de cores dos gráficos foi limitada de - 0,5 a + 0,5 N/m², enquanto na Figura 6 b. foi limitada para 1 N/m². Ambos os cenários apresentam tensões próximas a 0,3 N/m² na zona de surf e em determinadas regiões offshore, provavelmente relacionadas com células de circulação costeiras. Na facie praial, percebe-se grande diferença entre os cenários, ao passo que no cenário antigo prevalecem baixas tensões devido a ausência de um gradiente vertical na praia, na presença das obras e engorda, por outro lado, é notável o aumento da tensão de cisalhamento de fundo, indicando a ocorrência de transporte sedimentar.

Analisando cada região de interesse frente a esse parâmetro, vemos que no cabeço da guia corrente da Avenida Paraná (Figura 6 b.) ocorrem valores médios de 0,4 N/m², valores acima de 1 N/m² na praia e dentro do canal valores tendendo a zero. No cenário antigo (Figura 6 a.) ocorrem tensões em torno de 0.3 N/m².

Padrão semelhante pode ser observado no Pico de Matinhos (Figura 6), entretanto, com a presença das obras (Figura 6 b.) existe maior "ataque" das correntes na isolinha de 0 (zero) metros de batimetria (pontilhado). Essas tensões de cisalhamento elevadas indicam que durante todo o período simulado a tensão foi em torno de 1 N/m², indicando grande chance de ocorrência de erosão nestas regiões.

A evolução do fundo ocorre como um processo acumulativo durante o período simulado, ou seja, é a integração de todos os aumentos e decréscimos batimétricos até o final da simulação. Na Figura 7 a escala de cores adotada possui valores em torno de +- 10cm para melhor visualização. No cenário antigo, Figura 7 a., há variação quase imperceptível, enquanto no cenário atual, Figura 7 b., vemos a diferença de valores máximos atingindo a costa. Para melhor compreensão da figura, temos que em azul são regiões com perda sedimentar, ou seja, erosão, e regiões amarelas representam zonas de ganho sedimentar, assoreamento.

Na região do guia-corrente (Figura 7 b.), é importante ressaltar que as regiões erodidas apresentam zonas deposicionais no sentido offshore, demonstrando que ocorre a erosão da facie praial e, subsequentemente, deposição dos sedimentos. Neste sentido, o modelo conseguiu

estimar a erosão da praia e o acúmulo desses sedimentos em bancos na zona subaquosa, formando estruturas típicas de sistemas praias cava-banco com a cava.

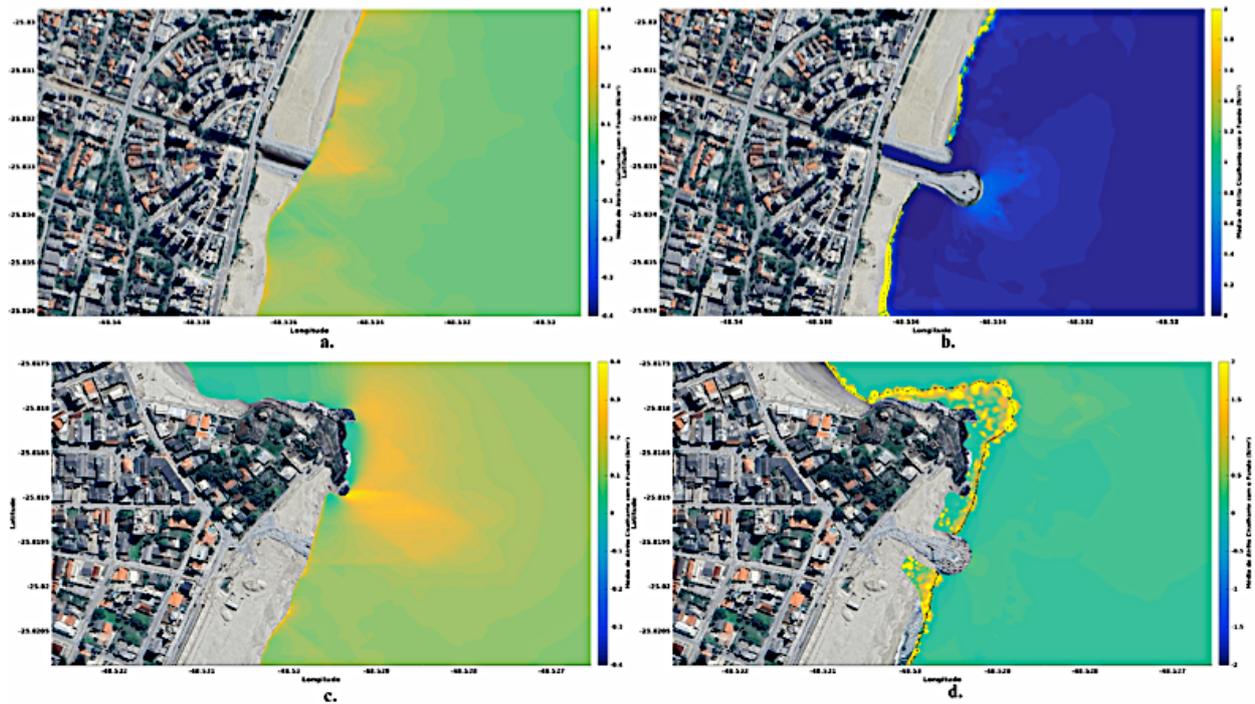


Figura 6. Comparação das médias das tensões de atrito cisalhante com o fundo, com zoom nas obras da Avenida Paraná, e com enfoque nas obras do Pico de Matinhos, temos antes a. e c. e depois b. e d. da obra..

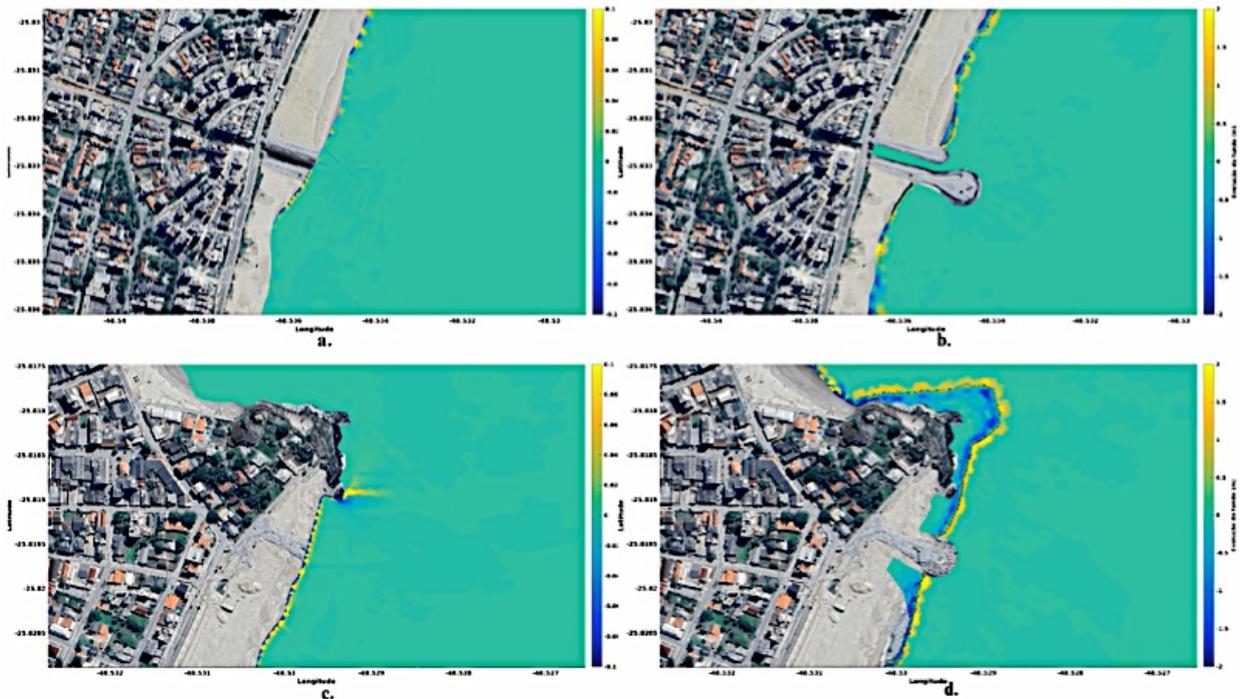


Figura 7. Comparação da evolução do fundo, com zoom nas obras da Avenida Paraná, e com enfoque nas obras do Pico de Matinhos, temos antes a. e c. e depois b. e d. da obra.

No Pico de Matinhos, observamos o mesmo padrão observado para os guias-corrente, de erosão praias e, subsequente, deposição na zona de surf como cava-banco.

Ao compararmos a diferença (Figura 8) das simulações morfodinâmicas entre os dois cenários,

é possível perceber que em ambos os locais, existe maior deposição de sedimentos na presença da obra costeira (demonstrada pelas cores quentes), além da maior atuação da tensão cisalhante com o fundo sobre o cabeço do espigão. Da mesma forma, na simulação anterior a obra, a tensão de

cisalhamento com o fundo é superior em grande parte da zona de surf da praia, demonstrando que

havia maior energia das correntes costeiras neste setor.

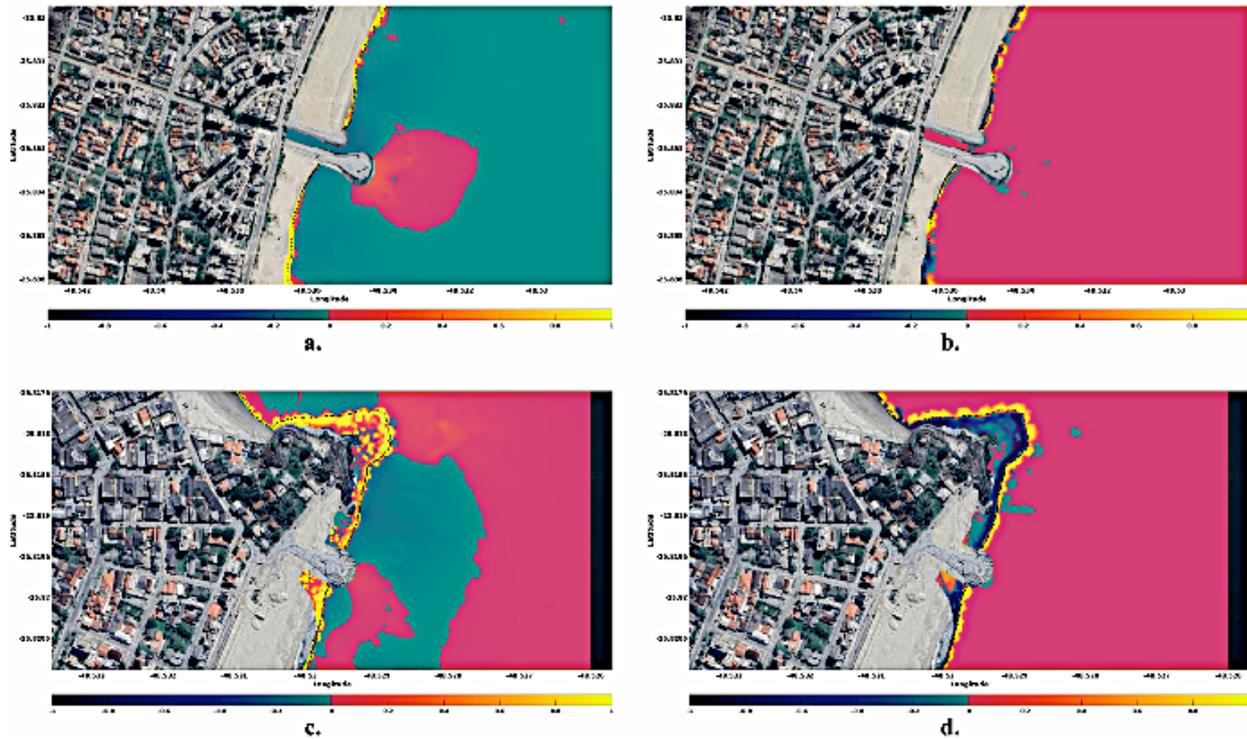


Figura 8. Comparação da diferença entre os cenários (simulação da obra reduzida do cenário antigo), para as variáveis da tensão de cisalhamento com o fundo (a. e c.) e da evolução do fundo (b. e d.), com zoom nas obras da Avenida Paraná e com enfoque nas obras do Pico de Matinhos.

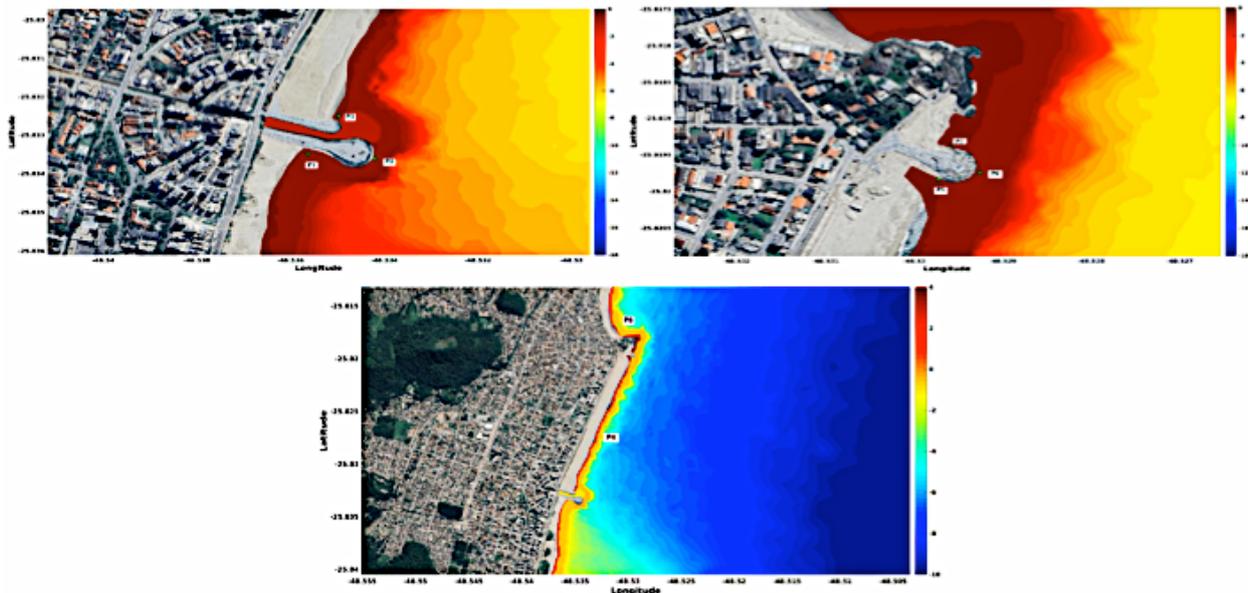


Figura 9. Localização dos pontos seleccionados. Guias-corrente; Pico de Matinhos; Praias.

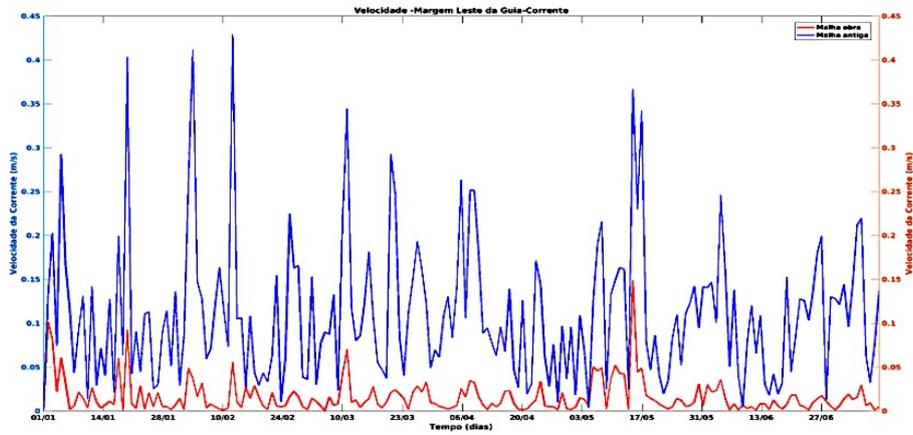
Séries temporais

Para avaliar a variação dos impactos das obras costeiras no processo hidrodinâmico, foram escolhidos oito pontos para a análise de séries temporais (Figura 9). Esses pontos estão localizados no guia-corrente da Avenida Paraná (P1, P2 e P3), no espigão da Praia Brava (P5, P6 e

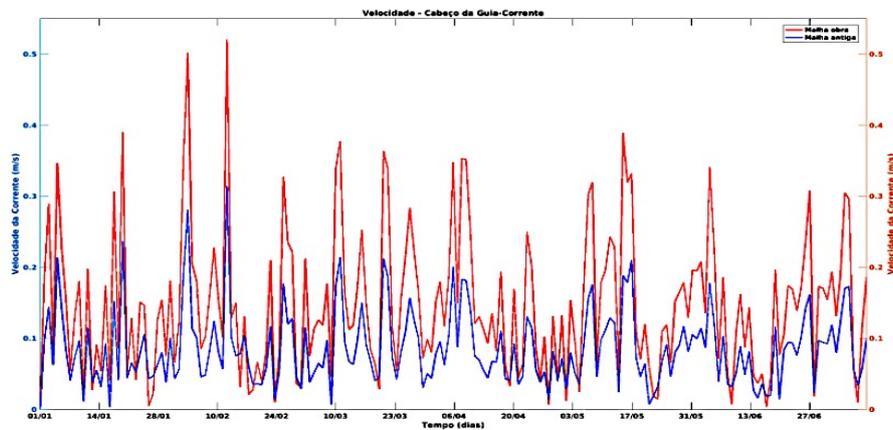
P7), um ponto no centro da Praia Brava, e o último ponto foi seleccionado após o Pico de Matinhos, por ser uma área bem dinâmica e com grande importância para erosão (P4 e P8, respectivamente). A velocidade superficial em cada ponto foi analisada e comparada entre cada cenário. Para o guia-corrente (Figura 10), podemos perceber que

em P1 e P3 a velocidade no cenário antigo apresentava intensidade superior do que com a presença da obra. Essa diferença ocorre, pois, P1 e P3 estão localizados onde seria a linha de costa de ambos os cenários, ou seja, indicando que a presença da obra contribuiu para o enfraquecimento das correntes costeiras nesses

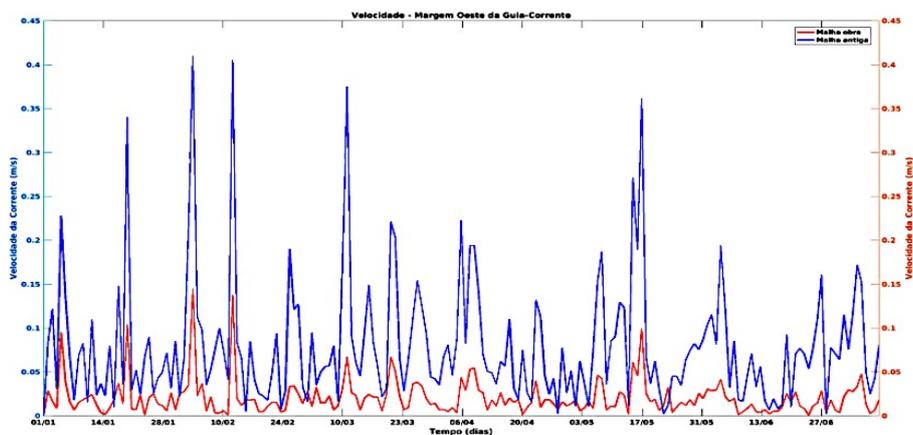
pontos. Isso ocorre, porque a estrutura acaba funcionando com uma barreira, impedindo a passagem da corrente e consequentemente diminuindo a velocidade da mesma quando segue o contorno da obra, por isso P3, principalmente, tende ao assoreamento.



a.

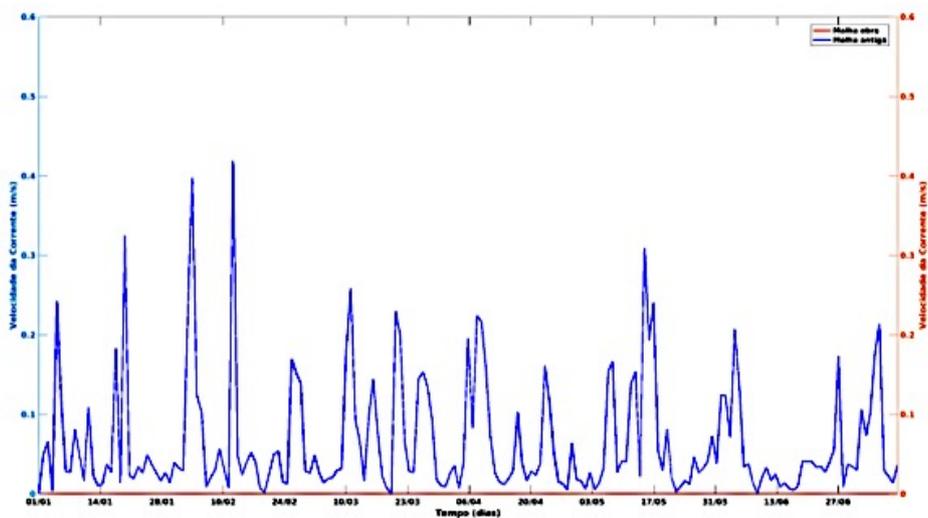


b.

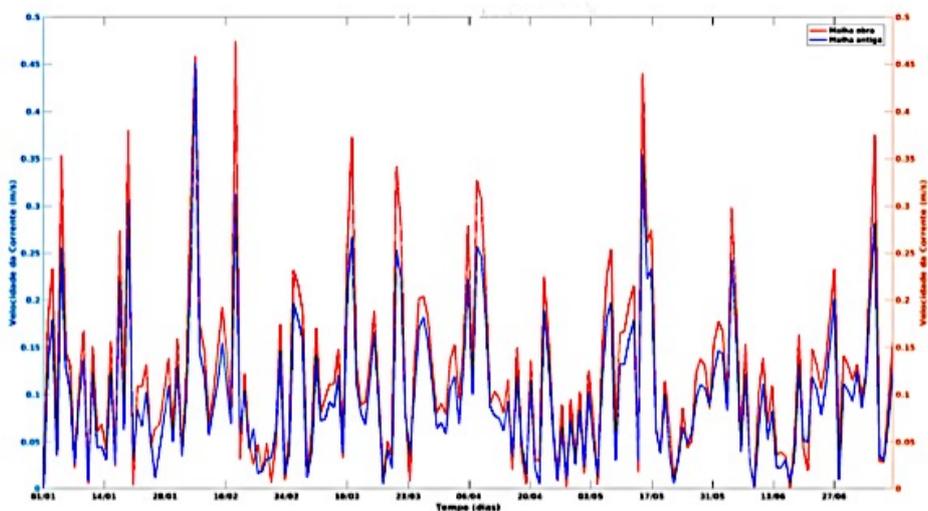


c.

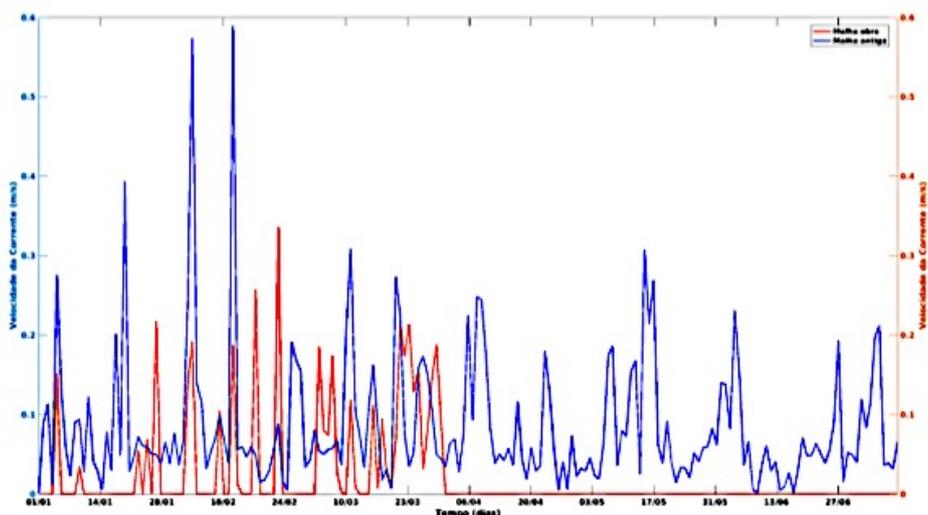
Figura 10. Gráfico de comparação de velocidades superficiais referentes ao P1 a., P2 b. e P3 c., nas proximidades da guia-corrente da Avenida Paraná.



a.

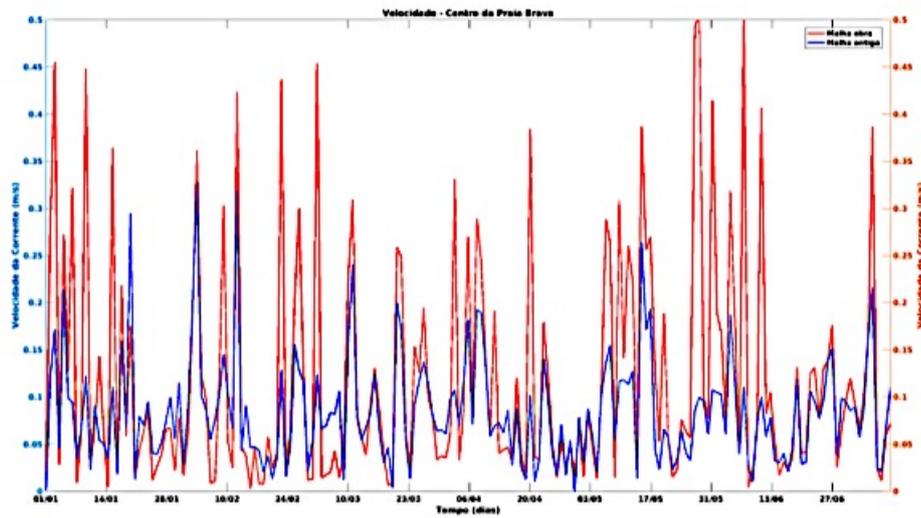


b.

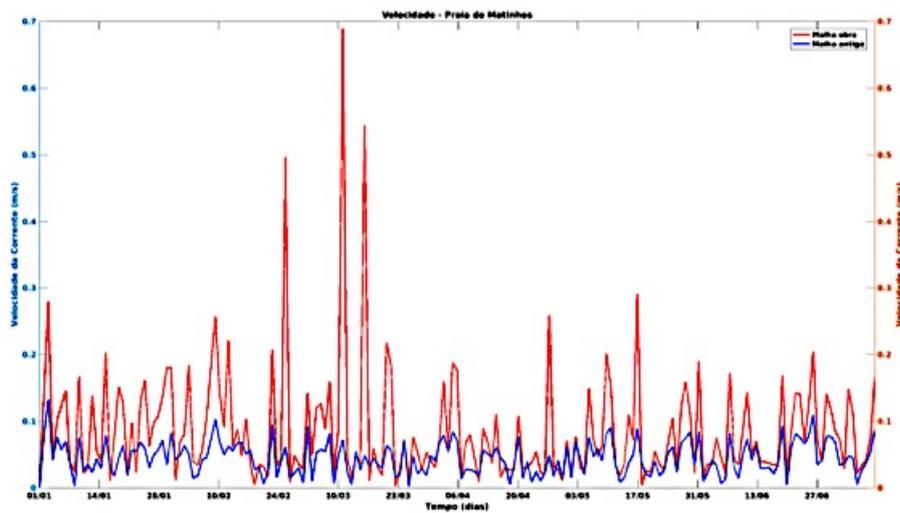


c.

Figura 11. Gráficos de comparação de velocidades superficiais referentes ao P5 a., P6 b. e P7 c., nas proximidades da guia-corrente da Avenida Paraná.



a.



b.

Figura 12. Gráfico de comparação de velocidades superficiais referentes aos a. P4, no centro da praia, entre as obras do guia-corrente e o espigão, e b. P8, na praia após o Pico de Matinhos.

Partindo para a região do Pico de Matinhos, os pontos P5 e P7, representado pela Figura 11, devido a posições parecidas com os pontos P1 e P2, também apresentam velocidades superiores no cenário antigo. Porém, os pontos trazem uma análise distinta, inicialmente, em P5 observamos que a corrente no cenário antigo é mais intensa do que com a presença da obra, entretanto, após 4 meses de simulação, a velocidade na presença da obra foi reduzida a zero. Em P7 devido a sua falta de velocidade no cenário atual, analisando as simulações, percebemos que estes pontos são protegidos pela estrutura, e estão localizados na faixa de areia engordada da praia, ou seja, durante o período simulando esses pontos em específico foram pouco afetados pelas correntes incidentes.

Analisando os pontos localizados no cabeço das duas obras, P2 (Figura 10 b.) e P6 (Figura 11 b.), temos a intensificação da velocidade causada pela existência da obra costeira. Esse é um padrão típico de obras costeiras com formato arredondado que acabam potencializando processos de convergência de correntes no cabeço.

Os pontos localizados nos intermédios das praias, P4 (Figura 12 a.) e P8 (Figura 12 b.), apresentam gráficos semelhantes. Percebe-se a manutenção dos padrões de variação da velocidade das correntes, nos dois pontos, entretanto, com intensas velocidades no cenário com as obras costeiras. Esses pontos demonstram serem uma área hidrodinamicamente ativa e, conseqüentemente, de fácil transporte sedimentar.

CONCLUSÃO

A região costeira sul brasileira, incluindo a praia de Matinhos, é caracterizada por intensa atividade hidrodinâmica. Um projeto de construção de interferências foi iniciado para reduzir esses impactos. A análise do cenário pré-obra permitiu entender a hidrodinâmica passada da praia, enquanto o cenário atual ajuda a identificar os aspectos e pontos críticos que serão afetados ou beneficiados pela revitalização da orla.

A erosão causada pelas correntes litorâneas afetará o processo de engordamento da praia. No entanto, as obras, como o guia corrente da Avenida Paraná, ajudarão a reduzir esse impacto, permitindo a deposição de sedimentos na costa próxima. Isso pode resultar no aumento do nível de sedimentos no canal e possivelmente exigir futuras operações de dragagem. Além disso, a mudança na inclinação da praia está levando a um balanço sedimentar mais eficiente em comparação ao passado. Também é observado um fluxo de sedimentos entre as estruturas rígidas, indicando um possível deslocamento de sedimentos da praia Brava para o Pico de Matinhos e vice-versa.

O Pico de Matinhos é uma região com um forte impacto hidrodinâmico. No cenário anterior à obra, observamos uma intensa erosão nessa região. Ficou evidente que o Pico era afetado por correntes litorâneas provenientes de direções opostas, resultando em uma forte erosão nas praias. A construção do espigão para mitigar o efeito da corrente vinda do sul para o norte mostrou-se eficaz, provavelmente resultando em assoreamento entre o espigão e a ponta do pico.

A interação entre correntes e sedimentos foi simulada por meio do acoplamento dos modelos

TELEMAC-3D e SISYPHE, a malha foi construída com base em mapas e projetos, com dados adicionais incluídos para analisar as possíveis modificações na costa. No entanto, é importante mencionar que o modelo TOMAWAC, que considera o comportamento das ondas na costa, não foi utilizado nas simulações, o que limita a consideração do efeito das ondas neste trabalho. Além disso, os dados das obras se baseiam nos projetos iniciais e não refletem eventuais modificações realizadas durante a execução das obras, que ainda estão em andamento no momento da conclusão deste trabalho. Portanto, esses resultados não devem ser utilizados como referência indicativa da mudança de estado morfodinâmico da região, e sim como referência de que mais estudos são necessários para realizar as análises adequadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, R.J. 2000. As praias do Paraná: problemas decorrentes de uma ocupação inadequada. *Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD*, 99:97–103.
- CALLIARI, L.J.; MUEHC, D.; HOEFEL, F.G. & TOLDO JR, E. 2003. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista brasileira de oceanografia*, SciELO Brasil, 51:63–78.
- HERVOUET, J.-M. 2007. *Hydrodynamics of free surface flows: modelling with the finite element method*. [S.l.]: John Wiley & Sons.
- IAT. 2021. Memorial descritivo da Obra de Proteção da Orla de Matinhos. [S.l.]: Instituto de Água e Terra- IAT.
- KLEIN, A.F.; SILVA, G.M.; FERREIRA, O.; DIAS, J.A. 2005. Beach sediment distribution for a headland bay coast. *Journal of Coastal Research*, SI(42):285–293.
- VILLARET, C.; HERVOUET, J.-M.; KOPMANN, R.; MERKEL, U. & DAVIES, A.G. 2013. Morphodynamic modeling using the Telemac finite-element system. *Computers & Geosciences*, 53:105–113.