

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
“EFEITO *ROLLER*” E SUA INFLUÊNCIA EM MODELOS HIDRODINÂMICOS:
ESTUDO EM UMA PRAIA INTERMEDIÁRIA-DISSIPATIVA DO SUL DO
BRASIL

Paola Stefani de Araujo¹ ; Tobias Bleninger Bernward² & Gustavo Pacheco Tomas³

Abstract: A realistic representation of energy dissipation in the surf zone is a significant challenge in coastal modelling, particularly when simulating currents and sediment transport under high-energy conditions. Traditional models assume instantaneous dissipation, thereby underestimating coastal recirculation. While the “roller effect”, associated with post-breaking turbulence, has been incorporated into international studies to improve the representation of hydrodynamics, this has mainly focused on environments in the Northern Hemisphere. Consequently, its application to Brazilian coasts, especially intermediate-dissipative beaches, remains largely unexplored. This is a particularly critical issue at Praia Central de Guaratuba (Paraná, Brazil), an area subject to intense erosion during high-energy events and characterised by a lack of continuous monitoring data. This study compares two scenarios — with and without the inclusion of roller effect parameters — in the hydromorphodynamic modelling of Guaratuba over a four-month period (March–June 2014) using the Delft2DH modelling suite. Analysis of the results (maximum wave height, wave force, and bed evolution) indicates that the “roller effect” acts as a damping mechanism on parameter intensity. This leads to a reduction of approximately 50% in the simulated magnitudes, which attenuates both extreme-value variability and the occurrence of *hotspots*. The main limitation of this study is the absence of in situ observational data within the surf zone, which are essential for validating the fluctuations observed between the two scenarios.

Keywords: Roller effect. Nearshore circulation. Hydrodynamic modeling.

Resumo: A representação realista da dissipação de energia na zona de arrebentação permanece uma lacuna na modelagem costeira, especialmente na simulação de correntes e no transporte sedimentar em regiões de alta energia. Os modelos tradicionais assumem dissipação instantânea, subestimando a recirculação costeira. O “efeito roller”, associado à turbulência pós-quebra, tem sido incorporado em estudos internacionais para aprimorar a representação hidrodinâmica, mas com foco em ambientes do hemisfério norte, mantendo em aberto sua aplicação em praias brasileiras, particularmente nas intermediárias-dissipativas. Essa lacuna é especialmente crítica na Praia Central de Guaratuba (PR), área sujeita a intensa erosão durante eventos de alta energia e marcada pela escassez de dados contínuos. Este estudo compara dois cenários — com e sem a inclusão dos parâmetros do “efeito roller” — na modelagem hidromorfodinâmica de Guaratuba, ao longo de quatro meses (março a junho de 2014), utilizando o conjunto de módulos do Delft2DH. A análise dos resultados (altura significativa, força de onda e evolução de fundo) evidenciou que o “efeito roller” atua como um amortecedor da intensidade dos parâmetros, promovendo uma redução de aproximadamente 50% nas magnitudes simuladas e atenuando tanto a variabilidade de valores extremos quanto a ocorrência de *hotspots*. A principal limitação do estudo foi a ausência de dados observacionais na zona de arrebentação, essenciais para validar as flutuações observadas entre os dois cenários.

Palavras-Chave – Efeito *Roller*. Recirculação costeira. Modelagem hidrodinâmica.

1) Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA). Endereço: Jardim das Américas, Curitiba – PR, 82590-300. paola.stefani@ufpr.br (autora correspondente)

2) Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). Endereço: Jardim das Américas, Curitiba – PR, 82590-300. bleninger@ufpr.br

3) Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná. Endereço: Avenida Beira Mar, Pontal do Paraná – PR, 83255-000. gustavotomas@ufpr.br

INTRODUÇÃO

A representação da dissipação de energia de ondas na zona de arrebentação é essencial para simulações hidrodinâmicas mais realistas, especialmente, porque a recirculação costeira é fortemente influenciada pela interação de ondas e correntes. Em modelos numéricos, ao simular regiões com quebras de ondas, muitas vezes assume-se que a energia das ondas dissipa de forma instantânea, devido à dificuldade de obtenção de medições nessa zona. Neste contexto, o chamado “efeito *roller*” tem se destacado como um parâmetro relevante para a calibração de correntes na zona de quebra e para a simulação da migração de bancos de areia.

Svendsen (1984 a; 1984 b) introduziu o conceito do “efeito *roller*” como uma forma de explicar a discrepância entre o fluxo de volume associado apenas às ondas e o fluxo realmente observado na zona de arrebentação. O autor descreve o “efeito *roller*” como à turbulência gerada pela quebra das ondas, que prolonga a transferência de energia e momento além do ponto de quebra.

Diversos estudos demonstram que a inclusão desse efeito em modelagens hidromorfodinâmicas pode melhorar significativamente a representação das forças atuantes na zona de surfe — especialmente em praias com quebras intensas ou em eventos extremos, como ressacas. O “efeito *roller*” intensifica as correntes longitudinais, as correntes de retorno (*rip currents*), *undertow*, a tensão de fundo e o estresse de radiação, afetando diretamente a redistribuição de sedimentos, tanto na taxa de erosão da linha de costa quanto na ressuspensão de sedimentos do leito (Ruessink et al. 2001; Tajima & Madsen, 2006; Ribas, et al. 2011; Choi, Lee e Yoon, 2012; Borribunnangkun et al., 2022).

A partir dos estudos iniciais de Svendsen, diferentes autores passaram a incorporar o *roller* nas equações de conservação de energia, de momento horizontal, em aproximações de Boussinesq e no transporte de massa. Para isso, utilizam-se parâmetros que representam o “efeito *roller*” na zona de dissipação, como o fator de transferência de energia (α_r) e a inclinação da interface rolo/onda (β).

Autores como Renier & Battjes (1997), Kuriyama & Nakatsukasa (2000) e Ruessink et al. (2001) adotam $\alpha_r = 1,0$ como constante, e valores para β entre 0,05 e 0,1, sendo que apenas Kuriyama & Nakatsukasa (2000) propõe uma distribuição triangular para esse parâmetro. A partir de 2011, estudos passaram a testar diferentes valores de α_r e β . Por exemplo, Choi, Lee e Yoon (2012) avaliram variações discretas de α_r com base em Q_β (dissipação de energia), e testaram $\beta=0,06, 0,08$ e $0,1$ para zonas de transição entre quebra parcial e intensa. Ribas et al. (2011) recomendaram $\beta = 0,05$ para representar as correntes longitudinais e a erosão de bancos de areia. Já Xie et al. (2017), ao modelar com ECOMSED, sugerem $\alpha_r=0,45$ para praias suavemente inclinadas e com quebra do tipo spilling.

Estudos mais recentes, como os de Li et al. (2021) e Borribunnangkun et al. (2022), recomendam $\beta = 0,06$ para melhorar os resultados na simulação dos perfis de velocidade, do transporte sedimentar transversal e das correntes de retorno de fundo (*undertow*), utilizando os modelos CROSPE e X-Beach, respectivamente. Ji et al. (2024) propõem equações para o cálculo de β em função da altura da onda local, visando melhorar a simulação das correntes longitudinais em praias com bancos de areia.

O sistema utilizado para modelar o ambiente costeiro de estudo, a Praia Central de Guaratuba, foi o conjunto Delft2DH, que incorpora o “efeito *roller*” pela equação de balanço de energia das ondas de curta duração dada por:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(EC_g \cos(\alpha)) + \frac{\partial}{\partial y}(EC_g \sin(\alpha)) = -D_w \quad (1)$$

Com E sendo a energia das ondas de curta duração, C_g sendo a velocidade de grupo, α como a direção de propagação das ondas e D_w é a dissipação das ondas. Durante o processo de arrebentação a onda é convertida em energia do roller através do balanço de energia do roller:

$$\frac{\partial E_r}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (2E_r C \cos(\alpha)) + \frac{\partial}{\partial y} (2E_r C \sin(\alpha)) = D_w - D_r \quad (2)$$

Com C sendo a celeridade da onda, α é o coeficiente de transferência de energia. D_r , a dissipação da energia do roller, é função da energia do roller (E_r):

$$D_r = 2\beta g \frac{E_r}{C} \quad (3)$$

Onde β é o coeficiente de interface rolo/onda.

Os estudos existentes sobre o “efeito *roller*” concentram-se majoritariamente em regiões costeiras do hemisfério norte, como Estados Unidos, Japão, Alemanha e Países Baixos, cujas características morfodinâmicas e climáticas diferem substancialmente das praias brasileiras. A ausência de investigações em praias do hemisfério sul, especialmente em áreas de transição entre domínios dissipativos e intermediários, como é o caso da Praia Central de Guaratuba, utilizada como estudo de caso para este trabalho, representa uma lacuna científica significativa. Assim, temos como hipótese que a inclusão do “efeito *roller*” na modelagem hidrodinâmica e morfodinâmica da Praia Central de Guaratuba (sul do Paraná -BR), ao simular o ambiente no DELFT2DH, especialmente durante eventos de ressacas, melhora a representação do transporte de sedimentos ao longo da linha de costa em comparação ao modelo base sem o efeito. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho do modelo simulado ao incluir esse efeito e analisar as caracterizações erosivas resultantes, utilizando dois fatores: a transferência de energia (α_r) e a inclinação da interface rolo/onda (β).

Portanto, esta pesquisa se diferencia por incluir o “efeito *roller*” em modelagem hidromorfodinâmica e ondulatória utilizando o software Delft2DH. A inovação na representação mais realista da dissipação de energia associada à turbulência pós-quebra da onda em uma praia com características mista (intermediária-dissipativa). Ao integrar parâmetros em cenários de ressaca, o estudo busca avaliar a influência do “efeito *roller*” na intensidade dos parâmetros hidrodinâmicos como velocidade de corrente, força de onda e tensões de cisalhamento. Essa abordagem representa um avanço em relação às modelagens tradicionais, que ainda desconsideram esse mecanismo em praias do hemisfério sul.

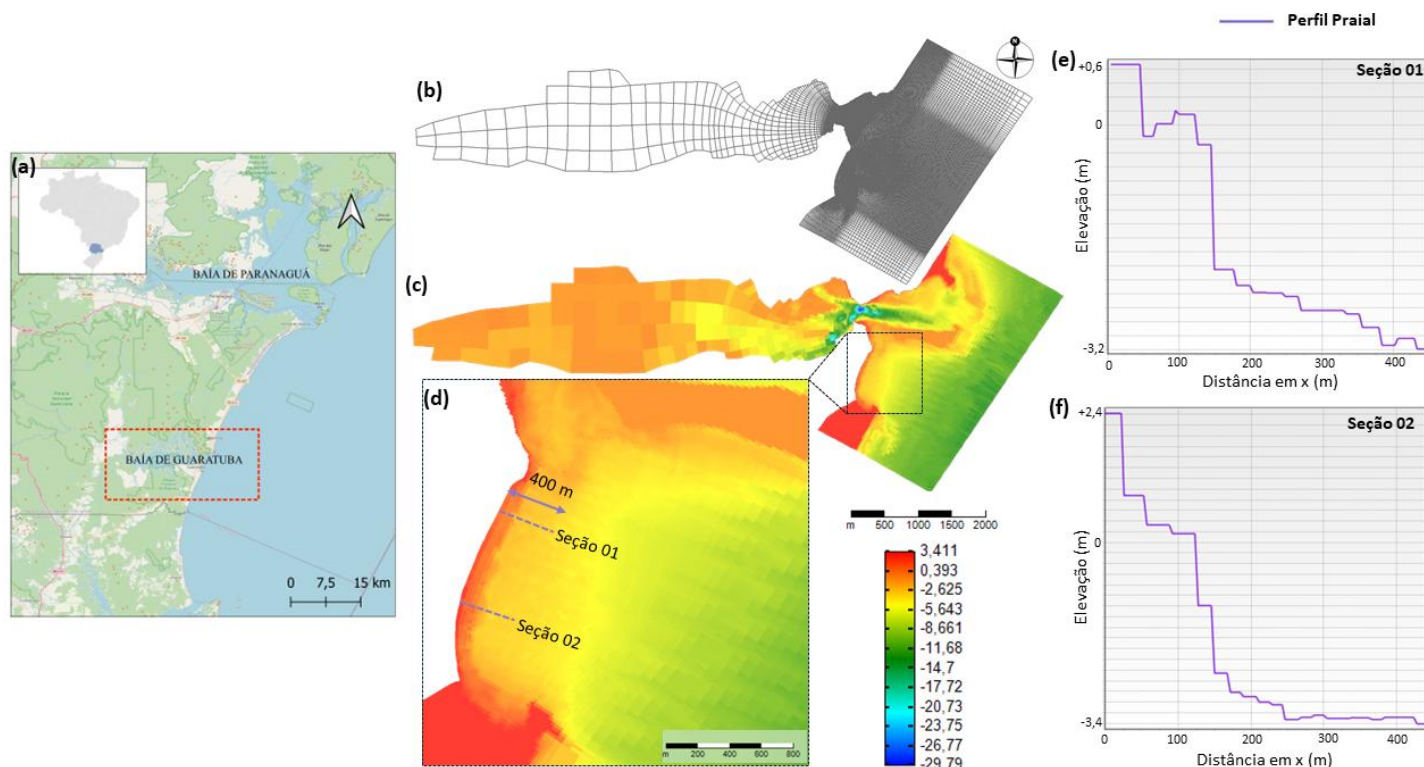
ÁREA DE ESTUDO

A Praia Central de Guaratuba está localizada ao sul da desembocadura da Baía de Guaratuba (PR -BR), entre as coordenadas 25°52'18" S a 25°53'23" S e 48°33'49" W a 48°34'06" W (figura 1). É uma praia mista (intermediária-dissipativa) com declividade suave e presença sazonal de bancos de areia submersos, com alto grau de erosão, alocada em uma região caracterizada pela elevada complexidade hidrodinâmica e escassez de dados de campo contínuos (Angulo et al., 2006 a; Angulo et al., 2016).

Com análises de dados disponibilizados pelo IAT, medições realizadas em 2024, sendo possível caracterizar a região. Sendo influenciada por um regime de marés semidiurnas, com amplitude média de aproximadamente 1,5 m, com correntes locais variado significativamente em função das marés, com vazões chegando a 6.230 m³/s durante a vazante. Dados capturados na desembocadura da baía de Guaratuba. Com ventos predominantes dos quadrantes leste e sudeste, com alturas significativas

de ondas variando entre 0,8 e 1,5 metros e períodos de pico entre 8 e 14 segundos, com máximos no inverno, podendo indicar frentes frias e ressacas.

Figura 1 – (a) Mapa da Praia Central de Guaratuba (PR); (b) Grade desenhada no DELFT2DH da Baía; (c) A batimetria da grade, com a legenda em metros; (d) zoom da batimetria na Praia Central de Guaratuba, sinalizando as seções estudadas, com 700 m em x; (e) Perfil da seção 01, com a elevação (variando de +0,6 a -3,2 m); (f) Perfil da seção 02 (elevação variando de +2,4 a -3,4 m).



Essas condições favorecem a ocorrência de quebra do tipo *spilling* e, em menor escala, *plunging*, contribuindo para a formação de células de circulação na zona de surfe e intensificando processos de transporte de sedimentos tanto no sentido longitudinal quanto transversal. A combinação desses fatores confere alta complexidade à hidrodinâmica costeira da área, justificando a necessidade de modelagens numéricas calibradas para representar com maior precisão os processos erosivos e deposicionais locais.

METODOLOGIA

O sistema utilizado para modelar o ambiente costeiro de estudo, a Praia Central de Guaratuba, foi o conjunto Delft2DH, acoplando os módulos FLOW (hidrodinâmico), o WAVE (propagação de ondas) e o MOR (acúmulo de erosão/fundo).

O período simulado será de 01 de março a 30 de junho de 2014. Foi 122 dias, mas o período analisado é a partir do dia 01 de abril até o dia 30 de junho, considerando os primeiros 31 dias como aquecimento do modelo. Na fronteira norte, a condição de contorno adicionado foi uma série temporal de velocidades de corrente, na fronteira sul foram adicionados os mesmos dados, porém com sinal negativos, e por fim, na fronteira leste (à offshore) são os dados de níveis de maré. Na tabela 1 é apresentado características e configurações das malhas e os dados de calibração do modelo.

Tabela 1 – Parâmetros e configurações de calibração do modelo.

Parâmetros	Configurações	Unidades	Parâmetros	Configurações	Unidades
Comprimento e largura do modelo	20 e 8	km e m	Vazão extrema de maré enchente	5270	m ³ /s
Comprimento e largura (desembocadura) da baía	15 e 500	km e m	Velocidade da água (ADCP) seção desembocadura	0,6 a 1,2	m/s
Elementos, nós e camadas sigmas	24563, 23619 e -		Varição de maré astronômica	-0,06 a +,7	m
Open boundary conditions	Fronteira norte/ sul: correntes	-	Varição de maré meteorológica	+/- 0,5 (em média +/-0,2)	m
	Fronteira offshore: nível de maré	-	Hs (na desembocadura da baía)	média de 1,5 (max. 3,5)	m
Start time	01/04/2014 00:00	-	Tp (na desembocadura da baía)	média de 10 (max 20)	s
Stop time	30/09/2014 00:00	-	Velocidade de vento	5	m/s
Time steps	1	min	Velocidades de corrente	média 0,15 (max 0,35)	m/s
Grid sizes (resolução)	25 a 250	km e m	Profundidade máxima	até 29	m
Período de simulação	Cenário 01: 1 d 4 h Cenário 02: 1 d 7 h	dias	Bottom friction (JONSWAP)	0,038	m ² /s ³
Diâmetro médio do sedimento	250	µm	Manning	0,023	s.m-1/3
Vazão extrema de maré vazante	6230	m ³ /s	Depth-induced breaking (B&J model)	Alpha = 1; Gamma= 0,73	-

Para o processamento base com a inclusão do “efeito *roller*” foi conduzido dois cenários, o primeiro sem o “efeito *roller*”, apenas calibrando com parâmetros tradicionais como viscosidade turbulenta, Manning, coeficiente de fundo e efeito de Coriolis. No segundo cenário, temos a inclusão do fator de transferência de energia (α_r) e a inclinação da interface rolo/onda (β), ativando no arquivo de entrada do FLOW (arquivo .mdf), como keyword (ROLLER = #yes#), por fim, completando com valores de alfar (α_r) e betar (β) (tabela 2) como intitulado pelo Delft2DH.

Tabela 2 – Configuração inicial dos parâmetros do “efeito *roller*” para dois cenários.

Cenários	α_r (Alfar)	β (Betar)
1: sem roller (BASE)	0	0
2	1,0	0.1

Segundo Choi, Lee e Yoon (2012), o parâmetro α_r varia entre 0,3 e 1,0, dependendo da intensidade da quebra das ondas, sendo $\alpha_r = 1,0$ representativo de uma quebra intensa, enquanto $\alpha_r = 0,6$ é mais adequado para regiões onde não ocorre quebra significativa. Considerando que a praia analisada apresenta características mistas, entre os tipos dissipativo e intermediário, e é frequentemente impactada por eventos de ressaca durante o inverno, adotou-se o valor de $\alpha_r = 1,0$. Essa escolha visa representar condições de máxima transferência de energia associadas à quebra intensa das ondas em situações extremas, compatíveis com a dinâmica observada nesses eventos.

Além disso, adotou-se o valor de $\beta = 0,1$, conforme recomendado na literatura (Dally & Brown, 1995; Ji et al., 2025), por representar adequadamente os perfis de velocidade típica das correntes litorâneas induzidas pela quebra de ondas. Tanto $\alpha_r = 1,0$ quanto $\beta = 0,1$ são utilizados como valores iniciais para as simulações, com o objetivo de verificar o comportamento do modelo frente às

condições extremas de ressaca e sua capacidade de representar a dinâmica costeira, além de ser os valores padrões estipulados pelo manual do Flow - Delft2DH.

RESULTADOS

Acoplando os três módulos do Delft2DH (Flow, Mor e Wave), as simulações de abril a julho levaram pouco mais de um dia cada, 28 h no cenário 01 e 31 h no cenário 02. A análise considerou os resultados hidrodinâmicos e ondulatórios (velocidades máximas e força de onda ao longo de todo período), além da comparação do acúmulo de erosão/sedimentação entre o cenário 01 e o cenário 02 em duas seções transversais localizadas na Praia Central de Guaratuba - PR.

Ambos os cenários apresentam variabilidade semelhante nas velocidades na região mais offshore. É nas águas rasas que as diferenças se tornam mais evidentes. No cenário com o “efeito *roller*” ativado (figura 2b) observa-se uma redução na magnitude das velocidades, principalmente na zona de arrebentação ao longo de toda a praia, com valores entre 0,15 e 0,25 m/s, aproximadamente. No cenário 01 (figura 2a), sem o *roller*, as velocidades atingem picos de cerca de 0,5 m/s, ou seja, aproximadamente 50% superiores às do cenário 02. As velocidades residuais indicam a formação de correntes longitudinais apenas quando o “efeito *roller*” está ativado; no cenário 01, nota-se apenas o redirecionamento dos vetores de corrente em direção à offshore. De modo geral, a ativação do “efeito *roller*” tende a estabilizar o campo de correntes, atenuando as oscilações de velocidade associadas a eventos de maior energia.

A figura 2c, que representa a altura significativa máxima (H_s , em metros), mostra picos mais elevados, com ondas alcançando cerca de 0,90 m na região de praia. Observa-se ausência de dissipação prévia de arrebentação, com a onda quebrando abruptamente na face praial e mantendo grande parte de sua energia. Na figura 2d, com o “efeito *roller*” ativado, os valores máximos reduzem-se para cerca de 0,3 m na linha de costa. Ainda assim, registram-se ondas com H_s de aproximadamente 0,55 m atingindo o prisma praial submerso, mas com a dissipação ocorrendo desde cerca de 500 m antes da linha de costa. Assim, a ativação do “efeito *roller*” amplia a área de dissipação de energia em águas rasas, resultando em um campo de ondas mais suave e gradualmente atenuado.

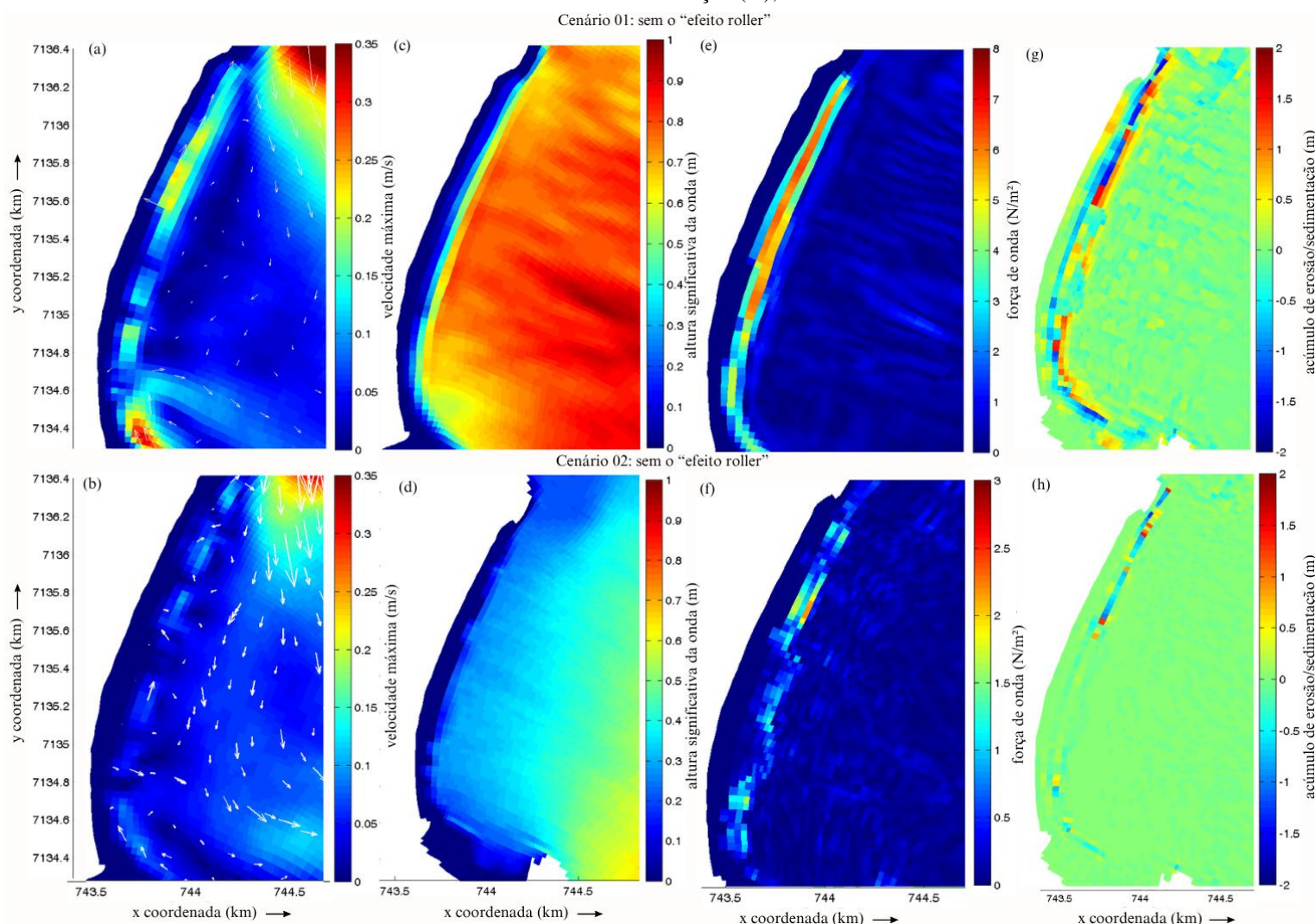
Na figura 2e, que mostra a força de onda (N/m^2) no cenário 01 (sem o “efeito *roller*”), observam-se valores de até $\sim 6,5 N/m^2$ na seção longitudinal a 100 m da costa (limite da malha), além de uma faixa contínua e estreita de máximos junto à zona de arrebentação ao longo de toda a praia, com magnitudes de aproximadamente 3,5 a 6,5 N/m^2 . Já a figura 2f, referente ao cenário 02 (com o “efeito *roller*”), evidencia a granulação mais fina e uma redução de $\sim 50\%$ na magnitude, com picos mais pontuais (entre 1,5 e 2,2 N/m^2), como se houvesse múltiplos pontos de arrebentação ao longo da praia (retratando melhor a realidade) e menor amplitude em toda faixa costeira.

Na figura 2g observa-se a presença de faixas contínuas de erosão ao longo de grande parte da antepraia, mais intensas na região central e setentrional da praia, coincidindo com as zonas de maior velocidade e força de onda, portanto mais energéticas. A alternância entre pequenas células erosivas e deposicionais indica recirculação e turbulência local, associadas à dissipação concentrada da energia incidente. A ausência do “efeito *roller*” faz com que a energia das ondas seja dissipada de forma mais instantânea, intensificando a mobilização sedimentar e resultando em perfis mais erodidos e em zonas de maior variação morfológica. Em contrapartida, na figura 2h, a área de erosão torna-se mais estreita e menos intensa, com uma resposta morfológica mais homogênea. A inclusão do “efeito *roller*” atua no amortecimento do esforço de cisalhamento, promovendo a redistribuição gradual da energia das ondas pós-quebra e sugerindo um padrão de maior conservação sedimentar na face praial.

A comparação entre os cenários evidencia que a introdução do “efeito *roller*” reduz o potencial erosivo, diminuindo as amplitudes morfológicas e favorecendo uma redistribuição mais

suave do sedimento ao longo do perfil praiial, o que se mostra mais representativo do comportamento dissipativo típico da Praia Central de Guaratuba.

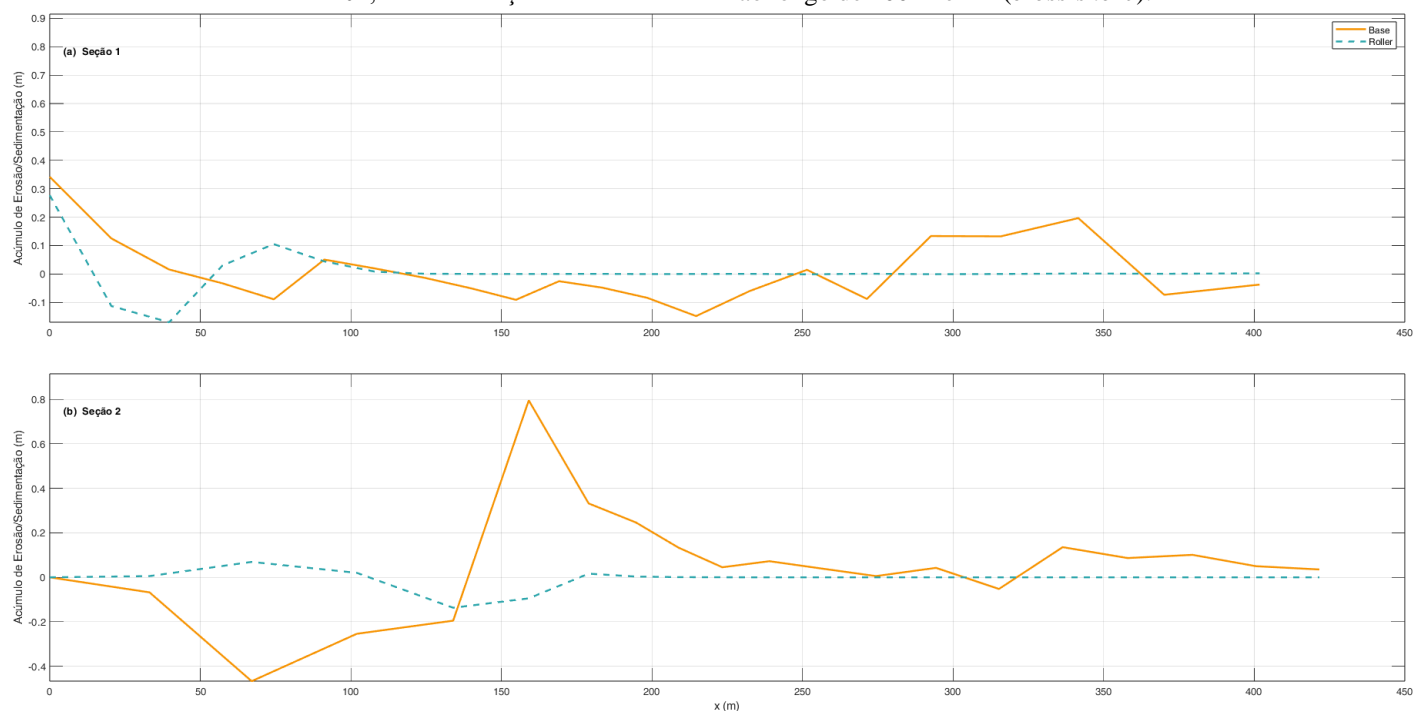
Figura 2 – Comparação dos resultados hidrodinâmicos, ondulatório e morfodinâmicos entre o cenário 01 (sem o “efeito roller”) e o cenário 02 (com a ativação do “efeito roller”). (a) e (b) exibe as condições de velocidades máximas na Praia Central de Guaratuba; (c) e (d) apresentam as condições de altura significativa máxima de onda (m); (e) e (f) apresentam as condições de força de onda (N/m^2); por fim, (g) e (h) exibem as condições de acúmulo de erosão/sedimentação (m);



A figura 3 apresenta o acúmulo de erosão/sedimentação ao longo do período simulado, em duas seções transversais (posições indicadas na figura 1): (a) seção no início da Praia Central, ao sul; e (b) seção mais ao norte. A linha vermelha representa o cenário 01 (base) e a linha azul, o cenário 02 (com o “efeito roller” ativado). Em ambas as seções, o cenário 01 apresenta picos positivos e negativos (aproximadamente de +1,3 m na seção 01 e +0,8 e -0,5 m na seção 02). Esses picos ocorrem entre 80 e 200 m ao longo das seções, indicativos de outliers de sedimentação no cenário base. No cenário 02, os valores permanecem próximos de zero ao longo de quase todo o traçado, com pequenas oscilações, as maiores variações concentram-se entre 50 e 200 m ao longo de x, coerentes com a região de arrebenção das ondas. A diferença mais marcante entre os cenários é a presença de picos tão expressivos no cenário base.

Os vetores de velocidade máxima indicam que a corrente longitudinal costeira é mais bem representada no cenário 02 (com “efeito *roller*”) do que no cenário 01 (base).

Figura 3 – Seções transversais do acúmulo de erosão/sedimentação (m) do leito ao longo de x no período de 91 dias simulados (01 de abril a 30 de junho de 2014) na Praia Central de Guaratuba – PR, comparando a variação sedimentar de duas seções de praias, (a) seção 1 e (b) seção 2, com os dados do cenário 01, sem o “efeito *roller*” e os dados do cenário 02, com a ativação do “efeito *roller*” ao longo de 400 m em x (*cross-shore*).



Em síntese, os resultados indicam que a inclusão do “efeito *roller*” no Delft2DH atua como um amortecedor das variáveis hidrodinâmicas e morfodinâmicas, reduzindo as magnitudes de velocidade, altura significativa e força de onda na zona de arrebentação e atenuando a variabilidade extrema associada a eventos de alta energia. Essa dissipação mais gradual, que ocorre desde o início do prisma praiial submerso, promove um transporte sedimentar mais moderado e uma redistribuição mais uniforme dos sedimentos ao longo do perfil praiial, resultando em um balanço sedimentar mais estável e realista. A redução consistente da energia e da tensão de cisalhamento observada confirma o papel do *roller* na suavização do campo de correntes e altura de onda, representando mais avidamente a praia de Guaratuba.

CONCLUSÃO

A Praia Central de Guaratuba (PR) tem enfrentado, nas últimas décadas, um processo acentuado de erosão costeira, associado à maior mobilidade sedimentar decorrente da exposição a eventos de alta energia. Durante o inverno, quando predominam ondas provenientes do quadrante sul, o processo de difração provocado pelo promontório do Morro do Cristo é intensificado, gerando correntes capazes de mobilizar grandes volumes de sedimentos. A literatura já evidencia as perdas de aporte sedimentar na Praia Central e destaca que as ondas incidentes com ângulos oblíquos, além de promoverem deposição, intensificam as correntes de deriva longitudinais (Silvester, 1974).

A praia apresenta um histórico de alternância entre erosão e deposição ao longo da costa, com maior mobilidade sedimentar durante ressacas. Nesse contexto, a modelagem numérica mostra-se essencial para compreender os processos costeiros e avaliar estratégias de mitigação da perda da

berma. Uma calibração adequada, com parâmetros que representem fielmente a recirculação costeira, é fundamental para aprimorar a confiabilidade dos resultados.

Dessa forma, torna-se necessário avaliar a influência de outros fatores, especialmente o “efeito *roller*”, cuja inclusão tende a aprimorar a representação do balanço sedimentar e da dinâmica costeira local. O “efeito *roller*” atua como um mecanismo de redistribuição de momento durante a quebra da onda, promovendo a dissipação da energia desde o início da antepraia, logo quando as ondas alcançam águas rasas. Assim, a dissipação ocorre sobre uma área mais ampla, resultando em simulações mais condizentes com o comportamento real observado. No cenário sem o “efeito *roller*”, as ondas quebram abruptamente na face praial, apresentando magnitudes superiores tanto de velocidade quanto de altura significativa e intensidade erosiva. Nos resultados deste trabalho, observou-se que o “efeito *roller*” funciona como um amortecedor das variáveis hidrodinâmicas, reduzindo valores extremos de velocidade e força da onda, e proporcionando maior representatividade das correntes de deriva longitudinais, especialmente na zona de arrebenção. É importante ressaltar que não houve refinamento do índice de quebra de onda (γ) proposto por Battjes & Jansen (1978), o qual influencia a posição transversal da arrebenção, sendo adotado o valor padrão da literatura, $\gamma = 0,73$.

Apesar dos resultados promissores, a principal limitação do estudo reside na ausência de dados observacionais na zona de quebra, fundamentais para validar a magnitude dos processos simulados. Assim, recomenda-se que estudos futuros avaliem a sensibilidade dos parâmetros do “efeito *roller*” (α_r e β) e sua influência individual sobre as velocidades e a morfodinâmica local, de modo a aprimorar a calibração e a confiabilidade dos modelos aplicados à Praia Central de Guaratuba.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e aos meus amigos pelo apoio incondicional durante toda essa jornada. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da UFPR, pela estrutura oferecida e por todo suporte ao longo do mestrado. À CAPES, pelo financiamento por meio da bolsa de estudos, essencial para a realização deste trabalho. Agradeço também ao Instituto Água e Terra (IAT), pela disponibilização dos dados utilizados nesta pesquisa. Tobias Bleninger agradece o apoio da bolsa de produtividade do Conselho Nacional de Pesquisa, CNPq, processo: 313491/2023-2, edital: no. 09/2023.

REFERÊNCIAS

- ANGULO, R. J.; BORZONE, C. A.; NOERNBERG, M. A.; QUADROS, C. J. L.; SOUZA, M. C.; ROSA, L. C. *The State of Paraná beaches*. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. (eds.). *Brazilian Beach Systems*. Coastal Research Library 17, Dordrecht, Switzerland: Springer, 2016. p. 419–464. ISBN: 978-3-319-30392-5.
- ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; LAMOUR, M. R. *Coastal erosion problems induced by dredging activities in navigation channels of Paranaguá and São Francisco harbor, southern Brazil*. *Journal of Coastal Research*, SI 39:1801–1803, 2006a.
- ARAUJO, P.S.; KIRINUS, E.P. *Análise computacional das modificações morfodinâmicas em relação à recuperação da orla de Matinhos-PR*. Tomo XIII Rede Braspor. Capítulo 3, p. 41 – 52, 2024.
- BORRIBUNNANGKUN, K.; SUZUKI, T.; MÄLL, M.; HIGA, H. *Modeling undertow distributions under low-wave conditions using XBeach*. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B3 (Ocean Engineering)*, v. 78, n. 2, p. I_127–I_132, 2022.
- DALLY, W.R., & BROWN, C.A. *A modeling and investigation of the breaking wave roller with application to cross-shore currents*. In *Journal of Geophysical Research*, v. 100, Issue C12, 1995. <https://doi.org/10.1029/95jc02868>

- CHOI, J.; LEE, J. I.; YOON, S. B. *Surface roller modeling for mean longshore current over a barred beach in a random wave environment. Journal of Coastal Research*, v. 28, n. 5, p. 1100–1120, 2012. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-10-00151.1>
- ELSAIED, S. M.; GIJSMAN, R.; SCHLURMANN, T.; GOSEBERG, N. (2022). *Nonhydrostatic Numerical Modeling of Fixed and Mobile Barred Beaches: Limitations of Depth-Averaged Wave Resolving Models around Sandbars. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 148(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ww.1943-5460.0000685](https://doi.org/10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000685).
- JI, C.; JIANG, Q.; MA, D.; WU, Y.; RAN, G.; KONG, X.; ZHANG, Q. *Parameterization of surface roller evolution in wave-induced current modeling. Ocean Modelling*, v. 196, 102522, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2025.102522>
- JI, C.; ZHANG, Q.; CHEN, T.; MA, D.; HUANG, R. *Modeling investigation of wave-induced longshore current distribution patterns on barred beaches. Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 299, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108685>
- KURIYAMA, Y.; NAKATSUKASA, T. *A one-dimensional model for undertow and longshore current on a barred beach. Coastal Engineering*, v. 40, 2000. www.elsevier.com/locate/coastaleng
- LI, Y.; ZHANG, C.; CHEN, D.; ZHENG, J.; SUN, J.; WANG, P. *Barred beach profile equilibrium investigated with a process-based numerical model. Continental Shelf Research*, v. 222, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104432>
- RENIERS, A. J. H. M.; BATTJES, J. A. *A laboratory study of longshore currents over barred and non-barred beaches. In: BATTJES, J. A. Coastal Engineering*, v. 30, n. 96, 1997.
- RIBAS, F.; DE SWART, H. E.; CALVETE, D.; FALQUES, A. *Modeling waves, currents and sandbars on natural beaches: the effect of surface rollers. Journal of Marine Systems*, v. 88, n. 1, p. 90–101, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.02.016>
- RUSSINK, B. G.; MILES, J. R.; FEDDERSEN, F.; GUZA, R. T.; ELGAR, S. *Modeling the alongshore current on barred beaches. Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 106, n. C10, p. 22451–22463, 2001. <https://doi.org/10.1029/2000JC000766>
- SILVESTER, R. (1974). *Coastal Engineering*. Amsterdam: Elsevier.
- SVENDSEN, I. A. *Wave heights and set-up in a surf zone. Coastal Engineering*, v. 8, p. 303–329, 1984a.
- SVENDSEN, I. A. *Mass flux and undertow in a surf zone. Coastal Engineering*, v. 8, p. 347–365, 1984b.
- TAJIMA, Y.; MADSEN, O. S.; ASCE, M. *Modeling near-shore waves, surface rollers, and undertow velocity profiles. 2006. https://doi.org/10.1061/ASCE0733-950X2006132:6429*
- XIE, M. XIAO; ZHANG, C.; YANG, Z. WEN; LI, S.; LI, X.; GUO, W. JUN; ZUO, S. HUA. *Numerical modeling of the undertow structure and sandbar migration in the surfzone. China Ocean Engineering*, v. 31, n. 5, p. 549–558, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13344-017-0063-9>