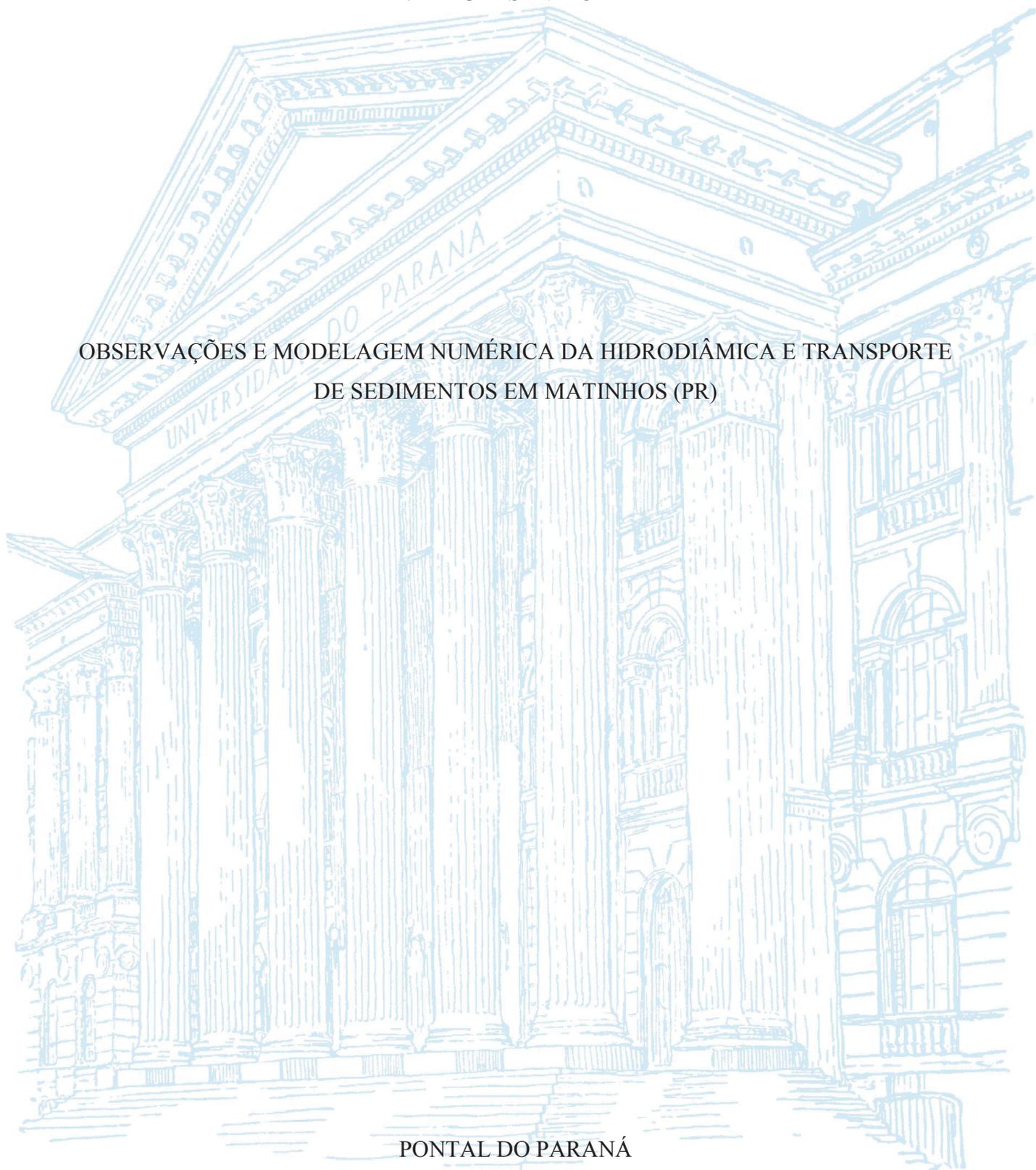


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DAVID LUERSEN MOREIRA

OBSERVAÇÕES E MODELAGEM NUMÉRICA DA HIDRODIÂMICA E TRANSPORTE
DE SEDIMENTOS EM MATINHOS (PR)



PONTAL DO PARANÁ

2019

DAVID LUERSEN MOREIRA

OBSERVAÇÕES E MODELAGEM NUMÉRICA DA HIDRODINÂMICA E
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM MATINHOS (PR)

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos no curso de pós-graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Augusto Stefanelo Franz

PONTAL DO PARANÁ

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SiBi - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar
Fernanda Pigozzi – CRB 9/1151

Moreira, David Luersen
M838o Observações e modelagem numérica da hidrodinâmica e transporte de sedimentos em Matinhos (PR). / David Luersen Moreira. – Pontal do Paraná, 2019.
35 f.: il.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg.
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Augusto Stefanelo Franz.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Modelagem numérica. 2. Hidrodinâmica. 3. Transporte de sedimentos. I. Título. II. Noernberg, Maurício Almeida. III. Franz, Guilherme Augusto Stefanelo. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551

TERMO DE APROVAÇÃO

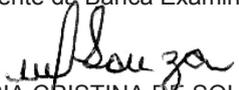
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DAVID LUERSEN MOREIRA**, intitulada: **OBSERVAÇÕES E MODELAGEM NUMÉRICA DA HIDRODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM MATINHOS (PR)**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de Mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

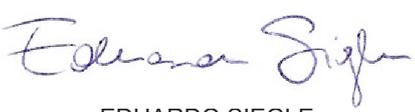
Curitiba, 29 de Março de 2019.



MAURICIO ALMEIDA NOERNBERG
Presidente da Banca Examinadora



MARIA CRISTINA DE SOUZA
Avaliador Externo (UFPR)



EDUARDO SIEGLE
Avaliador Externo (USP)

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo auxílio financeiro.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Mauricio Noernberg e Prof. Dr. Guilherme Franz por toda ajuda e paciência, sem as quais não teria sido possível realizar este trabalho.

Aos meus companheiros de pós-graduação e LOCG, Diana, Lígia, Lucas e Nicole por toda a ajuda, apoio e companhia durante inúmeras manhãs, tardes, noites e madrugadas no laboratório.

A todos os funcionários e professores do CEM, que direta e indiretamente contribuíram muito para a realização deste trabalho.

A PGSISCO por todo suporte logístico e estrutura.

E, finalmente, agradeço a minha mãe Suzan, ao meu padraastro Nico, a minha irmã Natália, aos anjinhos Lis, Otto e Aurora, a minha avó Cecília e ao meu avô Henrique, que fisicamente não pode acompanhar a reta final deste trabalho mas que esteve presente comigo o tempo todo. Sem vocês nada disso jamais poderia ter sido possível.

RESUMO

O município de Matinhos sofre regularmente com a erosão costeira e não possui planos de manejo adequados para contorná-la. No presente estudo, foi aplicada uma metodologia que uniu dados coletados em campo e modelagem numérica computacional para simular os processos físicos ocorridos no litoral de Matinhos durante o inverno de 2018. Foram feitos levantamentos mensais da topografia da praia com auxílio de DGPS entre junho e setembro, e utilizados resultados de onda obtidos por meio dos modelos WAVEWATCH III e SWAN. O sistema de modelagem computacional tridimensional MOHID foi utilizado para simular os fenômenos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos. Durante o inverno de 2018, Matinhos experimentou condições energéticas moderadas, não apresentando eventos erosivos significativos e uma corrente de deriva longitudinal residual no sentido sudoeste (SW). A mudança morfológica mais significativa na área foi de acreção na ordem de 1 m junto ao Pico de Matinhos, o que está de acordo com a direção da corrente longitudinal média do período. As tendências de transporte apresentaram boa relação com as mudanças ocorridas no perfil praial, demonstrando a importância da utilização de modelagem numérica na compreensão dos processos costeiros. Este estudo surge como um acréscimo no entendimento dos processos costeiros locais mostrando como os fenômenos de escala sazonal devem ser levados em consideração no manejo costeiro local.

Palavras-chave: Processos Costeiros 1. Modelagem Numérica 2. MOHID 3. Manejo Costeiro 4. Transporte de Sedimentos 5.

ABSTRACT

The city of Matinhos frequently experiences coastal erosion although not having appropriated coastal management plans. In the present study, a methodology combining *in situ* measurements and numerical modeling was applied to simulate the physical processes in Matinhos coastal area during the winter period of 2018. To do so, monthly DGPS surveys were made in the study area from June to September and wave data were obtained from WAVEWATCH III and SWAN models. The 3-D modeling system MOHID was applied to simulate hydrodynamics and sediment transport. During the winter of 2018, Matinhos experienced moderate energetic conditions without any significant erosion events and presenting a southwestward littoral drift current. The most significant morphological change verified was an accretion in order of 1 m next to rocky point Matinhos' Peak, which is in agreement with the mean longitudinal current. The sediment transport trend presents a strong relation with the beach profile changes thus highlighting the importance of numerical modeling on the coastal processes' comprehension. This paper arises as a contribution to the understanding of the local coastal dynamics highlighting the importance of the seasonal processes in the decision making and coastal management.

Keywords: Coastal Processes 1. Numerical Modeling 2. MOHID 3. Coastal Management 4. Sediment Transport 5.

SUMÁRIO

Hydrodynamics and sediment transport in Matinhos beach – Brazil, numerical modelling and observations.....	4
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 ÁREA DE ESTUDO.....	7
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
3.1 LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS E BATIMÉTRICOS.....	8
3.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	9
3.3 CONFIGURAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO COMPUTACIONAL.....	10
3.4 DADOS DE ONDA DE VENTO.....	11
3.5 PARÂMETROS SEDIMENTOLÓGICOS.....	12
4 RESULTADOS.....	12
4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
4.2 MARÉS E ONDAS.....	16
4.3 HIDRODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	23
5 DISCUSSÃO.....	30
6 CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS.....	33

Hydrodynamics and sediment transport in Matinhos beach – Brazil, numerical modelling and observations

Observações e modelagem numérica da hidrodinâmica e transporte de sedimentos em Matinhos (PR)

Revista pretendida: Brazilian Journal of Oceanography, ISSN (1679-8759), Fator de Impacto (JCR, 2017) = 0,43, Qualis CAPES = Estrato B3.

* David Luersen Moreira ¹, Mauricio A. Noernberg ², Guilherme A. S. Franz ²

¹ Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos (PGSISCO), Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 61, 83255-976, Pontal do Paraná, PR, Brazil.

² Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 61, 83255-976, Pontal do Paraná, PR, Brazil.

Corresponding authors

E-mail addresses: * davidlmoreira@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

As áreas costeiras com praias arenosas são altamente ocupadas e desenvolvidas devido aos benefícios estéticos e ao conforto (amenidades) que proporcionam (LUIJENDIJK *et al.*, 2018). Estas áreas possuem um alto valor turístico agregado (PHILLIPS E JONES, 2006; HOUSTON, 2013), sendo responsáveis pela atração de milhões de pessoas para áreas litorâneas, principalmente durante o período do verão. O Brasil, por ser um país com uma extensa linha de costa e clima predominantemente tropical e subtropical, possui muitas cidades litorâneas que dependem economicamente do turismo. Assim, qualquer fenômeno que impacte negativamente as praias arenosas, restringindo os usos destes ambientes, causa prejuízos de diversas naturezas, inclusive financeiros.

A erosão, característica natural da dinâmica das praias arenosas, em áreas que estejam sob ocupação humana, é caracterizada como um risco costeiro (GRIGGS, 1996) e possui três características principais: a perda de área com valor econômico significativo, a destruição do sistema de defesas naturais (como as dunas) e o comprometimento dos sistemas de proteção costeira artificiais, aumentando os riscos de inundação (ALEXANDRAKIS *et al.*, 2015). Estes três pontos demonstram que a realização de intervenções para proteger as praias arenosas, minimizando os efeitos da erosão, é indispensável do ponto de vista antrópico.

As principais opções de intervenções na costa são a defesa do litoral por meio de estruturas costeiras (*hard engineering*) ou a alimentação artificial da praia (*soft engineering*), a adaptação das propriedades existentes para minimizar os danos, a utilização de políticas de recuo controlado (*Managed Retreat*) e/ou o abandono da área em questão (WILLIAMS *et al.*, 2017). Entretanto, todas essas mudanças, exceto a defesa do litoral com medidas de engenharia, implicam em alterações significativas no estilo de vida das populações, o que não é simples de ser executado, tornando as medidas de engenharia uma solução quase inevitável no manejo e proteção da costa ao redor do mundo (PRANZINI *et al.*, 2015; NORDSTROM, 2014).

As estruturas costeiras, no entanto, podem implicar em diversos resultados adversos alheios à proteção, incluindo a acelerada erosão na base da estrutura e em seus trechos adjacentes, a diminuição da praia e redução da sua disponibilidade de sedimentos, a alteração do transporte longitudinal de sedimentos na praia, o acesso restrito do público, potenciais riscos aos banhistas e efeitos visuais negativos na área praial (GRACIA *et al.*, 2018). Em razão dessas características, o emprego de estruturas costeiras, quando inadequadas, pode não ser efetivamente a solução do problema, sendo muitas vezes um agravante ou, até mesmo, gerando problemas diferentes. (VAN RIJN, 2011; DUGAN, 2008).

Outra característica particular das áreas costeiras é a diversidade de atores envolvidos, muitas vezes com interesses diferentes ou contrários (COOPER E MCKENNA, 2008). A variedade de fatores físicos e pressões sociais explicita a dificuldade envolvida na tomada de decisão nas áreas litorâneas (BILLÉ, 2008), fazendo com que o entendimento dos processos da dinâmica costeira seja um pré-requisito, para tentar alcançar o seu desenvolvimento sustentável (RAMAKRISHNAN *et al.*, 2017) e minimizar os riscos de intervenções falhas ou ineficientes.

O município de Matinhos, litoral do Paraná, sul do Brasil (Figura 1), teve uma intensa ocupação urbana desde a década de 1950, período no qual não existiam normas de ocupação apropriadas e foram construídas casas e ruas sobre a porção superior da praia (SAMPAIO, 2006). Além disso, com o intuito de proteger as áreas ocupadas, foi construída uma proteção de enrocamento ao longo da costa na década de 90 (ANGULO *et al.*, 2016). A presença destas estruturas, especialmente a proteção longitudinal de enrocamento, alterou a dinâmica natural da praia, desencadeando processos erosivos que perduram até os dias de hoje e permanecem sem solução (BESSA JR., 2003; ANGULO *et al.*, 2016; NOVAK *et al.*, 2016).

Os efeitos das proteções longitudinais à costa são relativamente bem estudados (KRAUS E MCDOUGAL, 1996; GRIGGS, 2005) e alguns deles são identificados na área de estudo como a redução da faixa de areia, o “aprofundamento” da praia em frente à estrutura, prejuízos visuais, dificuldade de acesso e a redução do estoque de sedimento disponível para a praia (ANGULO *et al.*, 2016). Alguns setores da praia se encontram completamente submersos em regimes de maré alta, possibilitando a interação direta das ondas com a proteção. Esta estrutura é rotineiramente destruída durante eventos de alta energia, deixando a infraestrutura local vulnerável a danos.

Matinhos, a exemplo do litoral brasileiro em geral, não possui muitos estudos detalhados sobre os processos hidrodinâmicos e morfológicos que determinam o comportamento dinâmico de suas praias. Desta forma, o objetivo principal deste estudo foi entender os processos físicos que ocorrem na sua região costeira, no período sazonal de inverno de 2018, por meio de uma metodologia capaz de auxiliar na quantificação de alterações morfológicas e na compreensão da dinâmica do transporte de sedimentos. Foram realizados levantamentos altimétricos e batimétricos, bem como análises da variação granulométrica do sedimento presente na praia. Modelos computacionais foram utilizados para simulação de ondas, hidrodinâmica e transporte de sedimentos. Este tipo de ferramenta numérica permite estudar em detalhe os processos físicos relevantes e avaliar o impacto de diferentes cenários como a construção de estruturas costeiras ou a alimentação artificial da praia, que são importantes ferramentas do manejo costeiro.

O trabalho está dividido em 5 seções. A área de estudo está caracterizada na seção 2. O método de obtenção de dados e os detalhes da modelagem numérica empregada estão descritos na seção 3. Os resultados dos dados coletados *in situ* e da modelagem computacional são apresentados na seção 4. A integração dos diferentes resultados e inferências sobre os processos físicos na área são discutidos na seção 5. As conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros estão presentes na seção 6.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na cidade de Matinhos ($25^{\circ} 49' 8''$ S e $48^{\circ} 32' 29''$ W), litoral sul do Brasil, com aproximadamente 6 km de extensão no sentido longitudinal à costa e 3 km transversal à costa até a isóbata de 10 m, sendo o Pico e a Praia de Matinhos as partes mais ao sul do arco praial Matinhos – Pontal do Sul (Figura 1). O Pico de Matinhos é caracterizado como um pontal rochoso que faz a divisão entre as praias Brava de Caiobá, ao sul, e de Matinhos, ao norte. Matinhos, assim como todo o litoral paranaense, tem como seu principal recurso turístico as praias arenosas, responsáveis pela atração de milhares de pessoas que todos os anos movimentam a economia local durante a temporada de verão (ANGELOTTI E NOERNBERG, 2010).

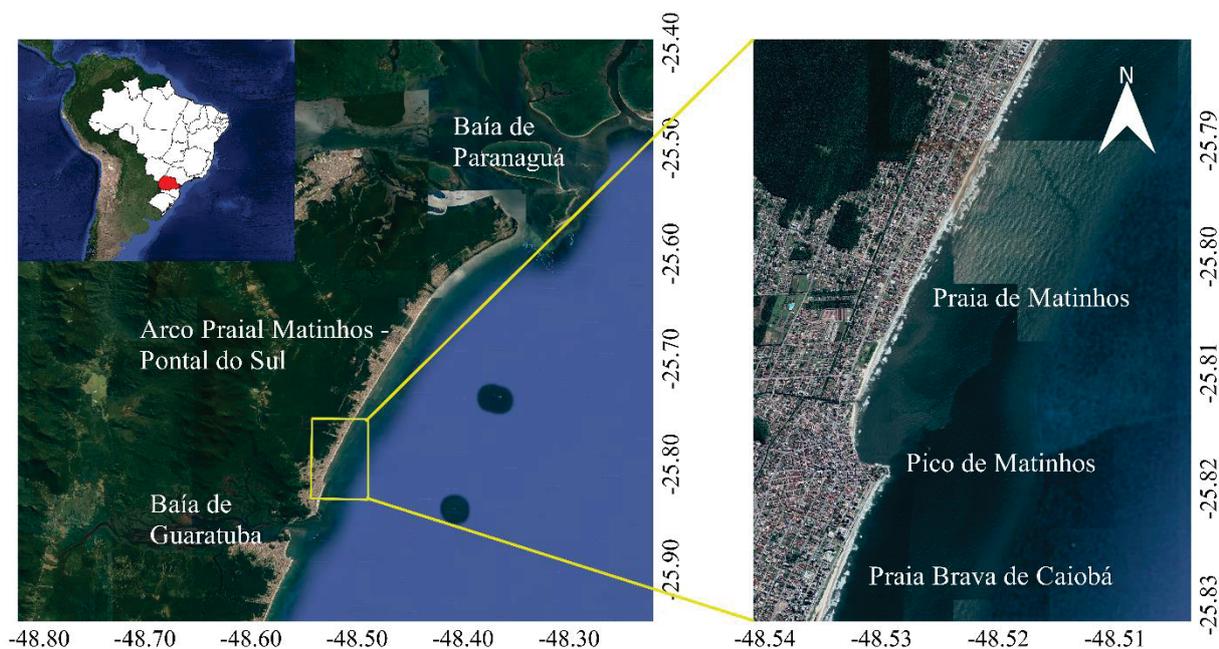


Figura 1. Imagem de satélite (Landsat 2019) representando o arco praial Matinhos – Pontal do Sul e as praias Brava e de Matinhos do município de Matinhos.

O arco praial Matinhos – Pontal do Sul possui uma extensão de aproximadamente 34,5 km e está localizado na região central do litoral paranaense, entre as Baías de Guaratuba e

Paranaguá. Este apresenta uma forma retilínea com uma dinâmica relativamente simples (ANGULO, 2011) e tem seu comportamento regido predominantemente pelo regime de ondas (ANGULO *et al.*, 2016), que é caracterizado majoritariamente por ondas de alta frequência formadas por ventos próximos à costa, cuja direção predominante de propagação na plataforma interna é SSE (NEMES E MARONE, 2013). A corrente de deriva longitudinal predominante no arco flui majoritariamente no sentido NE (BIGARELLA *et al.*, 1978) e seu regime de maré é definido como de micromaré de amplitude de 1,5 m (MARONE *et al.*, 1995).

No norte do arco praial as praias apresentam grande extensão, evidenciando a preservação das características e feições naturais. Esta extensão vai sofrendo um gradual estreitamento em direção ao sul, não apresentando mais o pós-praia em grande parte da sua porção sul mais extrema, que é, justamente, a área de maior intervenção antrópica e altamente urbanizada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS E BATIMÉTRICOS

A metodologia aplicada para os levantamentos topográficos e batimétricos (FERREIRA *et al.*, 2014) foi realizada com três receptores GNSS Leica Viva GS15 coletando dados simultaneamente no método relativo cinemático pós-processado. Um destes receptores foi utilizado como estação de referência, ou estação base, sobre a referência de nível (RN) IBGE 2049V de coordenadas geodésicas conhecidas, localizada dentro do Hotel SESC Caiobá – Matinhos/PR. Os outros dois receptores foram utilizados como estações móveis para obter os dados altimétricos na região emersa da praia, por meio do método de caminhamento (Figura 2). A mesma metodologia foi empregada para os levantamentos batimétricos, nos quais foi utilizado, na embarcação, em conjunto com a estação móvel, um ecobatímetro modelo Garmin echoMAP CHIRP 42dv, sendo que os dados de ambos os dispositivos foram sincronizados a partir do seu horário de obtenção (Figura 2). As alturas geométricas dos dados foram obtidas no sistema de coordenadas WGS84 e, posteriormente, convertidas para alturas ortométricas com as alturas geoidais extraídas do modelo geoidal MAPGEO 2010 (IBGE, 2018).

O intervalo de captação dos dados altimétricos foi de 1 s, totalizando, em média, 21.000 pontos por campanha. Os caminhamentos foram todos realizados durante a baixamar em regimes de maré de sizígia. Em abril de 2018, foram coletados os dados batimétricos utilizados

neste trabalho. Os dados topográficos foram coletados mensalmente entre os meses de junho e outubro de 2018.

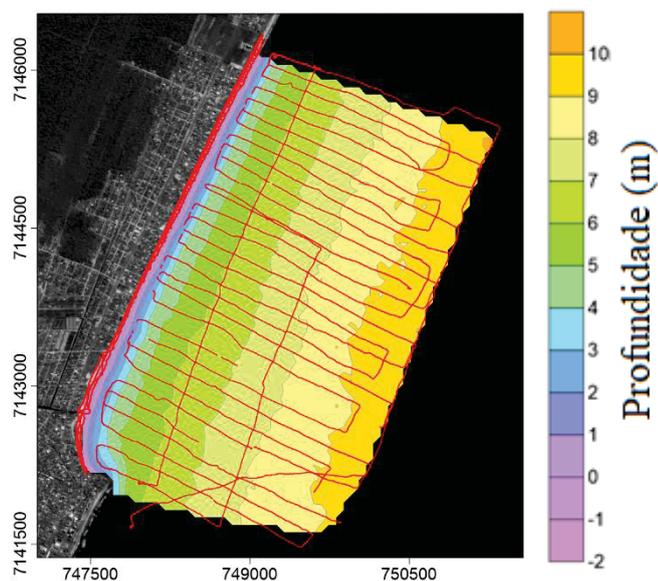


Figura 2. Levantamento topográfico da região praial realizado dia 16/07 juntamente com o levantamento batimétrico realizado dia 12/04 e modelo digital do terreno até a cota batimétrica de 10 m de profundidade. O sistema de coordenada é WGS84 / UTM 22S.

A topografia correspondente ao primeiro grupo de dados coletados na área de estudo foi utilizada para gerar um modelo digital de terreno por meio do software *Golden Software SURFER TM* (Figura 2). O método de interpolação utilizado foi o de triangulação com interpolação linear, com resolução da malha de 5 m no sentido transversal à praia e de 10 m no sentido longitudinal da praia.

3.2 MODELAGEM NUMÉRICA COMPUTACIONAL

A modelagem numérica computacional da hidrodinâmica e do transporte de sedimentos da área de estudo foi feita por meio do sistema de modelagem computacional MOHID (LEITÃO *et al.*, 2008; MARETEC, 2017) acoplado ao modelo de ondas SWAN (BOOIJ *et al.*, 1999), seguindo a metodologia descrita em Franz *et al.* (2017a).

O MOHID, abreviação de Modelo Hidrodinâmico, é um sistema de modelagem computacional tridimensional composto de diferentes módulos integrados desenvolvido pelo Centro de Pesquisa e Tecnologia Marinha e Ambiental (MARETEC – *Marine and Environmental Technology Research Center*) do Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade de Lisboa, Portugal. Este permite simulações como as de fluxos hidrodinâmicos,

do transporte de propriedades constituintes da água (como salinidade e calor), do transporte de sedimentos, de processos ecológicos e de parâmetros da qualidade da água (MARETEC, 2017).

O MOHID utiliza o método de volumes finitos para a resolução das equações e tem seu código escrito na linguagem ANSI FORTRAN 95. O seu módulo hidrodinâmico resolve as equações primitivas de continuidade e de momento, resolve o campo de velocidades tridimensional até a elevação de superfície para fluidos incompressíveis, assume a condição de equilíbrio hidrostático e as aproximações de Boussinesq e Reynolds (MARTINS, 2000; LEITÃO, 2003). O modelo de turbulência considerado, que é importante na simulação da viscosidade turbulenta vertical, é o GOTM (*General Ocean Turbulence Model*) (UMLAUF *et al.*, 2018).

O transporte de sedimentos não coesivos é dividido em transporte em suspensão e de fundo (FRANZ *et al.*, 2017b). O transporte em suspensão é feito a partir da resolução das equações de advecção/difusão e o transporte de fundo, sob o efeito de ondas e correntes, é resolvido seguindo a formulação semi-empírica de Soulsby e Damgaard (2005) (FRANZ *et al.*, 2017a).

3.3 CONFIGURAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO COMPUTACIONAL

Foram utilizados dois domínios de simulação em um método de aninhamento para os processos físicos da área de estudo. O primeiro domínio, de menor resolução, cobre a desembocadura da baía de Guaratuba até além da fronteira norte da área de interesse, que cobre o Pico e a porção sul da Praia de Matinhos, fornecendo as condições de contorno ao segundo domínio. O primeiro será chamado de domínio de Guaratuba e o segundo, de maior resolução e representando especificamente a área de interesse, será chamado de domínio de Matinhos. As simulações foram feitas em duas dimensões com altura integrada (2DH) com classes de sedimento (D50) variáveis (seção 3.5). O comprimento da rugosidade de fundo (z_0) utilizado foi de 2.5 mm. O modelo de fechamento $k-\varepsilon$ para computar a viscosidade vertical foi utilizado com a parametrização padrão do MOHID e a viscosidade horizontal utilizada foi de $0.5\text{m}^2\text{s}^{-1}$.

O domínio de Guaratuba é representado por uma malha retangular com 250 células no sentido longitudinal à costa e 240 células no sentido transversal. A resolução das células no sentido longitudinal é uniforme e tem o valor de 50 m e a resolução das células no sentido transversal é variável, tendo valores mínimos de 10 m próximo à costa e chegando a 100 m no sentido ao oceano aberto. Este modelo foi forçado pelos parâmetros horários de onda (altura significativa, direção, comprimento, período médio, velocidade orbital de fundo e estresse de

radiação) obtidos a partir do modelo SWAN, representando a costa do Paraná (seção 3.4), e pelos dados horários do nível da água obtidos pelo modelo MOHID implementado para a costa dos estados do Paraná e Santa Catarina pelo Centro de Estudos do Mar, no âmbito do projeto “Sea Observatory and operational modelling system for the south-eastern Brazilian shelf” (BSO, 2019). Os níveis de água foram validados com dados do marégrafo SIMCosta da baía de Guaratuba e representam somente a maré astronômica. A vazão oriunda da baía de Guaratuba não foi considerada.

O domínio de Guaratuba forneceu as condições de contorno referentes ao nível da água, velocidade de corrente (dividida no modelo em componentes u e v) e parâmetros de onda, citados anteriormente, ao modelo de maior resolução. Este domínio evita a criação de “zonas de sombra” para os parâmetros hidrodinâmicos nas fronteiras do domínio de Matinhos e porque representa, em sua área, o delta de maré de vazante da Baía de Guaratuba, que serve como barreira para ondulações vindas do sul, dissipando parte da energia incidente na área de estudo. Não foi considerado nenhum aspecto envolvendo sedimentos no domínio de Guaratuba, apenas aspectos hidrodinâmicos.

O domínio de Matinhos possui maior resolução, visando representar melhor os processos hidrodinâmicos e de transporte de sedimento na zona de surfe e na região da praia emersa. A sua malha retangular é composta por 236 células no sentido longitudinal de resolução uniforme de 20 m. No sentido transversal à praia, a malha possui 238 células retangulares com resolução variável, tendo o mínimo de 5 m nas regiões da praia emersa e zona de surfe e 45 m na região mais distante em direção ao mar aberto.

3.4 DADOS DE ONDAS DE VENTO

Os parâmetros do regime de ondas foram obtidos a partir do modelo de ondas WAVEWATCH III (WWIII) (TOLMAN *et al.*, 2002; TOLMAN, 2009) forçado com os dados de vento obtidos do *Global Forecast System* – GFS (NOAA, 2018) e do modelo de ondas SWAN, em uma metodologia de aninhamento.

Foram utilizados três modelos WAVEWATCH III, sendo o de menor resolução a representação de todo o setor sul do Oceano Atlântico, com resolução espacial de $0,5^\circ$; o modelo intermediário representa a costa de todo o Brasil, com resolução espacial de $0,125^\circ$; e o de maior resolução, a plataforma da região sudeste do Brasil, com resolução de $0,025^\circ$. O modelo SWAN de menor resolução, com células uniformes de 500 m, representa a costa do Paraná. Os dados resultantes deste último foram comparados e calibrados em relação a dados

in situ obtidos por meio da boia SiMCOSTA PR-2, localizada no município de Pontal do Paraná, nas coordenadas 25°39,77' S, 48°19,46' W, durante o ano de 2014. Os modelos correspondentes aos domínios de Guaratuba e Matinhos possuem modelos de ondas SWAN acoplados ao MOHID.

3.5 PARÂMETROS SEDIMENTOLÓGICOS

Os parâmetros sedimentológicos inseridos no modelo computacional foram obtidos a partir de coletas superficiais na área de estudo e analisados em granulômetro laser MICROTAC Bluewave. A coleta de sedimentos foi realizada no pós-praia, região média da face praial e próximo à zona de arrebentação de quatro perfis diferentes, equivalentes aos perfis II, III, IV e V da figura 3. A partir disto, foram obtidos os valores de diâmetro médio (D50) da parte emersa da praia. Os valores de D50 da região submersa da área foram extraídos de Veiga (2004).

Para obter uma distribuição granulométrica de maior resolução para a área de estudo, o modelo do domínio de Matinhos foi aquecido durante um período de 7 dias com um fator de aceleração morfológica (MORFAC) de 365, equivalendo a um período de 7 anos de simulação. Neste aquecimento, foram inseridos os diâmetros médios obtidos a partir das amostras e não foi permitida a ocorrência de alterações batimétricas (FRANZ *et al.*, 2017b). Os resultados do modelo foram comparados aos dados obtidos *in situ* para fins de validação.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A localização dos perfis de praia escolhidos para representar as alterações morfológicas na região emersa da área de estudo são mostrados na Figura 3 e os perfis mensais (em corte), correspondentes ao período de simulação de junho a setembro de 2018, na Figura 4. Os Perfis II, III, IV e V foram escolhidos de acordo com os locais de coleta de sedimento e o Perfil I foi escolhido por representar uma área específica de interesse próxima ao Pico de Matinhos. A distância de fechamento em direção ao oceano aberto do modelo digital de terreno (MDT) e dos perfis foi escolhida de acordo com o levantamento topográfico que teve o menor número de pontos coletados, fato que justifica o comprimento reduzido do Perfil I. A distância de fechamento em direção ao continente foi feita baseada em barreiras físicas não dinâmicas do ponto de vista morfológico (rochas, vegetação e muro de enrocamento). Ao analisar os perfis e

o MDT, é recomendável considerar um erro médio de aproximadamente 10 cm para mais ou para menos na altura, devido a falhas e imprecisões associadas ao método de caminhamento utilizado nos levantamentos topográficos.

A porção da praia adjacente ao Pico de Matinhos, na extremidade sul da área de estudo, está representada pelo Perfil I. Nesta região, a parte superior da praia fica em contato direto com a rocha, que atua como uma barreira natural à incidência direta de ondas vindas do quadrante leste-sul. Nota-se que, durante os meses de junho e julho, todo perfil praial ficava completamente submerso durante a preamar de sizígia, o que foi se alterando nos meses subsequentes pela acreção ocorrida.

Mais ao norte do Pico e adjacente ao Rio Matinhos está traçado o Perfil II, em uma área onde os pescadores locais deixam suas embarcações e não possui nenhuma estrutura rígida que impeça o fluxo transversal e longitudinal de sedimentos. Está também na zona de sombra do Pico de Matinhos.

A região da área de estudo que mantém as características morfológicas da praia mais próximas às naturais, inclusive tendo algumas pequenas dunas na sua porção superior (não evidenciadas no perfil), se trata de uma área recuperada graças à remoção de uma ocupação irregular ocorrida no início dos anos 2000 (ANGULO *et al.*, 2016) e está representada pelo Perfil III.

A região mais alterada e urbanizada da área de estudo está representada pelo Perfil IV, em uma área onde está construída a avenida Beira-Mar e o muro de enrocamento. O perfil mostra o aprofundamento da praia em relação aos demais. Também é possível ver, de maneira geral, como a faixa de areia é encurtada e praticamente inexistente na preamar de sizígia.

A porção mais ao norte da área de estudo, apesar da presença da avenida Beira-Mar, apresenta características menos alteradas que a região representada pelo Perfil IV, apresentando pequenas extensões de pós-praia. Isto pode estar associado ao fato de não possuir o muro longitudinal de enrocamento e a avenida Beira-Mar estar construída em uma parte menos dinâmica da praia. Esta região está representada pelo Perfil V.

As diferenças verticais totais da área de estudo, entre junho e setembro, estão representadas por meio do MDT (Figura 3), em que as cores frias representam as variações positivas (acreção) e as cores quentes, variações negativas (erosão). A cor cinza representa o erro de 0,2 m citado anteriormente.

Os Perfis II, III, IV e V mostram que não houve mudanças morfológicas significativas na área durante o inverno de 2018. No entanto, flutuações de erosão e acreção podem ser identificadas entre os meses. Também não é possível inferir pelo MDT uma tendência geral de

erosão ou acreção de padrão espacial definido. A porção sul, representada pelo Perfil I, se difere do restante da área por apresentar uma clara tendência de acreção durante o período, com uma variação total na ordem de 1 m.

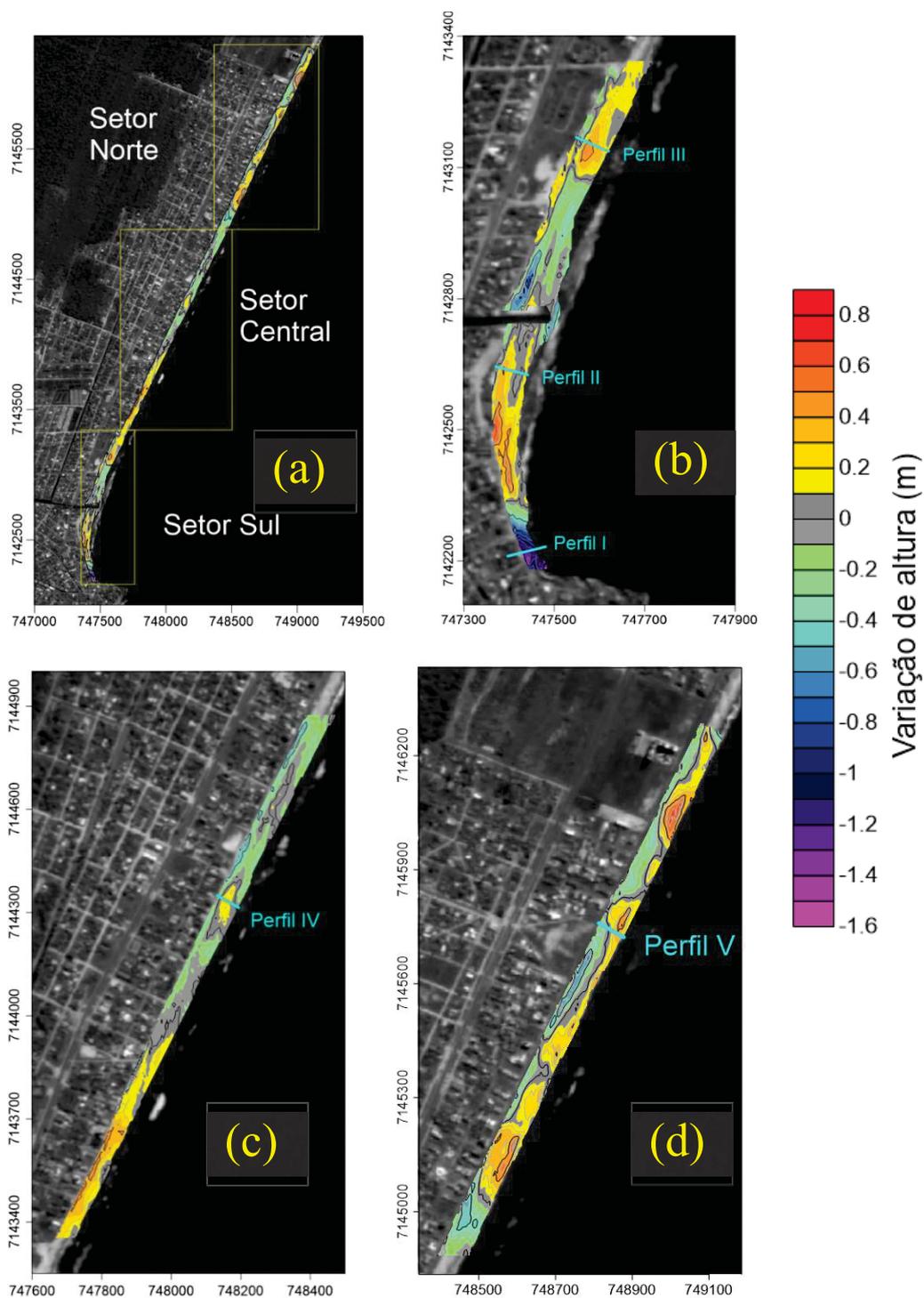


Figura 3. Modelo Digital de Terreno (MDT) da região praial, representando a variação da altura ocorrida entre os meses de junho e setembro de 2018. a) Área de Estudo. b) Setor Sul. c) Setor Central. d) Setor Norte. Sistema de coordenadas em WGS84 / UTM 22S.

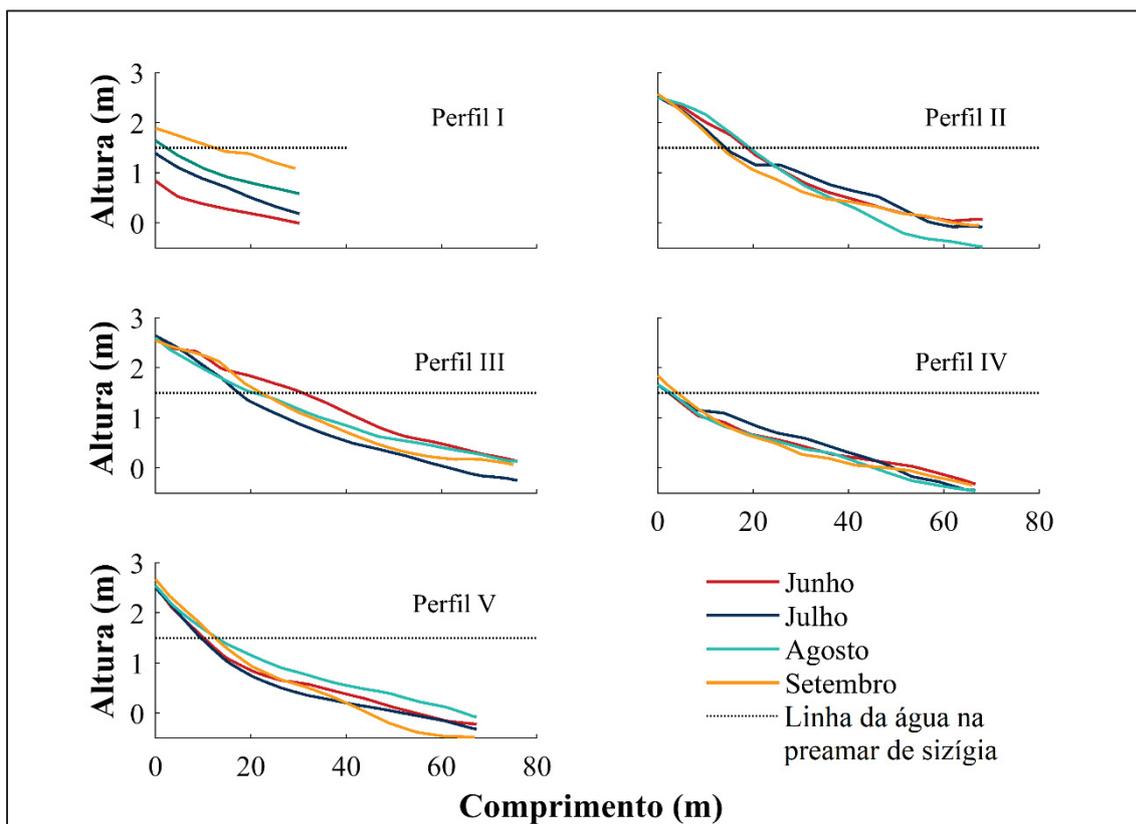


Figura 4. Perfis de praia entre os meses junho e setembro. A linha pontilhada preta representada a preamar de sizígia média de 1,5m.

Os sedimentos encontrados na área de estudo são classificados como areia fina e areia média, com valores de diâmetro médio (D50) que variam entre 0,18 mm e 0,3 mm (Figura 5).

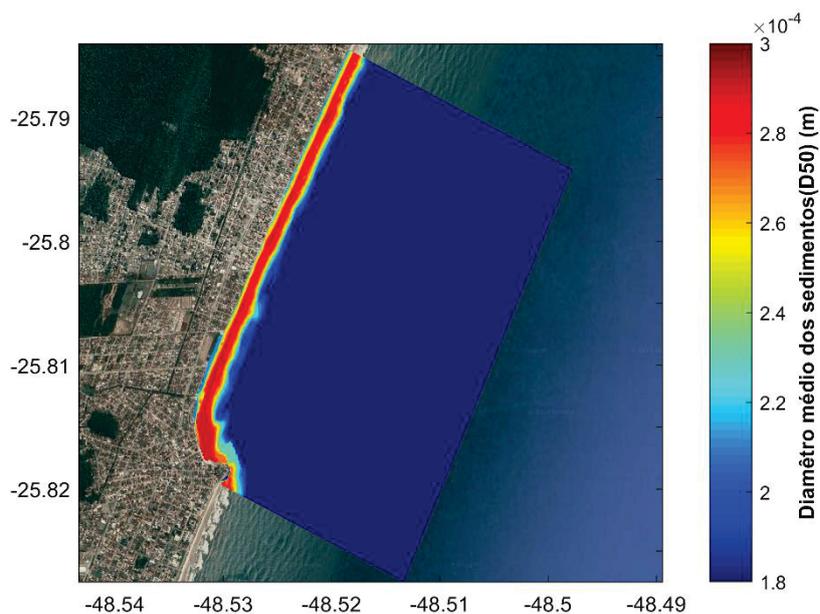


Figura 5. Diâmetro médio dos sedimentos no domínio de Matinhos a partir da simulação do MOHID durante 7 dias com fator de aceleração (MORFAC) de 365.

Os maiores valores de diâmetro foram encontrados próximos à zona de arrebentação, com um gradiente de diminuição tanto em direção ao pós-praia quanto ao oceano aberto, e os resultados do modelo e das coletas mostraram boa relação.

4.2 MARÉS E ONDAS

Os dados de nível de água inseridos como condição de contorno no modelo de simulação foram comparados e validados com os dados do Marégrafo SIMCosta da baía de Guaratuba (25°51'25'' S, 48°34'01'' W) para o período de 12/07/2018 até 11/08/2018. A comparação entre estes dados forneceu, para o marégrafo de Guaratuba, um valor de correlação igual a 0,95, de raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) igual a 0,11 e de R^2 igual 0,9 (Figura 6).

A comparação e calibração dos parâmetros de onda obtidos por meio dos modelos de simulação WAVEWATCH III e SWAN com a boia SIMCosta PR-2 foram feitas para altura significativa (H_s), direção média (D_m) e período médio (T_m). Foram utilizadas a correlação de Pearson, a Raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o coeficiente de determinação (R^2) na comparação (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação estatística entre os dados da boia SIMCosta com o modelo SWAN

	H_s	T_m	D_m
Correlação	0,78	0,63	0,68
RMSE	0,23	1,52	19,44
R^2	0,61	0,39	0,46

As alturas significativas de onda (H_s) simuladas e medidas pela boia SIMCosta mostraram bons resultados (Figura 7). Diferenças são identificáveis em alguns picos medidos pela boia e não simulados pelo modelo de ondas, o que pode estar relacionado com características particulares da batimetria da região. A diferença entre os períodos médios de onda pode estar relacionada com o intervalo de obtenção dos dados e diferentes formas de realizar a média horária (Figura 8).

A comparação entre a direção média de onda mostra que os valores medidos apresentam um desvio positivo em relação aos simulados (Figura 9). Os dados medidos, no entanto, apresentam valores de orientação de onda que, pelo posicionamento da boia, não são razoáveis para a localidade, como orientações de onda superiores a de 180°.

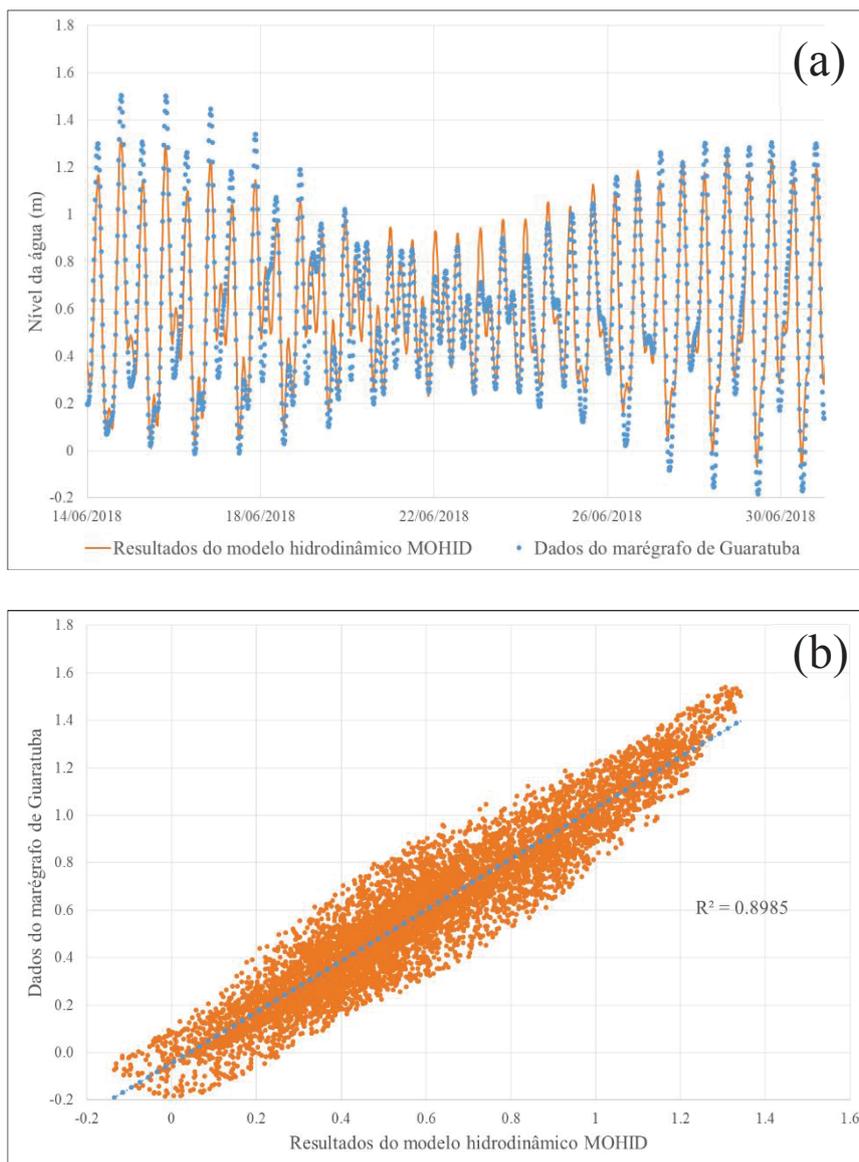


Figura 6. a) Performance do modelo hidrodinâmico MOHID em relação aos dados da maré astronômica medida pelo marégrafo SIMCosta da Baía de Guaratuba. b) Diagrama de dispersão com a comparação entre os dados do modelo hidrodinâmico e do marégrafo SIMCosta de Guaratuba.

Acredita-se que pode haver problemas de calibração da bússola do ondógrafo da boia (TRIAXYS), sendo responsável por parte do desvio apresentado. Sendo assim, possivelmente a correlação entre os dados de direção média de onda do modelo e os reais é maior do que a apresentada na comparação com a boia. Além das razões citadas anteriormente, há o erro de simulação associado ao acoplamento dos modelos WWIII e SWAN, como analisado por Mortock *et al.* (2014).

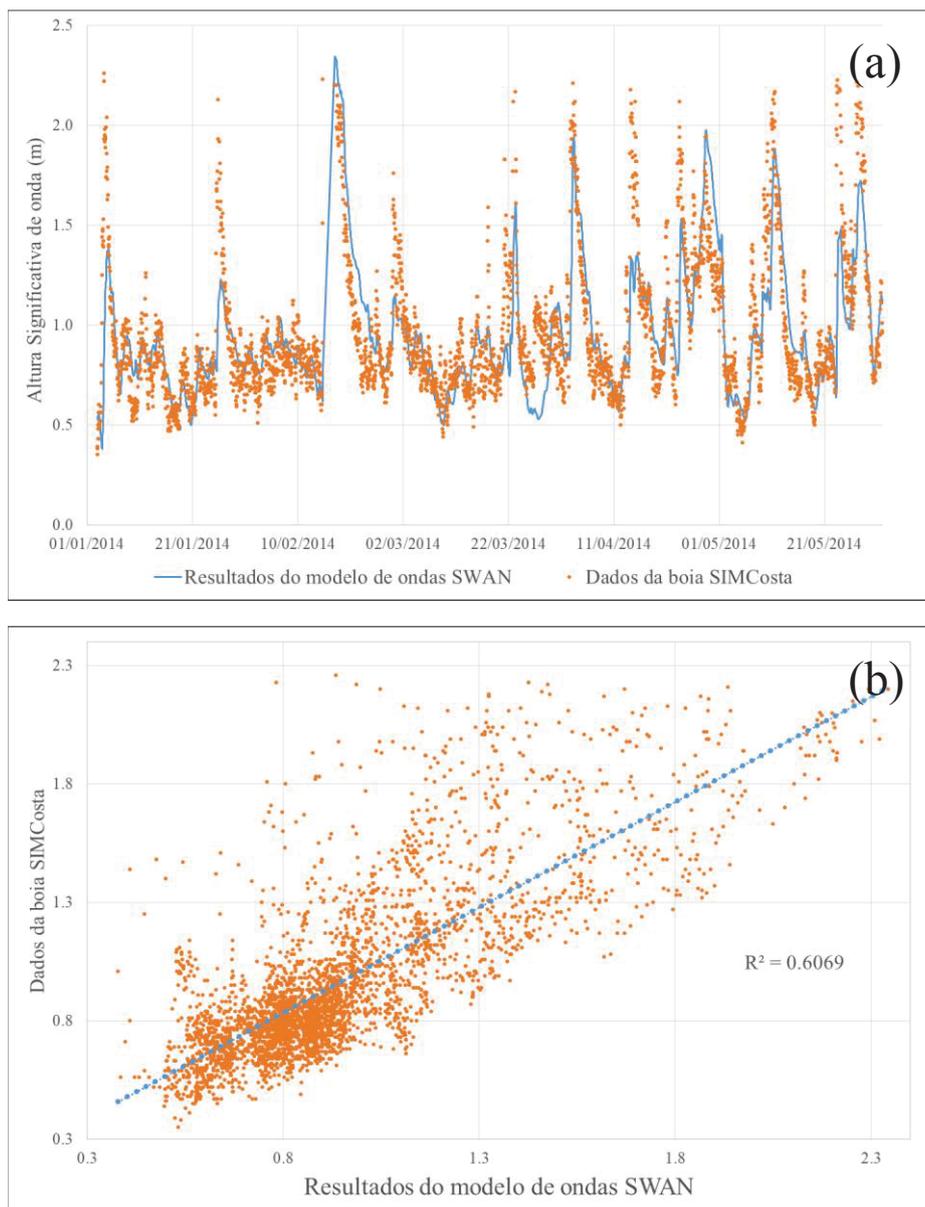


Figura 7. a) Performance do modelo de ondas em relação aos dados da boia SIMCosta PR-2 para Hs durante o período de simulação. b) Diagrama de dispersão da comparação entre os dados do modelo de ondas e da boia SIMCosta PR-2.

A altura significativa, juntamente com a direção média de onda na zona de arrebenção da parte central da área de estudo, e o período médio de onda na fronteira mais distante da costa do domínio de Matinhos, obtidos do modelo de ondas SWAN, são mostrados na Figura 10. Os histogramas direcionais de altura significativa de onda na fronteira mais distante da costa (Figura 11a) e próxima à zona de arrebenção (Figura 11b) evidenciam o fenômeno da refração que tende a deixar os trens de ondas incidentes perpendiculares à linha de costa, formando um ângulo de aproximadamente 114° na praia de Matinhos.

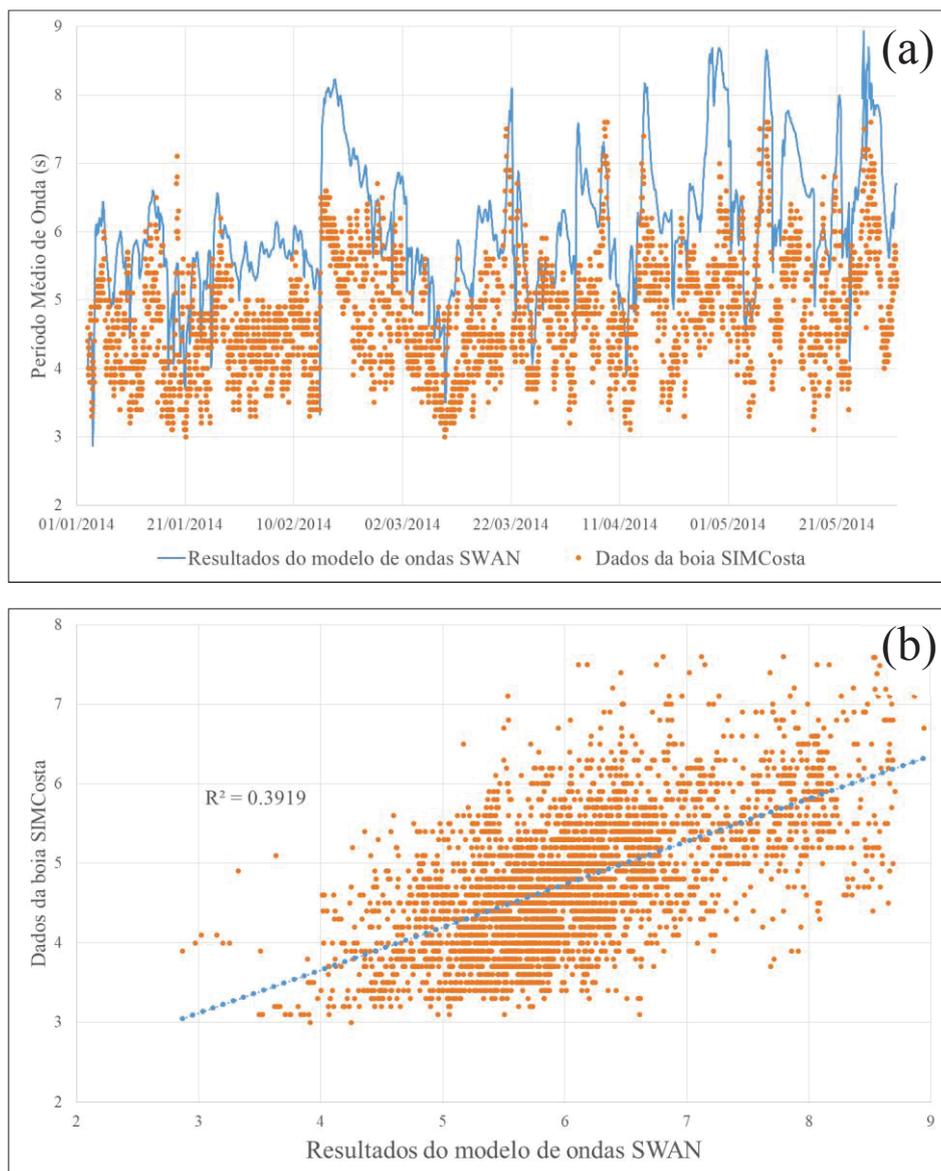


Figura 8. a) Performance do modelo de ondas em relação aos dados da boia SIMCosta para T_m durante o período de simulação. b) Diagrama de dispersão da comparação entre os dados do modelo de ondas e da boia SIMCosta

Os resultados de onda obtidos por meio da modelagem mostraram que o inverno de 2018 apresentou uma condição energética moderada, com a predominância de alturas significativas de onda na faixa de 1 m e apenas um evento onde as ondas excederam os 2 m. Os períodos de onda se mantiveram durante a maior parte do tempo entre 4 e 8 s.

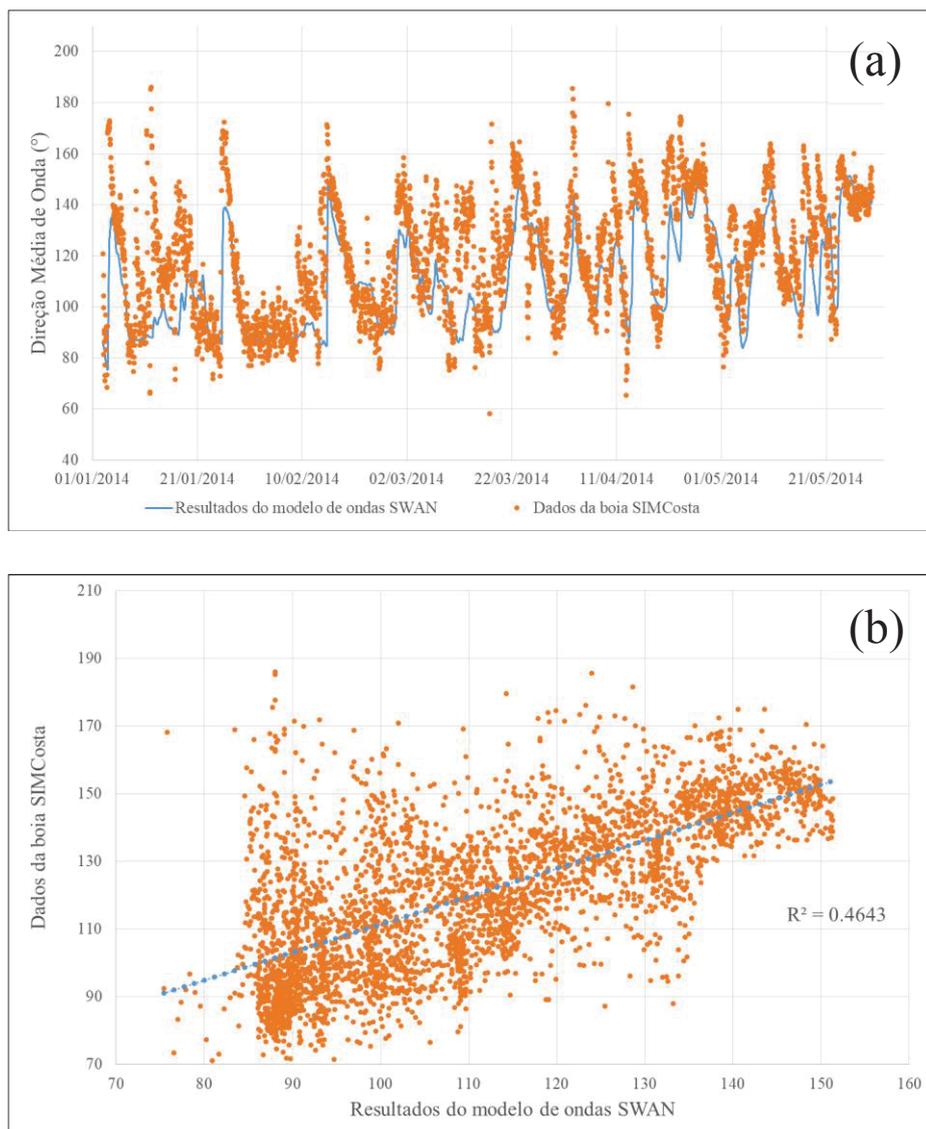


Figura 9. a) Performance do modelo de ondas em relação aos dados da boia SIMCosta para D_m durante o período de simulação. b) Diagrama de dispersão da comparação entre os dados do modelo de ondas e da boia SIMCosta

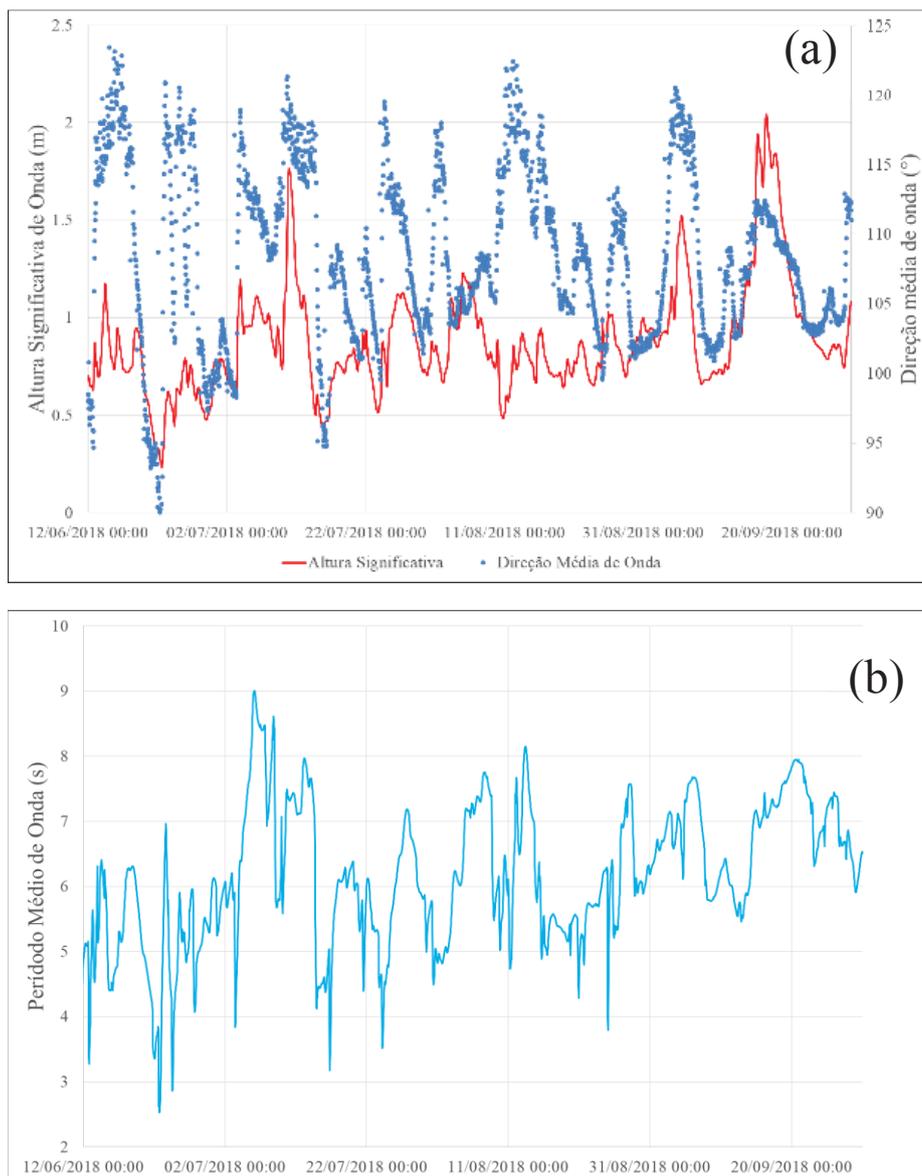


Figura 10. a) Alturas significativas de onda na fronteira mais distante da costa do domínio de Matinhos juntamente com as orientações de onda na zona de arrebenção. b) Período médio de onda na fronteira mais distante da costa do domínio de Matinhos

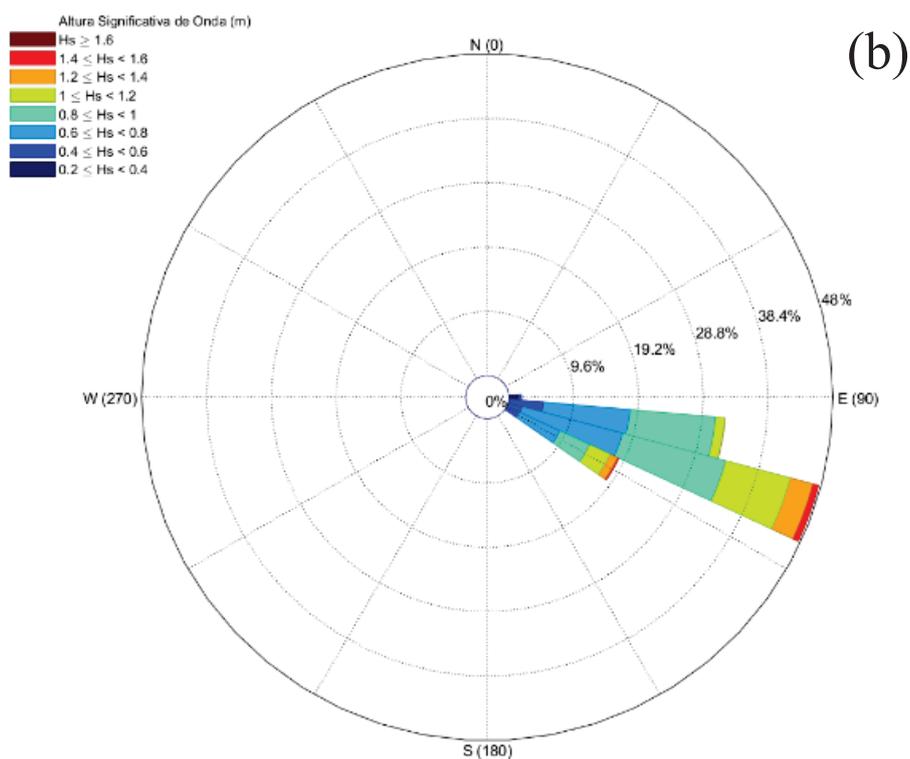
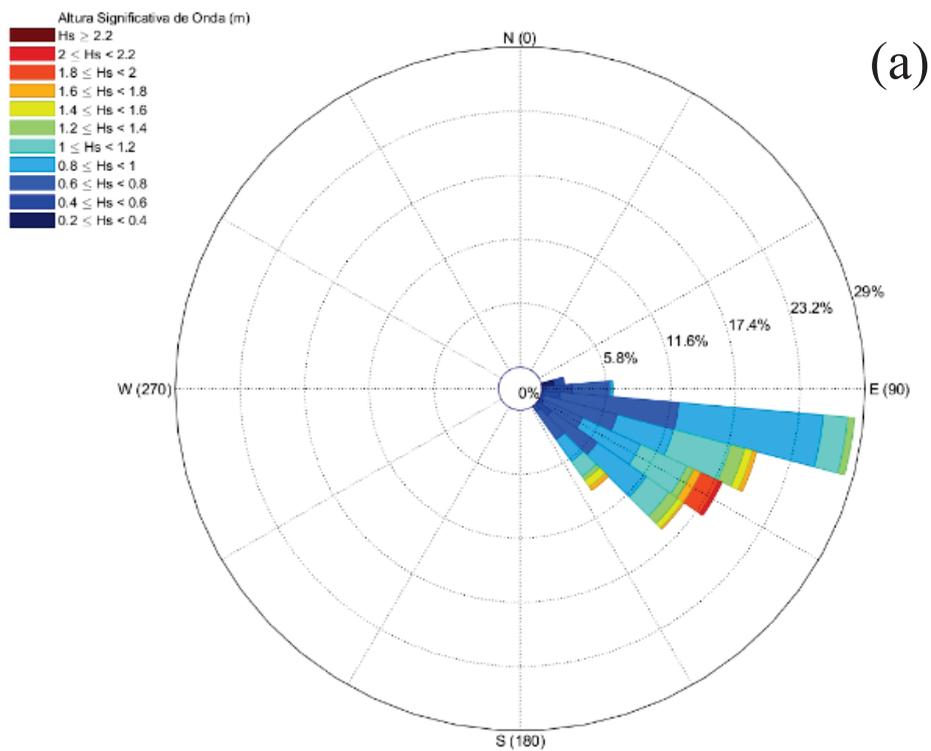


Figura 11. a) Histograma direcional de altura significativa de onda na parte central da fronteira mais distante da costa do domínio de Matinhos para o período de simulação. b) Histograma direcional de altura significativa de onda na zona de arrebentação na parte central da área de estudo.

4.3 HIDRODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

As médias das velocidades de corrente e transporte de sedimentos de fundo para todo o período de simulação, do dia 12/06/2018 ao dia 30/09/2018, estão mostradas na Figuras 12 e 13.

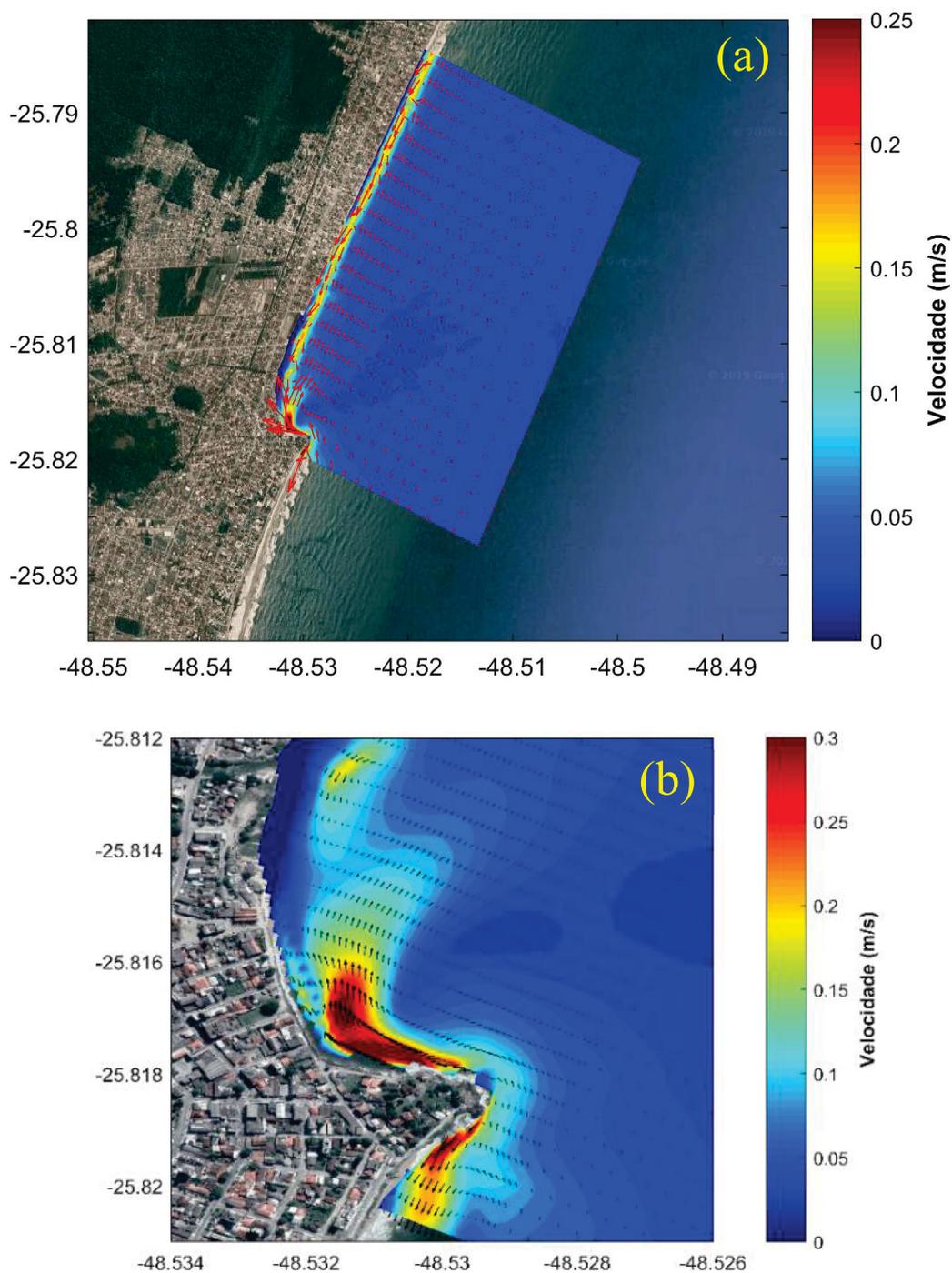


Figura 12. Médias das velocidades de fluxo para todo o período de simulação. a) Domínio de Matinhos. b) Aproximação do Pico de Matinhos.

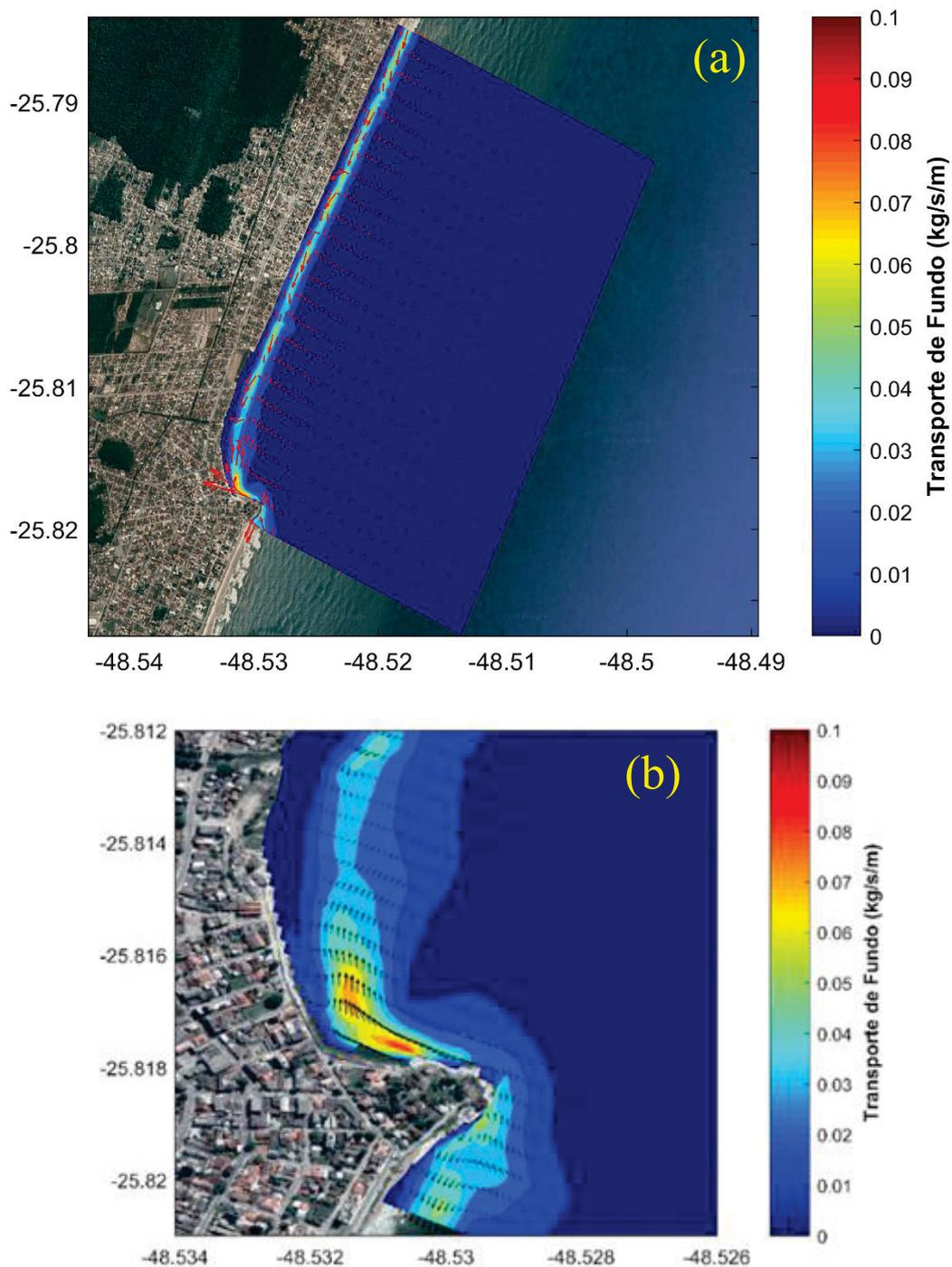


Figura 13. Médias da intensidade do transporte de sedimentos para todo o período de simulação. a) Domínio de Matinhos. b) Aproximação do Pico de Matinhos.

Os vetores de velocidade indicam que a direção média da corrente na zona de arrebentação da praia de Matinhos foi no sentido sudoeste (SW) com velocidades médias de 0,15 a 0,2 m/s (Figura 12a). Já na região próxima ao Pico (Figura 12b), as correntes médias geradas foram no sentido norte-nordeste (N-NE). Este fenômeno ocorre por causa da

convergência dos trens de onda no Pico, conforme a teoria da refração em pontais rochosos, causando um aumento da energia de onda (manifestado pelo aumento na altura) e, conseqüentemente, um aumento na intensidade das correntes geradas. Devido às direções contrárias das correntes da praia e do Pico, há a formação de uma região de convergência próxima à zona de arrebentação da porção imediatamente norte ao Pico (Figura 12b). Nota-se também que a força gerada pelas ondas que sofrem refração ligeiramente ao norte do Pico favorece uma recirculação na área, formando, inclusive, uma corrente em forma de jato direcionada para fora da zona de arrebentação. Na parte sul do Pico de Matinhos, na fronteira norte da praia Brava de Caiobá, é possível identificar uma zona de divergência entre as correntes geradas na zona de arrebentação, no sentido sudoeste (SW), e a corrente formada no Pico, sentido norte-nordeste (N-NE). As Figuras 13a e 13b mostram a intensidade do transporte de fundo de sedimento médio para a área durante o período de simulação.

Entretanto, ocorreram variações temporais no sentido da deriva litorânea durante o período de simulação, como é possível ver em dois momentos de maré de baixamar com uma altura significativa de onda (H_s) de 1,2m na fronteira mais distante da costa do domínio de Matinhos e correntes em sentidos inversos na zona de arrebentação (Figuras 14, 15, 16 e 17). O ângulo de incidência das ondas na fronteira mais distante da costa do domínio de Matinhos durante o evento 1 (Figuras 14 e 15) é de 131° e no evento 2 (Figuras 16 e 17), de 109° . Nota-se que a corrente gerada no Pico de Matinhos no evento 1 (Figura 14b) acompanha a direção da corrente gerada na Praia de Matinhos (Figura 14a) no sentido norte-nordeste (N-NE), tendo uma direção quase uniforme ao longo de toda a área de estudo. Esta situação não é verificada no evento 2, quando o ângulo de incidência é de 109° (Figura 16) e possui um comportamento direcional muito semelhante ao das médias de velocidade e transporte obtidas para todo período de simulação.

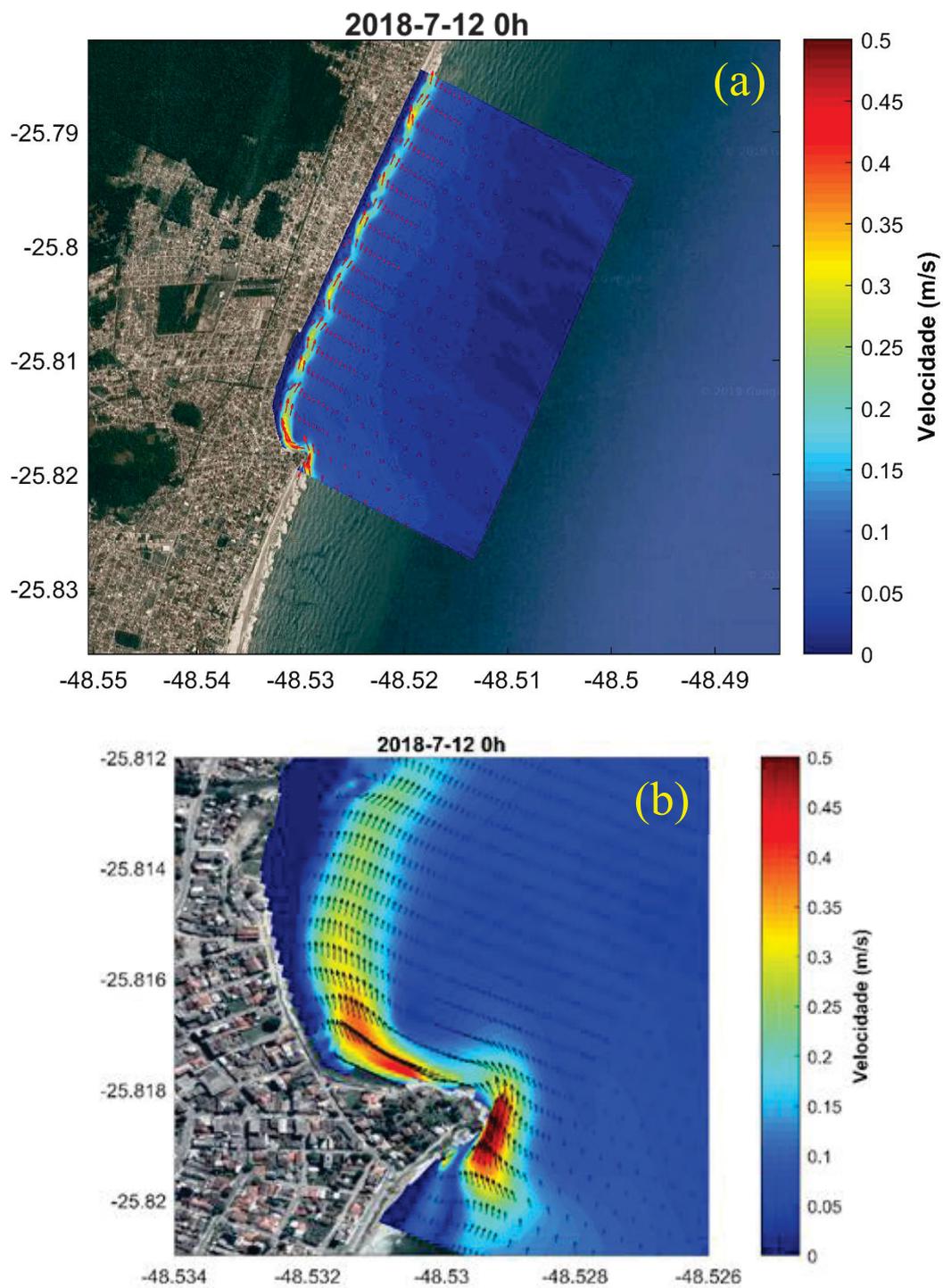


Figura 14. Velocidades de fluxo em 15/09/2018 às 00:00h (Evento 1). a) Domínio de Matinhos. b) Aproximação do Pico de Matinhos.

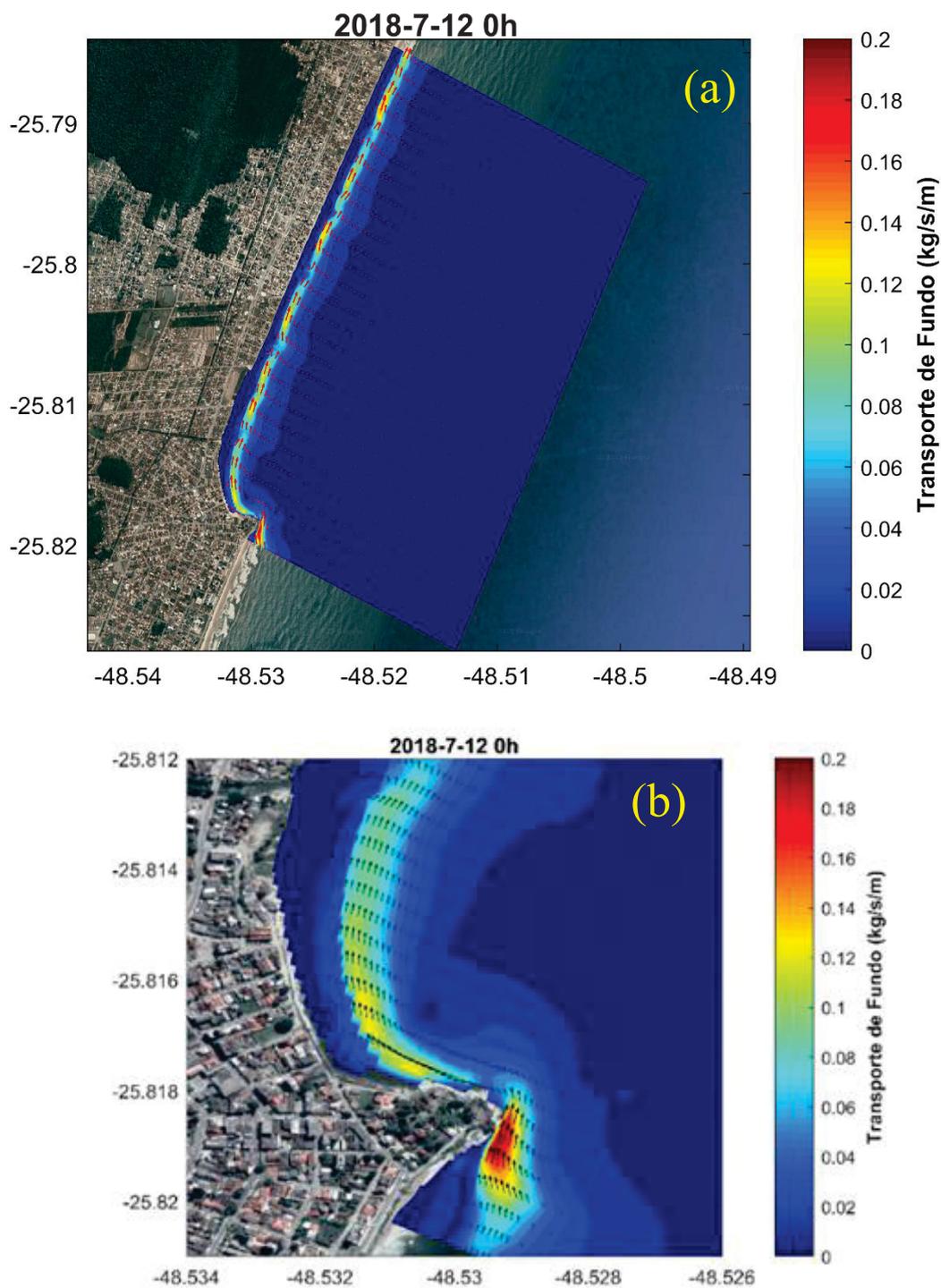


Figura 15. Intensidade do transporte de sedimentos em 15/09/2018 às 00:00h (Evento 1). a) Domínio de Matinhos. b) Aproximação do Pico de Matinhos.

O evento 1 (Figura 14) também apresenta um comportamento distinto na porção sul do Pico de Matinhos, onde a corrente de deriva litorânea formada na porção norte da praia Brava (sentido N-NE) tem um ganho de velocidade, possivelmente pelo fato de se somar à corrente formada pelo efeito da arrebentação das ondas no Pico. Nota-se também que essa corrente

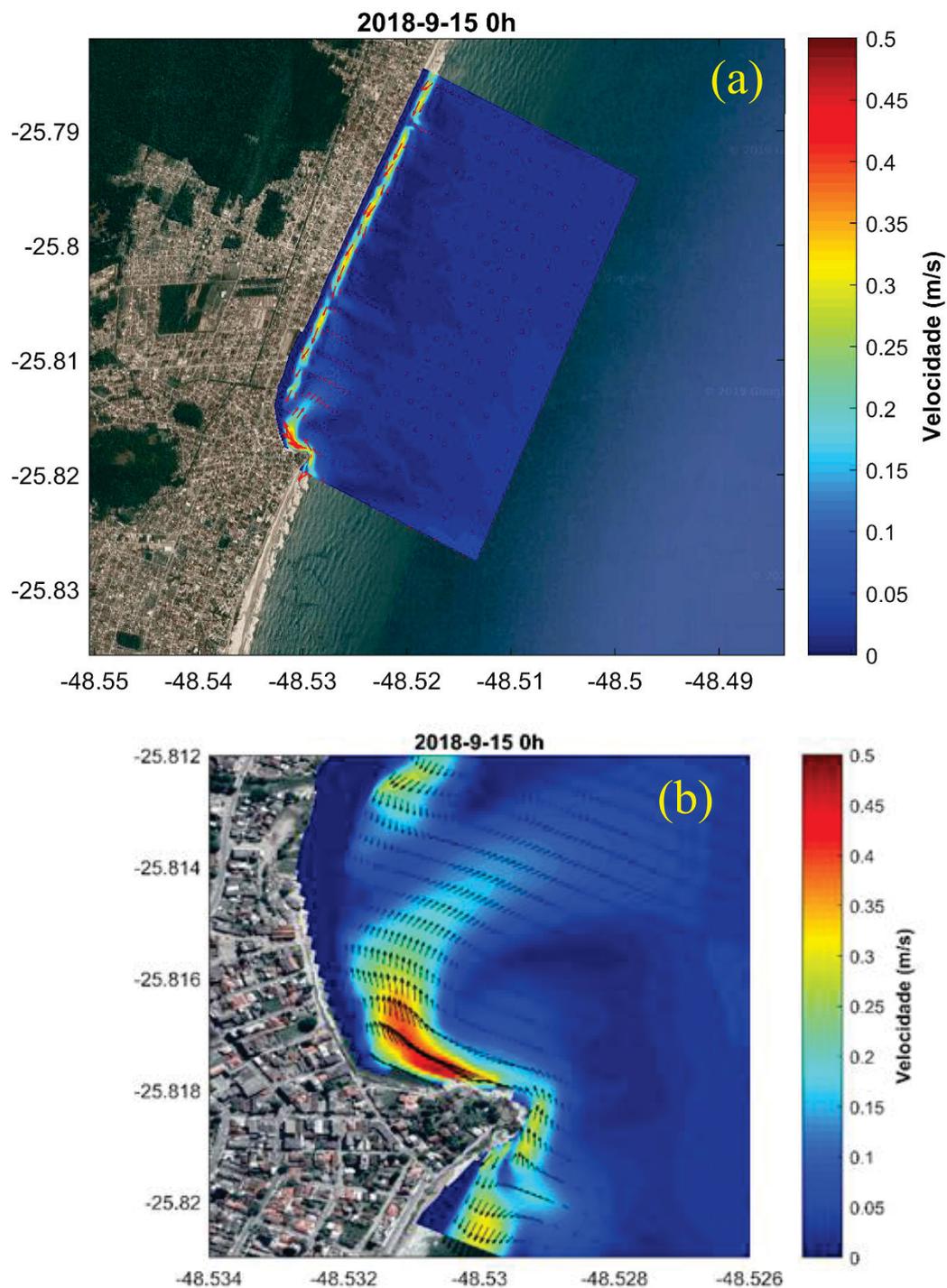


Figura 16. Velocidades de fluxo em 15/09/2018 às 00:00h (Evento 2). a) Domínio de Matinhos. b) Aproximação do Pico de Matinhos.

tangencia o Pico e não forma corrente de jato mais ao norte deste, devido à não convergência dos vetores de corrente vindos do Pico e da Praia de Matinhos.

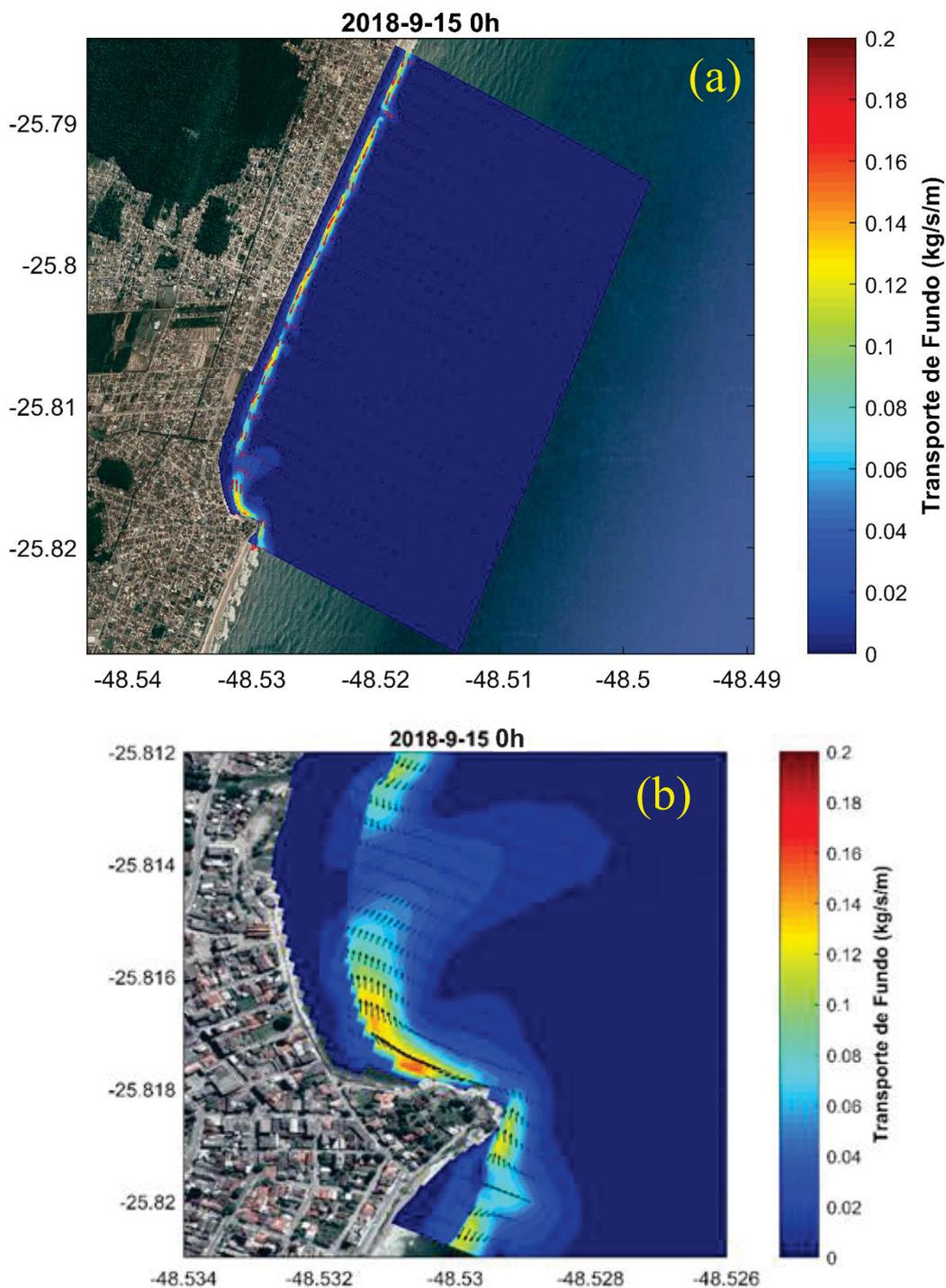


Figura 17. Intensidade do transporte de sedimentos em 15/09/2018 às 00:00h (Evento 2). a) Domínio de Matinhos. b) Aproximação do Pico de Matinhos.

5 DISCUSSÃO

A praia de Matinhos apresenta uma orientação de aproximadamente 24° em relação ao norte, fazendo com que a direção de onda perpendicular a ela seja de 114°. Isso faz com que trens de ondas com diferentes angulações vindos do quadrante Leste-Sul, dominante na região (NEMES E MARONE, 2013) e no período (Figuras 10 e 11), gerem correntes de deriva litorânea em ambos sentidos, Sudoeste e Nordeste (Figuras 14a e 16a).

O padrão hidrodinâmico apresentado para a área de estudo mostrou um comportamento meandrante das correntes na Praia de Matinhos sob a incidência de ondas oblíquas à costa (Figuras 13a e 14a). Este comportamento está relacionado com a interação das correntes de deriva longitudinal com as correntes de fundo (*undertow*) e de retorno (*rip current*) (SONU, 1972). Por se tratar de uma simulação realizada em duas dimensões com altura integrada (2DH), os meandros apresentados estão relacionados somente com as correntes de retorno na área, que podem ser um grande perigo potencial para os banhistas, principalmente sob a incidência mais perpendiculares à costa (BOWEN, 1969; MCCARROL *et al.*, 2014).

O período de inverno de 2018 não apresentou nenhum evento com características extremas e/ou destrutivas para a Praia e Orla de Matinhos, evidenciado principalmente pelas pequenas alterações morfológicas de erosão mostradas nos perfis (Figura 4) conjuntamente com clima de ondas na região (Figura 10), que é a fonte de energia principal nos sistemas praias (WRIGHT E SHORT, 1984). A principal mudança morfológica significativa no período foi de acreção na região adjacente ao Pico de Matinhos e que está representada pelo Perfil I (Figura 4).

Essa mudança no Perfil I está em concordância com o padrão hidrodinâmico e de transporte de sedimentos médios do período (Figuras 12 e 13), que mostra uma corrente de deriva litorânea residual na Praia de Matinhos que fluiu no sentido sudoeste (SW) e uma convergência dos vetores de transporte na região do Pico. Este comportamento favorece o acúmulo de sedimentos na área e é reforçado por uma recirculação local, que favorece a deposição.

Uma série de perfis ao sul do Pico realizada por Soares (2019) mostra que as variações morfológicas ao longo e, principalmente, na extrema porção norte da praia Brava de Caiobá não foram intensas ao ponto de serem consideradas uma fonte contínua e significativa de sedimentos para a área adjacente ao Pico de Matinhos, exceto durante os meses de agosto e setembro, onde se verificou erosão no extremo norte da Praia Brava. Este fato pode estar relacionado com o evento do dia 17/09 (Figura 10a), que apresentou alturas significativas de

onda na ordem de 2 m na fronteira mais distante da costa do domínio de Matinhos e incidiu sobre a costa com uma angulação de aproximadamente 111° , configurando uma situação semelhante à verificada no evento 2 (Figuras 16 e 17), com correntes de deriva longitudinal na zona de arrebenção da Praia de Matinhos no sentido sudoeste (SW). Nesta situação, se verifica uma divergência dos vetores de transporte de sedimentos (Figura 17d) na porção norte da Praia Brava de Caiobá e uma tendência de transporte em direção ao Pico, o que pode justificar a acreção de sedimentos no Pico de Matinhos e a erosão ocorrida naquela região da Praia Brava entre os meses de agosto e setembro.

A acreção contínua de sedimentos junto ao Pico e as pequenas mudanças ao longo da Praia de Matinhos (Figuras 3 e 4) são indícios de que a principal forçante do transporte de sedimentos no período foi a corrente longitudinal à costa. A orientação deste transporte indica que a origem dos sedimentos transportados está ao norte da área de estudo, podendo estar relacionada com a forma retilínea do arco praiial Matinhos – Pontal do Sul e com a desembocadura da Baía de Paranaguá (Figura 1).

O setor norte da área de estudo (Figura 3a) não apresentou um padrão longitudinal definido de erosão ou acreção, no entanto, é possível identificar que, de maneira geral, as zonas de acreção ficaram posicionadas na parte superior da praia e as zonas de erosão na parte inferior, próxima à linha d'água. Ambas situações se assemelham, de certa forma, à largamente conhecida teoria do perfil de tempestade (KOMAR, 1976), em que a face praiial tem um aumento da sua inclinação devido ao aumento da condição energética do sistema. Esse aumento está bastante relacionado ao período de inverno, devido ao fato desta estação estar associada a uma maior frequência de passagem de frentes frias no hemisfério sul (CARDOZO *et al.*, 2015), o que indica um aumento da possibilidade de ocorrência de eventos de alta energia capazes de ocasionar mudanças morfológicas de maior intensidade na área, especialmente relacionadas à erosão (VAN RIJN, 2011).

6 CONCLUSÃO

O estudo apresentou uma nova configuração para o padrão hidrodinâmico e do transporte de sedimentos para a região do Pico e da Praia de Matinhos - BR, mostrando uma tendência de transporte e correntes longitudinais fluindo majoritariamente no sentido sudoeste durante o inverno de 2018, ao contrário da tendência principal para nordeste conhecida anteriormente (BIGARELLA *et al.*, 1978). Este resultado foi obtido pela relação entre dados coletados *in situ* e também com o auxílio de modelagem numérica computacional.

O tipo de modelagem computacional empregado, sem a evolução da batimetria, apresentou boa comparação entre os dados modelados e observados, mostrando que pode auxiliar na compreensão dos processos relevantes para o transporte de sedimentos e na quantificação das alterações morfológicas. Os resultados, no entanto, devem ser interpretados com cautela, uma vez que alterações morfológicas e hidrodinâmicas são interdependentes e podem ser acentuadas ou reduzidas conforme vão ocorrendo e interagindo, alterando as tendências de transporte. Para tanto, a validação do modelo hidrodinâmico local, apesar de apresentar consideráveis dificuldades na região próxima à costa, traria um grande ganho científico e ajudaria na identificação de potenciais riscos aos usuários da praia. É sugerido também que a metodologia seja aplicada para períodos maiores e com a ocorrência de eventos extremos a fim de que seja avaliada a sua eficiência nestes casos, uma vez que o inverno de 2018 não apresentou eventos extremos que afetassem de maneira significativa a morfologia da área de estudo.

O município de Matinhos sofre continuamente os efeitos da erosão sobre sua infraestrutura, o que já levou à elaboração de planos para contorná-la (ANGULO *et al.*, 2016). Muitas vezes os planos de manejo da zona costeira levam em consideração somente os efeitos de eventos extremos e tendências gerais de transporte integradas para um longo período de tempo. Por meio deste caso se concluiu que, para o município de Matinhos, é necessário levar em consideração também o clima moderado de ondas em escala sazonal, pois existe também uma contribuição significativa no transporte de sedimentos nesta escala.

Este estudo surge como um acréscimo ao conhecimento dos processos que ocorrem na região, permitindo diferentes análises e perspectivas sobre seu comportamento. A continuação, com levantamentos topográficos e batimétricos, e um aumento da área de estudo englobando todo o arco praias Matinhos – Pontal do Sul, é fundamental para aprimorar a compreensão da dinâmica de todo o sistema e calibração/validação de modelos morfodinâmicos capazes de simular cenários de intervenções de engenharia para o aumento da extensão da praia emersa. O estudo realizado deve ser aprimorado para considerar a evolução da morfologia na modelagem numérica, o que pode ser feito considerando o mesmo sistema de modelagem utilizado.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRAKIS, G.; MANASAKIS, C.; KAMPANIS, N. A.; Valuating the effects of beach erosion to tourism revenue. A management perspective. **Ocean & Coastal Management**, v. 111, p. 1–11, 2015.
- ANGELOTTI, R.; NOERNBERG, M. A. Análise dos riscos ao banho de mar no município de Pontal do Paraná - PR – Temporada 2003 / 2004. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 65–75, 2010.
- ANGULO, R. J. As praias do Paraná: problemas decorrentes de uma ocupação inadequada. **Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD**, n. 99, p. 97–103, 2011.
- ANGULO, R. J.; BORZONE, C. A.; NOERNBERG, M. A.; QUADROS, J. L. de; SOUZA, M. C. de; ROSA, L. C. The State of Paraná Beaches. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F (Ed.). **Brazilian Beach Systems** 1. ed. Springer International Publishing, 2016. p. 419-464.
- BESSA JR, O. Interferência entre a ocupação urbana e a dinâmica natural no Litoral Sul do Paraná. **Análise Conjuntural - IPARDES**, v. 25, n. 11–12, p. 13–17, 2003.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R.D.; MATOS, D. J.; WERNER, A. **A Serra do Mar e a porção oriental do estado do Paraná: um problema de segurança ambiental e nacional**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento - ADEA (Associação de Defesa e Educação Ambiental), 1978.
- BILLÉ, R. Integrated Coastal Zone Management: four entrenched illusions. **S.A.P.I.E.N.S**, v. 1.2, 2008. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/sapiens/198>> . Acesso em: 05 jan. 2019.
- BOOIJ, N.; RIS, R.; HOLTHUIJSEN, L. H.; A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation, **J. Geophys. Res.-Oceans**, v.104, p. 7649–7666, 1999.
- BOWEN, A. J. Rip Currents 1: Theoretical Investigations. **Journal of Geophysical Research**, v. 74, n. 23, p. 5467–5478, 1969.
- BSO (Brazilian Sea Observatory). **Observatório Marinho Brasileiro**. Disponível em: <<http://brazilianseaobservatory.org/pt/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- CARDOZO, A. B.; REBOITA, M. S.; GARCIA, S. R.; Climatologia de frentes frias na América do Sul e sua relação com o modo anular sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 6 – 26, 2015.
- COOPER, J. A. G.; MCKENNA, J. Social Justice in coastal erosion management: The temporal and spatial dimensions. **Geoforum**, v. 39, p. 294 – 306, 2008.

- DUGAN, J. E.; HUBBARD, D. M.; RODIL, I. V.; REVELL, D. L.; SCHROETER, S. Ecological effects of coastal armoring on sandy beaches. **Marine Ecology**, v. 29 (Suppl. 1), p. 160 – 170, 2008.
- FERREIRA, S.T.A.; AMARO, E. V; SANTOS, T. S. M.; Applied Geodesy to Integration of Topographic and Bathymetric Data in the Characterization of Beaches Surfaces. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 1, p. 167 – 184, 2014.
- FRANZ, G.; DELPEY, M. T.; BRITO, D.; PINTO, L.; LEITÃO, P.; NEVES, R. Modelling of sediment transport and morphological evolution under the combined action of waves and currents. **Ocean Science Discussions**. n. março, p. 1–26, 2017a.
- FRANZ, G.; LEITÃO, P.; PINTO, L.; JAUCH, E.; FERNANDES, L.; NEVES, R. Development and validation of a morphological model for multiple sediment classes. **International Journal of Sediment Research**, v.32, p. 585-596, 2017b.
- GRACIA, A.; RANGEL-BUITRAGO, N.; OAKLEY, J. A.; WILLIAMS, A. T.; Use of ecosystems in coastal erosion management. **Ocean & Coastal Management**, v. 156, p. 277–289, 2018.
- GRIGGS, G. B. California's Coastal Hazards. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, v. 12, p. 1–15, 1996.
- GRIGGS, G. B. The Impacts of Coastal Armoring. *Shore & Beach*, v. 73, n. 1, p. 13 – 22, 2005.
- HOUSTON, J. R. The economic value of beaches - a 2013 update. **Shore & Beach**, v. 81, n. 1, p. 3–10, 2013.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Modelo de ondulação geoidal**. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm>. Acesso em: 17 set. 2018.
- KRAUS, N. C.; MCDUGAL, W. G. The Effects of Seawalls on the Beach: Part I, An Updated Literature Review. **Journal of Coastal Research**, v. 12, n. 3, p. 691 – 701, 1996.
- LEITÃO, P. C. **Integração de Escalas e Processos na Modelação do Ambiente Marinho**, 2003.
- KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. 1. ed. Prentice - Hall, 429p., 1976.
- LEITÃO, P. C.; MATEUS, M.; BRAUNSCHWEIG, L.; FERNANDES, L.; NEVES, R. Modelling coastal systems: the MOHID Water numerical lab. **Perspectives on integrated coastal zone management in South America**, p. 77-88. 2008.
- LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**, v.8, p. 1-11. 2018.

- MARETEC. **MOHID - Water Modelling System**. Disponível em: <<http://www.mohid.com/>>. Acesso em: 14 out. 2017.
- MARONE, E.; GUIMARÃES, M. R.; PRATA JR., V. P.; KLINGENFUSS, M. S.; CAMARGO, R. Caracterização Física das Condições Oceanográficas, Meteorológicas e Costeiras das Zonas Estuarinas da Baía de Paranaguá, PR. In: Anales del VI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. **Anais...** Mar del Plata, Argentina, 1995. p. 57-61.
- MARTINS, F. **Modelação Matemática Tridimensional de escoamentos costeiros e estuarinos usando uma abordagem de coordenada vertical genérica**. Tese de PhD, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2000.
- MCCARROLL, R. J.; BRANDER, R. W.; MACMAHAN, J. H.; TURNER, L. I.; RENIERS, AD. J. H. M.; BROWN, J. A.; BRADSTREET, A.; SHERKER, S. Evaluation of swimmer-based rip current escape strategies. **Natural Hazards**, v. 71, p. 1821–1846, 2014.
- MORTOCK, T. R.; GOODWIN, I. D.; TURNER, I. L. Nearshore SWAN model sensitivities to measured and modelled offshore wave scenarios at an embayed beach compartment, NSW, Australia. **Australian Journal of Civil Engineering**, v. 12, n. 1, p. 67-82, 2014.
- NEMES, D. D.; MARONE, E. Characterization of surface waves on the inner shelf of the Paraná State. **Boletim Paranaense de Geociências**, v.68-69, p. 12-25, 2013.
- NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). **Global Forecast System (GFS)**. <<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>>. Acesso em: 17 de set, 2018.
- NORDSTROM, K. F. Living with shore protection structures: A review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 150 Part-A, p. 11 – 23, 2014.
- NOVAK, L. P.; LAMOUR, M. R.; CATTANI, P. E. Vulnerabilidade aos processos erosivos no litoral do Paraná estabelecido pela aplicação da análise multicritérios. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 38, p. 195-218, 2016.
- PHILLIPS, M. R.; JONES, A. L. Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management. **Tourism Management**, v. 27, n. 3, p. 517–524, 2006.
- PRANZINI, E.; WETZEL, L.; WILLIAMS, A. T. Aspects of coastal erosion and protection in Europe. **Journal of Coastal Conservation**, v. 19, n. 4, p. 445–459, 2015.
- RAMAKRISHNAN, R.; AGRAWAL, R.; REMYA, P.; et al. Modelling coastal erosion: A case study of Yarada beach near Visakhapatnam, east coast of India. **Ocean & Coastal Management**, p. 1–10, 2017.

SAMPAIO, R. The occupation of Paraná's beach coasts for balneal use. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n.13, p. 169-186, 2006.

SOARES, L. de P. **Balanço sedimentar na Praia Brava de Matinhos a partir da modelagem numérica**. Pontal do Paraná, 12 de dez. 2018. Informação verbal.

SONU, C. J. Field Observation of Nearshore Circulation and Meandering Currents. **Journal of Geophysical Research**, v. 77, n. 18, p. 3232-3247, 1972.

SOULSBY, R. L.; DAMGAARD, J. S. Bedload sediment transport in coastal waters. **Coastal Engineering**, v. 52, p. 673 – 689, 2005.

TOLMAN, H. L.; BALASUBRAMANIYAN, B; BURROUGHS, L.D.; CHALIKOV, D.V.; CHAO, Y.Y.; CHEN, H.S.; GERALD, V.M. Development and implementation of wind generated ocean surface waves models at NCEP. **Weather Forecast**, v. 17, p. 311 – 333, 2002.

TOLMAN, H. L. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III TM Version 3.14. **NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note 276**, p. 220, 2009.

UMLAUF, L.; BURCHARD, H.; BOLDING, K. **GOTM – Sourcecode and Test Case Documentation**. <<http://gotm.net/manual/stable/pdf/a4.pdf>>. Acesso em: 17 de set, 2018.

VAN RIJN, L. C. Coastal Erosion and Control. **Ocean & Coastal Management**, v. 54, p. 867 – 887, 2011.

VEIGA, F. A. **Sedimentologia, morfologia & dinâmica da face da costa no litoral central do estado do Paraná**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

WILLIAMS, A.; RANGEL-BUITRAGO, N. G.; PRANZINI, E.; ANFUSO, G. The management of coastal erosion. **Ocean & Coastal Management**, v. 156, p. 4–20, 2018.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. Morphodynamic variability of beaches and surf zones, a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 92–118, 1984.