BOLETIM DE GEOGRAFIA
ISSN: 2176-4786 | DGE - EDUEM - UEM | http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/index
DOI: https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v43.a2025.e70297 | Submissão: 10-11-2023 | Aceite: 04-11-2024

Dinâmica dos perfis de praia do litoral de Necoclí: subsídios para o uso e gestão sustentável do Caribe colombiano

Dynamics of beach profiles on the Necoclí coast region: subsidies for the sustainable use and management of the Colombian Caribbean

Andrés Felipe Julio Barragán
Universidad de Cantábria, Santander, Espanha
andresfelipe.julio@unican.es
https://orcid.org/0000-0002-2129-1770

Vladimir Giovanni Toro-Valencia
Universidad de Antioquia, Turbo, AN, Colômbia
vladimir.toro@udea.edu.co
https://orcid.org/0000-0003-4398-9472

David Valença Dantas
Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, SC, Brasil
david.dantas@udesc.br
https://orcid.org/0000-0001-6890-1313

Eduardo Gentil
Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, SC, Brasil
eduardo.gentil@udesc.br
https://orcid.org/0000-0002-6139-8636

RESUMO

Grande parte da linha de costa do Caribe Colombiano apresenta graves problemas de erosão costeira devido a fenômenos naturais e intervenções antrópicas. O município de Necoclí, localizado na zona sudoeste do Caribe Colombiano, não é exceção. Em virtude da sua peculiar geomorfologia e dinâmica costeira, há anos obras de proteção costeira tiveram que ser implementadas para reduzir os efeitos da erosão da linha de costa local. Entretanto, à época em que estas intervenções foram implementadas, houveram carências de estudos que pudessem avaliar o efeito destas obras de engenharia sobre a região. Deste modo, o presente trabalho avaliou a evolução e o transporte de sedimentos nas praias urbanas do município de Necoclí, a partir de simulações numéricas sobre regiões onde há notório adensamento de obras costeiras. Estas análises foram realizadas a partir da implementação do módulo PETRA do modelo numérico Sistema de Modelagem Costeira (SMC), tendo este sido calibrado/validado com dados *in situ* e perfis de praias detalhados. O uso do SMC permitiu comparações para períodos distintos, possibilitando avaliar o real impacto das obras costeiras sobre o transporte de sedimentos local. Assim, foi possível quantificar o efeito destas intervenções de engenharias em consonância com a variabilidade climática regional e processos de meso escala, sobre os processos de incremento da erosão costeira em praias adjacentes à porção em que as obras foram implementadas.

Palavras-chave: Modelagem numérica; Gerenciamento costeiro; Transporte de sedimentos; Erosão costeira.

ABSTRACT

Colombian Caribbean coastline presents serious problems with coastal erosion due these natural phenomena and human interventions. In Necoclí, located in the southwestern region of the Colombian Caribbean we can to ractify this scenario. Due to its peculiar geomorphology and coastal dynamics, hard coastal protection projects had to be implemented for years to reduce the effects of erosion on the local coastline. However, there was a lack of studies that could evaluate the effect of these engineering artefacts over the region. In this sence, the present work evaluated the evolution and transport of sediments on the urban beaches of Necoclí, based on different simulations. These analyzes were performed in the Coastal

Modeling System (SMC) numerical model, which was calibrated/validated with in situ data and detailed beach profiles. The use of the SMC allowed comparisons for different periods, making it possible to evaluate the real impact of coastal engineering projects on local sediment transport. Thus, it was possible to quantify the effect of coastal protection innitiatives in line with regional climate variability and mesoscale processes.

Keywords: Numerical modeling; Coastal management; Sediment transport; Coastal erosion.

1. INTRODUÇÃO

O Caribe Colombiano possui uma linha de costa com mais de 2550 km de extensão, sendo uma importante zona de geração de renda para diferentes segmentos, tais como: turismo, pesca e transporte marítimo (Posada-Posada; Pineda, 2008). Esta região, embora seja expressivamente relevante para o desenvolvimento regional, vem sofrendo há décadas com a erosão costeira, especialmente na porção sul do Caribe Colombiano, com destaque para o golfo de Urabá (Toro-Valencia; Palácio-Tobón; Correa-Ochora, 2021). Segundo a literatura, as taxas de recuo da linha de costa na região apresentam valores médios de -3 m/ano, com picos de até -40 m/ano (Taylor; Alfaro, 2005).

A erosão costeira desponta como um dos principais desafios a serem solucionados no Caribe Colombiano, afetando gravemente as comunidades ribeirinhas, a infraestrutura costeira e os ecossistemas associados (Scott; Simpson; Sim, 2012). Possivelmente, esta problemática é reflexo de diversos fatores, a saber: aumento do nível médio do mar, mineração de areia e implementação de empreendimentos imobiliários em locais inadequados (Gornitz; Kanciruk, 1989). Fato é que esta problemática tem gerado graves prejuízos aos cofres públicos. Para se ter ideia, no início dos anos 2000, o governo colombiano já havia empenhado mais de 2 milhões de dólares em 155 obras de proteção costeira para reduzir os efeitos da erosão local (Correa; Vernette, 2004). Por outro lado, a literatura aponta que as obras de proteção costeira também tendem a gerar impactos no litoral, especialmente sobre as porções costeiras adjacentes, transferindo o problema da erosão costeira ao invés de resolvê-lo de modo propositivo (Burningham, 2004). Adicionalmente, a literatura sugere que obras de proteção costeira já implementadas, poderiam ser suprimidas do litoral após a estabilização da linha de costa por estas provocadas (Invemar, 2003), fator que poderia impactar positivamente a beleza cênica do litoral, podendo reduzir inclusive, eventuais impactos que estas obras possam provocar nas porções adjacentes à sua localização.

Face ao exposto, o presente trabalho avaliou a evolução da linha de costa no município de Necoclí (Caribe Colombiano) considerando a dinâmica dos perfis de praia. Para tanto, foi implementado o módulo Petra do modelo numérico Sistema de Modelagem Costeira (SMC), calibrado com dados *in situ* para melhor representação do ambiente real (SMC-PETRA, 2023). Assim, esperamos contribuir para as discussões concernentes ao gerenciamento costeiro do Caribe Colombiano.

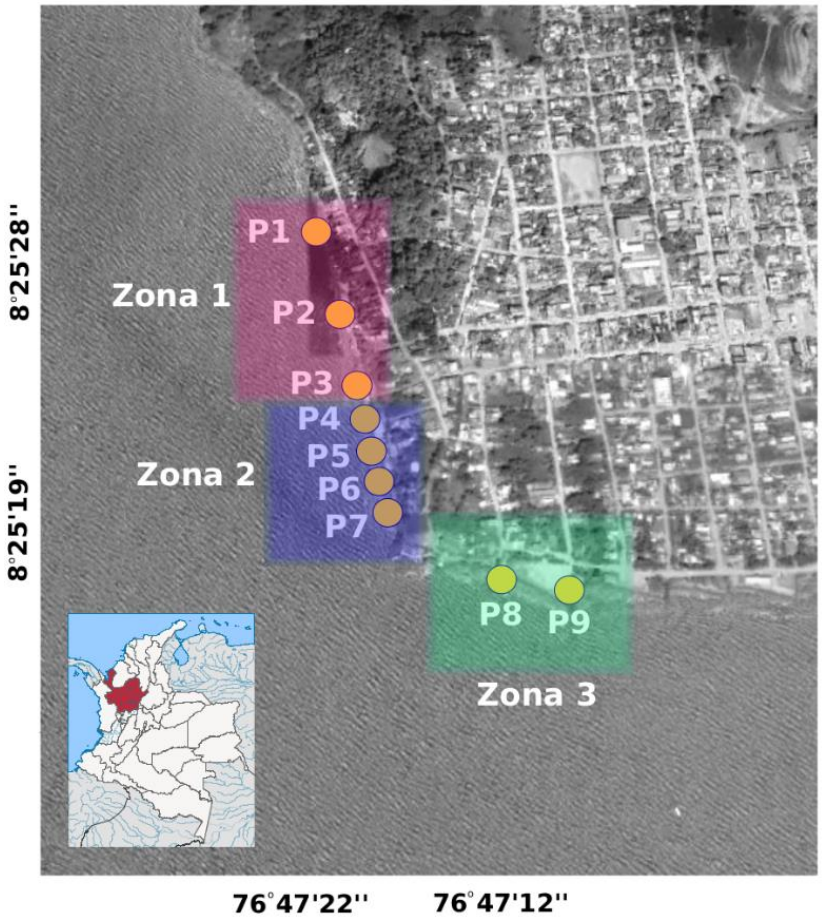
2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A cidade de Necoclí está situada no Caribe Colombiano, mais especificamente no litoral noroeste do departamento de Antioquia (**Figura 1**). Esta localidade é fortemente afetada pela migração latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Durante o período de estiagem (entre os meses de dezembro e março) há predomínio dos ventos alísios oriundos do quadrante norte e noroeste, enquanto no período chuvoso (entre os meses de abril e novembro) há predomínio dos ventos originários do Pacífico, sendo estes de quadrante sudoeste (Devis-Morales *et al.*, 2017). A região também apresenta um curto de período de transição chamado *veranillo de San Juan* entre os meses de junho e agosto (Devis-Morales *et al.,* 2017).

A região apresenta substancial interferência de obras de proteção costeira, com destaque para o cinturão de espigões presentes em toda a faixa litorânea local (**Figura 2**). Visando avaliar os efeitos destes sobre a dinâmica local, 9 perfis de praia foram avaliados neste trabalho, distribuídos em três zonas. A zona 1 tem os perfis 1, 2 e 3, a zona 2 apresenta os perfis 4, 5, 6 e 7 e, finalmente a zona 3 conta com os perfis 8 e 9.

Figura 1: Distribuição dos perfis de praia na área de estudo. P1 até P9 representam os pontos em que foram realizados os perfis



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 2: Presença de espigões no litoral de Necoclí, fator que evidencia a presença de obras de proteção costeira na região

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

2.2. Dados ambientais e simulação numérica

Nove perfis de praia foram monitorados na área de estudo em duas campanhas de campo distintas, a saber: o primeiro levantamento de campo foi realizado no dia 22 de maio de 2022 (período chuvoso), enquanto o segundo levantamento ocorreu no dia 16 de março de 2023 (período de estiagem). Todos os perfis foram realizados entre às 10:00 e 17:00 horas, com o auxílio de um GPS diferencial (DGPS) - CHCNAV, modelo GNSS RTK. A **figura 1** apresenta os pontos onde foram realizados os perfis de praia.

Paralelamente, também foram obtidos dados de altura significativa de ondas (Hs), período (Tp em segundos) e direção (Dp em graus) a partir de um sensor de pressão Bluelog e dados de correntes marinhas oriundas de um *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) - NORTEK Aquadopp Current Meter (AQD 6287). As variáveis analisadas para esta última variável foram: componente zonal da corrente (Uc em m/s), componente meridional da corrente (Vc em m/s), magnitude da corrente (UV m/s) e direção da corrente (Dpc em graus).

Para a caracterização das ondas e correntes marinhas, foram utilizados 100 dias de levantamento *in situ*, sendo 50 destes dedicados ao período chuvoso e os outros 50 dias ao período de estiagem. Ambos tiveram amostragem horária para o intervalo de tempo avaliado (coordenadas de fundeio: -76.83°W e +8.45°N).

Por fim, para caracterizar a granulometria dos sedimentos visando posteriormente implementação desta variável em ambiente de modelagem numérica, foram utilizados dados da literatura para a sedimentologia local (Escobar; Velásquez-Montoya, 2018). Estes autores coletaram 209 amostras de sedimentos, das quais, 53 amostras correspondem às praias do município de Necoclí.

Neste trabalho, utilizamos o módulo PETRA do Sistema de Modelagem Costeira (SMC) para simular a evolução da linha de costa da área de estudo. O PETRA simula o comportamento morfológico dos perfis de praia a partir da entrada de dados ambientais que possuem relação direta com a dinâmica costeira. Neste sentido, a entrada de dados de topografia, ondas, ventos, marés e características da granulometria de fundo, são indispensáveis.

O PETRA é um modelo de evolução de perfis de praia baseado em processos costeiros, assim, a taxa de transporte de sedimentos ao longo do perfil pode ser expressa pela **Equação (1)**:

$$\overline{q}(x) = \frac{1}{\Delta_t}\int_t^{t+\Delta_t}\int_{z_b}^{z_s} u(x,z,t)C(x,z,t)dzdt \qquad \textbf{(1)}$$

Onde:
u é a velocidade horizontal;
C é a concentração volumétrica do sedimento;
Δ_t é o passo do tempo morfológico;
z_s é a cota altimétrica.

Maiores informações sobre o modelo podem ser obtidas através do manual do SMC (SMC-PETRA, 2023).

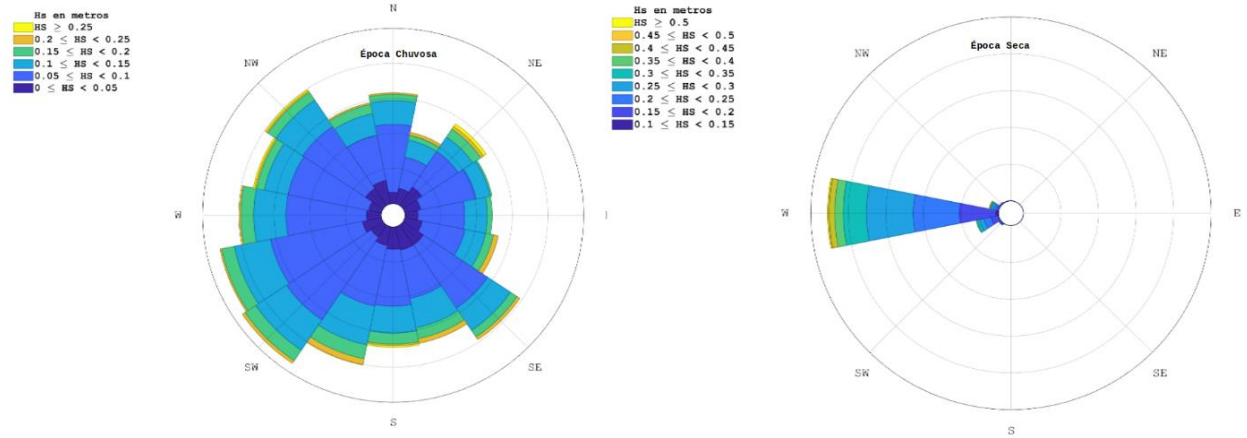
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de ondas para o período chuvoso (11 de agosto de 2021 até 1 de outubro do 2021) apresentaram valores poucos expressivos de altura significativa de onda (Hs < 1,5m). Já para o período de estiagem (seca), pôde ser percebido que os valores de Hs máximos foram inferiores a 1m (**Figura 3**).

Os campos direcionais de Hs evidenciam um predomínio do quadrante oeste (W) durante o período de seca. Em contraponto, observou-se um regime omnidirecional para o período chuvoso. Os

períodos oscilaram entre 4 e 10 segundos para a época chuvosa. Enquanto no período de seca foram observados períodos oscilando entre 5 e 7 segundos. Estes resultados sugerem que a região possui um predomínio de ondas *windsea*.

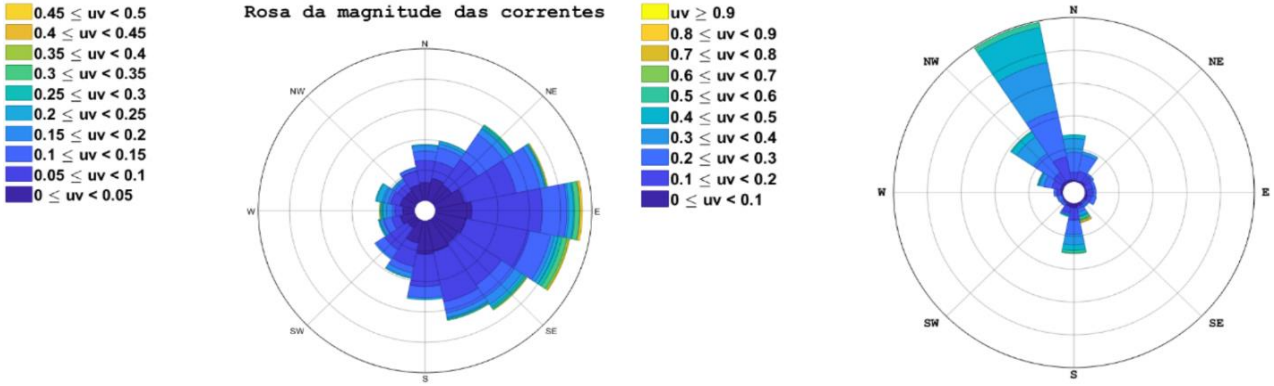
Figura 3: Rosa de Hs para a época chuvosa (esq.) e seca (dir.) na área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Foram processados dados de correntes marinhas para o período concomitante ao contemplado para o estudo das ondas de superfície. Nestes foi possível perceber que na área de estudo, a componente zonal apresenta maiores intensidades positivas (indo para leste) da ordem de 0,48 m/s (**Figura 4**). Já a componente meridional, apresentou valores máximos positivos de 0,28 m/s (indo para norte). A componente zonal apresentou predomínio dos quadrantes leste, sudeste e nordeste. Já a componente meridional foi mais preponderante a partir dos quadrantes: leste nordeste e nordeste. Já a magnitude com maior moda está nos quadrantes leste, sudeste e nordeste, para a época chuvosa.

Figura 4: Rosa das correntes marinhas para a época chuvosa (esq.) e seca (dir.) na área de estudo

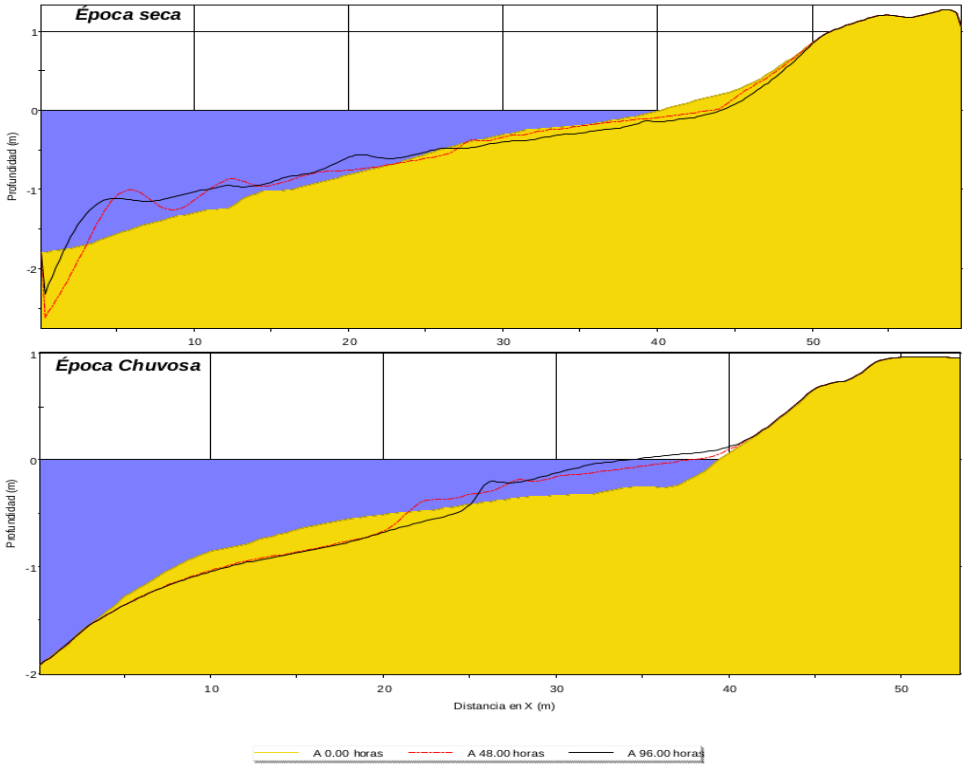


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A evolução do perfil 1 na época seca (após 48 e 96 h) apresenta erosão na berma e na face de praia, bem como, no terraço de maré (zona de espraiamento). O modelo sugere que os sedimentos erodidos nessas zonas estão se acumulando na zona de arrebentação e na zona de empolamento formando pequenas barras submarinas. A evolução do perfil 1, na época chuvosa sugere o oposto, apresentando erosão na zona de arrebentação e acumulação na face e no terraço de praia (**Figura 5**).

No perfil 1, os volumes de acumulação/erosão na época chuvosa alcançaram valores máximos de 3.75 m^3 e na época seca de 5.30 m^3. Enquanto as alturas de acumulação/erosão ultrapassam os 0.3 m na época chuvosa e 0.6 m na época seca. O retrocesso horizontal do nível do mar (NM) na época seca é de aproximadamente 4 m enquanto na época chuvosa este é aparentemente nulo após as 96h de modelagem.

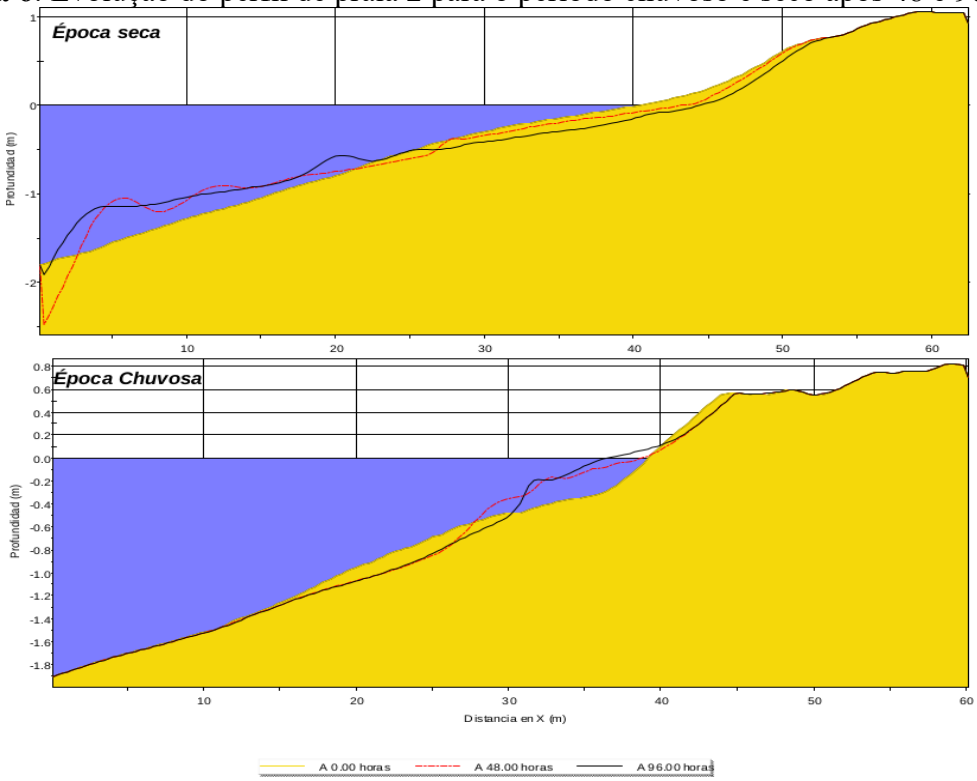
Figura 5: Evolução do perfil de praia 1 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No perfil 2, o volume de acumulação/erosão na época chuvosa atingiu valores máximos de 2.05 m^3 na época chuvosa e de 5.24 m^3 na época seca. Já a altura de acumulação/erosão foi de 0.3 m na época chuvosa e chegou aos 0.6 m na época seca (**Figura 6**).

Figura 6: Evolução do perfil de praia 2 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas

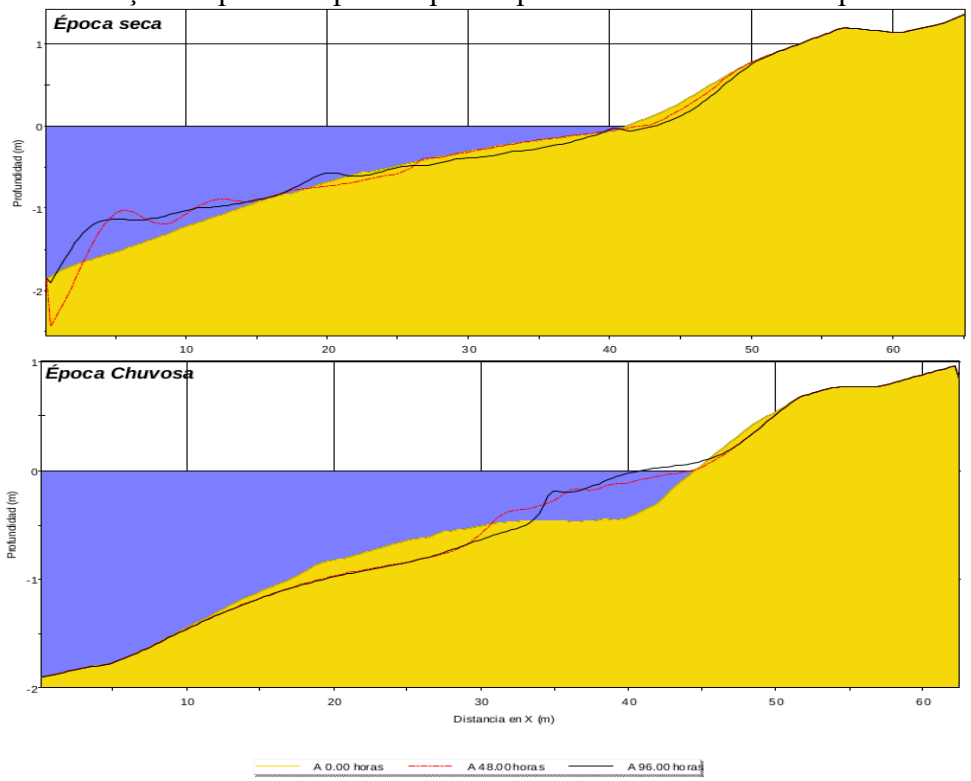


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A época seca apresentou acúmulo de sedimentos na parte final do perfil (zona de arrebentação) e perda na zona de empolamento. Já na época chuvosa, as maiores acumulações ocorreram na face da praia e terraço de maré, havendo também baixos níveis de erosão na zona de arrebentação. Por fim, observa-se que o retrocesso horizontal do NM foi nulo na época chuvosa e próximo dos 5 m na época seca.

Os volumes de acumulação/erosão no perfil 3 para a época chuvosa foram de 3.33 m^3 e na época seca foram de 4.83 m^3 (**Figura 7**).

Figura 7: Evolução do perfil de praia 3 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

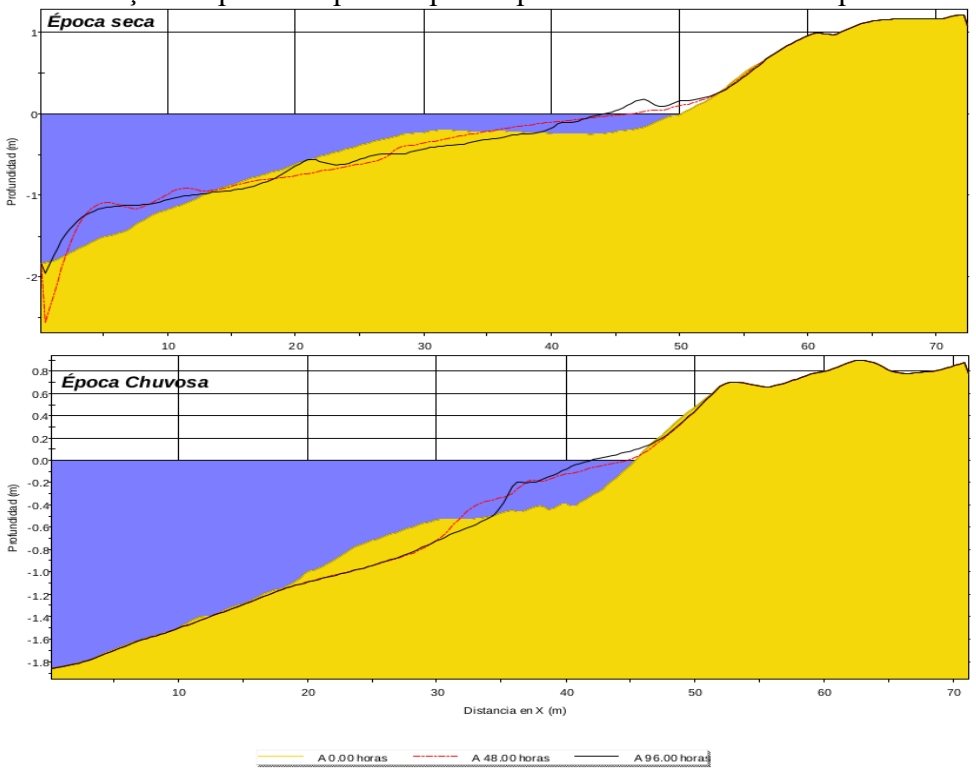
Importante observar que na zona 1 (perfis 1, 2 e 3) foi possível identificar processos erosivos na zona de arrebentação dos três perfis na época chuvosa. Já na época seca, os três perfis apresentaram erosão na face e terraço de praia. Além disso, na época seca tivemos os maiores volumes de erosão/acumulação nos três perfis em comparação com os dados obtidos no modelo para a época seca. Adicionalmente, os três perfis não apresentaram retrocesso horizontal da linha de costa na época chuvosa. Importante que isto coincide com a baixa magnitude dos diferentes parâmetros oceanográficos analisados para este período.

Por fim, observou-se que todos os perfis da zona 1 durante a época seca têm perda de sedimentos desde a berma até a zona de empolamento, isto é, os sedimentos estão se movendo da inicial do perfil para a porção final deste.

O volume acumulado/erodido no perfil 4 alcançou valores de 2.68 m^3 na época chuvosa e 6.60 m^3 na época seca. Enquanto as alturas de acumulação/erosão atingiram 0.4 m na época chuvosa e 0.6 m na época seca. O retrocesso horizontal do NM foi nulo na época chuvosa e seca após 96h de simulação numérica (**Figura 8**).

Foi possível identificar acúmulo de sedimentos no perfil 4 na época seca nas porções topograficamente mais altas. Na época chuvosa este mesmo comportamento mostrou-se persistente, mas com uma pronunciada erosão na zona de arrebentação, chegando está a aproximadamente 0.5m de altura.

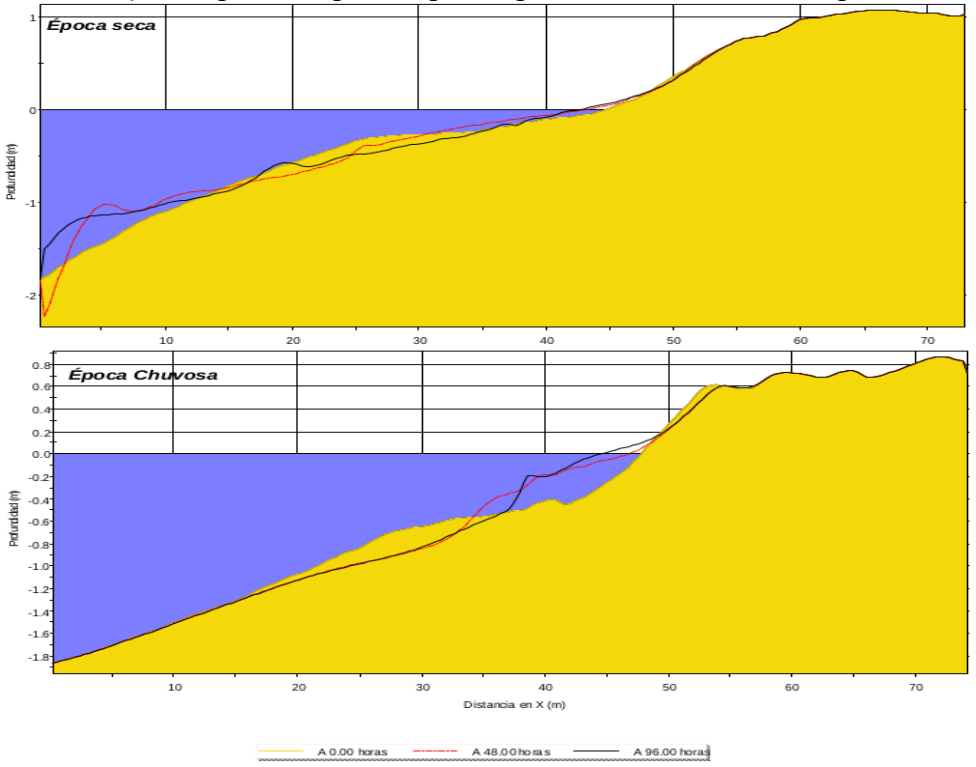
Figura 8: Evolução do perfil de praia 4 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No perfil 5, os volumes de acumulação/erosão na época chuvosa foram da ordem de 2.70 m^3 e na época seca de 4.72 m^3. Foi observado forte acúmulo de sedimentos no berma, face e terraço de praia (**Figura 9**). O retrocesso horizontal do NM foi nulo tanto para a época chuvosa como para a época seca mesmo após 96h de simulação numérica.

Figura 9: Evolução do perfil de praia 5 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No perfil 6 os volumes de acumulação/erosão para a época chuvosa foram da ordem de 2.97 m^3 e na época seca de 5.61 m^3. Já as alturas de acumulação/erosão ultrapassaram 0.3 m na época chuvosa e 0.6 m na época seca (**Figura 10**).

A evolução do perfil 6 na época seca, após 48 e 96 h de simulação, apresentou acúmulo na face de praia (**Figura 10**). Padrão que se repetiu na época chuvosa. Entretanto, a altura de acumulação nesta última foi o dobro quando comparado ao período de seca. Finalmente, o retrocesso horizontal deste perfil foi praticamente nulo em ambas as estações.

No perfil 7 os volumes de acumulação/erosão para a época chuvosa foram de 2.51 m^3 e na época seca de 5.84 m^3 (**Figura 11**).

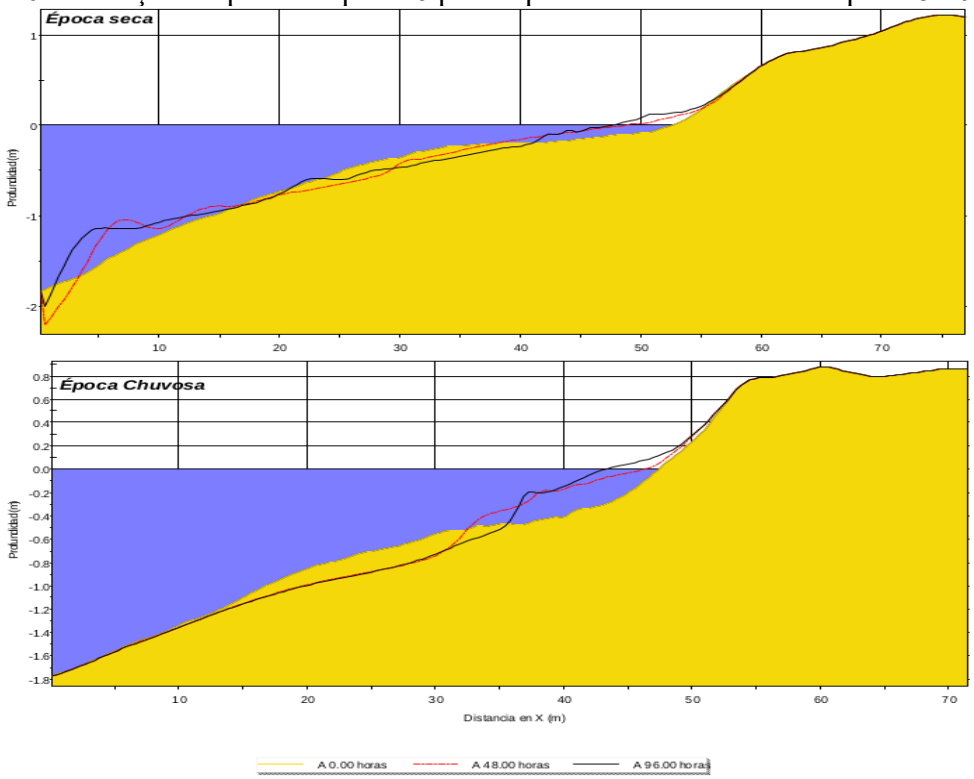
Na época chuvosa, os perfis 4, 5, 6 e 7, apresentaram forte acúmulo de sedimentos na zona de berma, face de praia e terraço de praia. A zona de arrebentação dos 4 perfis da zona 2 apresentaram tendências erosivas. Possivelmente, durante a época chuvosa há movimento de sedimentos em todas as porções dos perfis. Este padrão se repete na época de seca, mas com volumes de acumulação e alturas inferiores.

O retrocesso horizontal para todos os perfis de praia da zona 2, tanto na época chuvosa ou seca, foram praticamente nulos. Entretanto, foi possível observar que durante a época seca, todos os perfis apresentaram perda de sedimentos na zona de empolamento.

No perfil 8, os volumes de acumulação/erosão na época chuvosa foram da ordem de 3.08 m^3, enquanto na época seca o valor mensurado foi de 7.50 m^3 (**Figura 12**). O retrocesso horizontal para este perfil na época chuvosa foi de aproximadamente 0.5 m e de 2.5 m na época seca.

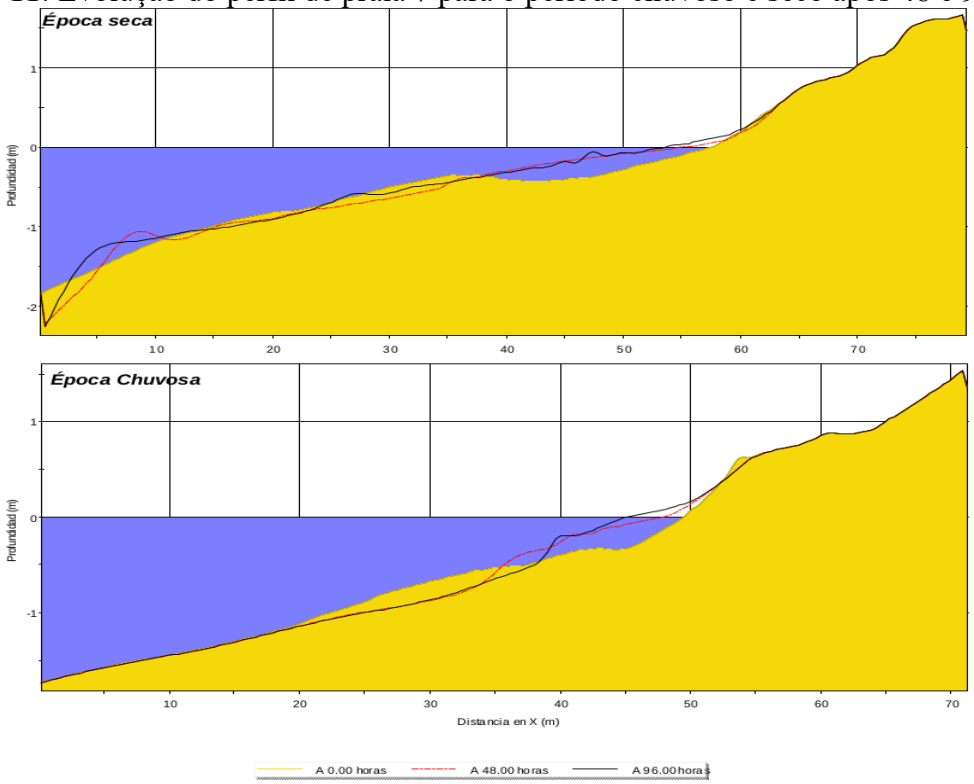
Por fim, no perfil 9 os volumes de acumulação/erosão para a época chuvosa foram de 2.01 m^3 e na época seca de 7.07 m^3 e o retrocesso horizontal, partindo do NM para a época chuvosa foi nulo durante todas as 96h de simulação e de 2.5 m na época seca (**Figura 13**).

Figura 10: Evolução do perfil de praia 6 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



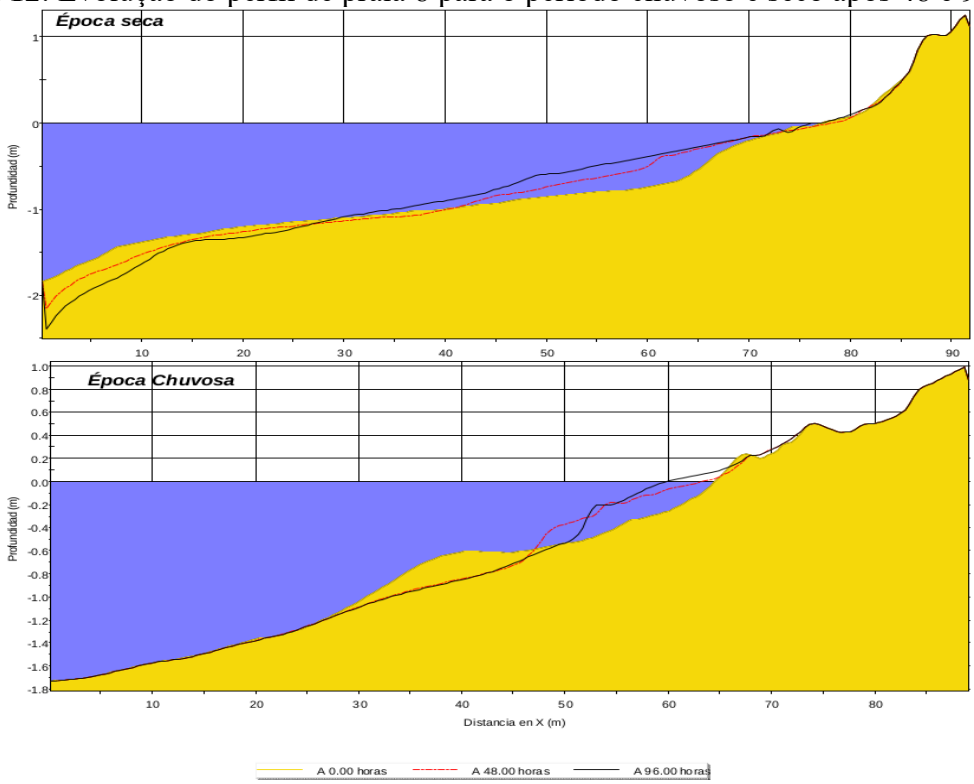
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 11: Evolução do perfil de praia 7 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



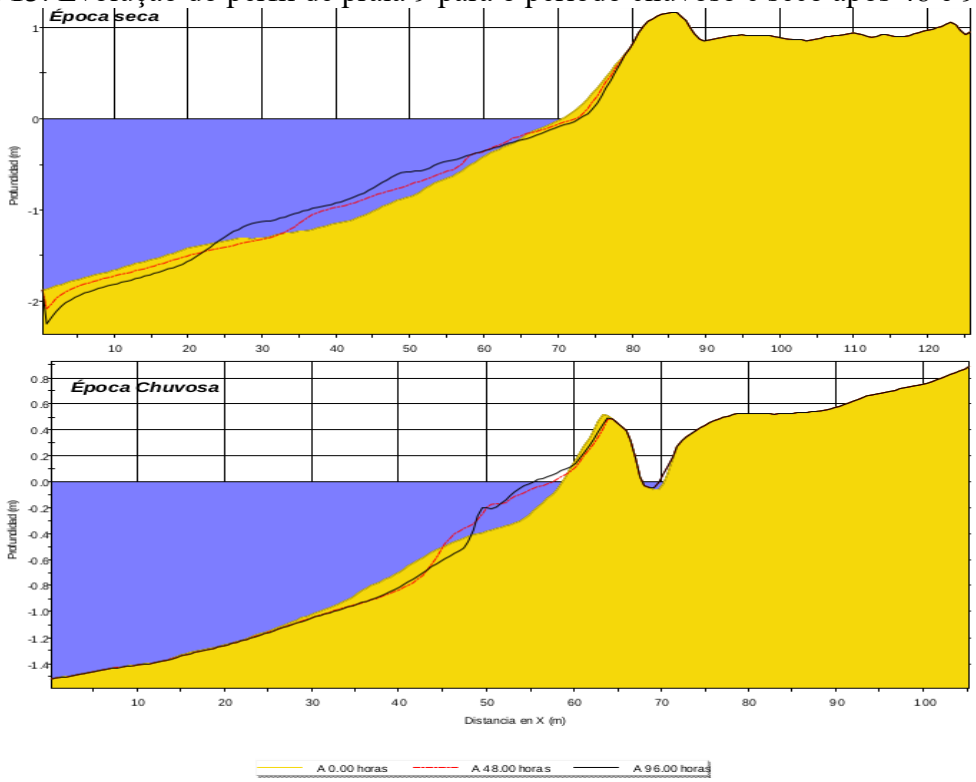
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 12: Evolução do perfil de praia 8 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 13: Evolução do perfil de praia 9 para o período chuvoso e seco após 48 e 96 horas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Diferentemente das zonas 1 e 2, a zona 3 tem um comportamento peculiar, dado que, na época seca o perfil 9 tem grande acúmulo de sedimentos na zona de espraiamento (chegando até 0.4m de altura), sendo estes transportados desde a zona de arrebentação. Esta última apresenta uma forte erosão. O comportamento do perfil na época chuvosa foi similar, tendo como única diferença o fato que os sedimentos na época chuvosa formam uma barra submarina. Por fim, o perfil 9 na época seca apresentou pouca erosão na berma, face de praia e zona de arrebentação, acumulando sedimentos na zona de espraiamento, tendo sido evidenciadas alturas de até 0.3m e volume de sedimentos da ordem de 7.1m^3.

A altura significativa de onda (Hs) na época chuvosa apresentou valores inferiores a 0.27 m, sendo estes resultados similares aos obtidos por estudos anteriores (Ortiz-Royero *et al.*, 2013). Entretanto, durante a época de seca estes valores chegaram aos 0.75 m, evidenciando uma sazonalidade expressiva entre os períodos avaliados. Padrões similares entre o observado neste trabalho e o que está assinalado na literatura também foram encontrados para as intensidades de correntes que, em sua maioria estiveram entre 0.05 e 0.3 m/s (Toro-Valencia; Palácio-Tobón; Correa-Ochoa, 2021). Vale salientar que na época seca também ocorre uma intensificação das correntes, podendo estas chegarem até 0.83m/s.

Todos os perfis apresentaram forte erosão na zona de arrebentação, algo já esperado e, inclusive, constatado por outros autores (Ortiz-Royero *et al.,* 2013). Adicionalmente, observou-se que os valores acumulação/erosão foram maiores na zona 1 com uma média de 3.043 m^3, em relação à zona 2 e 3 com uma média de 2.715 e 2.545 m^3 respectivamente. Possivelmente, isto é devido as menores faces de praia observadas na zona 1.

Na época chuvosa, as zonas 1, 2 e 3, apresentaram diferenças morfológicas. Salienta-se que a zona 3 foi a que apresentou maior similaridade entre os perfis (8 e 9). Na zona 1 as praias são comparativamente menores, sendo a distância vertical do perfil entre a duna e a zona submersa da ordem entre 54 e 62 m, sendo a zona com o menor número de pontos levantados e com fortes problemas de erosão. Para saber, a diferença de cotas altimétricas foram as seguintes: a altura nas

porções emersas oscilou em média entre 0.8 e 0.99 m, enquanto a porção submersa apresentou valores entre -1.9 e -1.95m.

Na zona 2 os perfis tiveram comprimento entre 70 e 74 m e forte variabilidade entre épocas chuvosa e seca, fator que pode estar relacionado com a geomorfologia local, quantidade de obras duras e grande diferença entre a altura dos pontos emersos e submersos. Já a zona 3 apresentou a maior extensão de praia, oscilando entre 89 e 105m, apresenta, portanto, a maior quantidade de pontos emersos.

Na zona 1 estão os perfis mais curtos e cotas batimétricas mais expressivas: no perfil 1 foram observados os maiores volumes de acumulação/erosão entre todos os 9 perfis estudados (3.75 m^3 e altura de até 0.35m). Já o perfil 2 apresenta valores comparativamente inferiores no que concerne ao volume de sedimentos acumulados (2.05 m^3 e altura de 0.3m). Por fim, o perfil 3 apresentou volumes de altura e acumulação/erosão da ordem de 0,5m e 3.33 m^3, respectivamente.

Na zona 2, os perfis 4 e 5 apresentaram resultados similares, já que o volume de acumulação/erosão foram 2,68 e 2,70 m^3, respectivamente + alturas de 0.4m. No geral, esta zona apresentou taxas de acumulação entre 2.5 e 3 m^3 e altura média de 0.35 m.

Por outro lado, na zona 3 os volumes de acumulação/erosão oscilaram entre 2 e 3 m^3, com alturas menores de 0.35 m. Assim, esta foi a zona que apresentou as menores taxas de volume de acumulação/erosão de sedimentos e menores alturas, contrastante com a zona 1. Isto pode ser devido ao fato que a zona 3 tem uma barreira natural de proteção e não recebe as ondas diretamente como acontece nas zonas 1 e 2. As ondas na zona 3 tem um pequeno grau de incidência sobre a costa, o que ajuda a que a onda sofra o processo de difração e dissipação e isto pode ser crucial para que os valores de onda e corrente sejam menores nessa área de estudo, tendo assim menor dinâmica e movimento dos sedimentos.

Na época seca, os perfis 1 e 2 apresentaram resultados similares, dado que os volumes de erosão/acumulação foram da ordem de 5.2 m^3 com alturas de acumulação maiores que 0.6m e alturas de erosão com aproximadamente 0.25 m. O perfil 3 apresentou a maior altura de acumulação (0.8m) com altura de erosão de 0.25 m e volume de acumulação/erosão de 4.83 m^3.

Nas zonas 1 e 2, sendo estas as que recebem as ondas e correntes diretamente sobre a costa e não possuem "proteção natural" como a zona 3, são as que apresentam valores mais expressivos, com pouca diferença entre os perfis desta (8 e 9).

De fato, retrocessos da linha de costa provocados pontualmente por obras de proteção costeira são mínimos, tendo, eventualmente efeito acentuado em porções adjacentes (Rodríguez *et al.,* 2010). Entretanto, mudanças no campo de refração das ondas podem afetar a estabilidade da linha de costa (Kantamaneni; Du; Aher; Singh, 2017).

A zona 2 apresentou tendências erosivas em todos os perfis, apesar do padrão pontual de acúmulo de sedimentos no início e final de cada perfil. Neste sentido, as alturas de acumulação foram superiores a 0.7 m nos perfis 4 e 6 (com volumes de acumulação/erosão de 4.83 e 4.72 m^3, respectivamente). Nos perfis 5 e 7, os volumes de acumulação/erosão foram 6.60 e 5.61 m^3, respectivamente. Por fim, foi observado que os maiores volumes de acumulação/erosão estão nos perfis da zona 3 (> 7 m^3). Estes últimos apresentaram alturas de acumulação/erosão média de 0,3 m.

4. CONCLUSÕES

As componentes oceanográficas analisadas apresentaram expressivas diferenças entre as estações, reforçando o efeito da sazonalidade nesta região. De fato, os períodos de seca apresentaram maiores intensidades de correntes e altura significativa de ondas, o que geram impactos mais expressivos na dinâmica costeira local, com implicações melhor observáveis nos quantitativos de erosão e sedimentação, conforme apresentado pelo modelo.

O período chuvoso se notabilizou pelo movimento de sedimentos em toda a extensão dos perfis, demonstrando o efeito desta variável ambiental sobre a dinâmica costeira local.

Adicionalmente, neste período praticamente não houveram retrocessos horizontais (com exceção dos perfis 1 e 8), o que sugere uma possível influência das precipitações sobre a compactação dos sedimentos da faixa praial.

Já na época seca, todos os perfis da zona 1 apresentaram erosão, embora estas ocorressem em locais distintos dos perfis (arrebentação, face de praia ou zona de espraiamento, a depender do perfil). Possivelmente, reflexo da intensificação das condicionantes ambientais vigentes neste período. Assim, os resultados deste trabalho reforçam o efeito da sazonalidade sobre a dinâmica costeira, sendo, portanto, necessário a adoção de medidas que contemplem a defesa do litoral não apenas para a climatologia regional, bem como, para os extremos, garantindo que a praia possa ser mantida, assegurando os diferentes atores que geram renda e divisas neste ambiente, bem como, mantendo a fauna e flora que dependem deste ambiente para a manutenção do seu ciclo de vida.

Os processos de difração e dissipação da onda são cruciais na interpretação dos resultados de saída do modelo, dado que, estes podem ser fortemente afetados por geoformas e/ou ecossistemas marinhos locais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do projeto “PROPRAIAS: qualidade ambiental das praias do Brasil e Caribe” (NPP2015010003752).

REFERÊNCIAS

BURNINGHAM, H. Coasts: form, process and evolution. **Transactions of the Institute of British Geographers**, United Kingdom, v. 29, n. 1, p. 140-141, 2004.

CORREA, I.D.; VERNETTE, G. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (Sector Arboletes -Turbo). **Bolet. Invest. Mar. Cost.**, Santa Marta - Colômbia,v. 33, p. 5-25, 2004.

DEVIS-MORALES, A.; MONTOYA-SÁNCHEZ, R.A.; BERNAL, G.; OSORIO, A.F. (2017). Assessment of extreme wind and waves in the Colombian Caribbean Sea for offshore applications. **Applied Ocean Research**, Netherlands, v.69, p. 10-26. 2017. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.apor.2017.09.012.

ESCOBAR, C.; VELÁSQUEZ-MONTOYA, L. Modeling the sediment dynamics in the gulf of Urabá, colombian Caribbean Sea. **Ocean Engineering**, Netherlands,v. 147, p. 476-487, 2018.

GORNITZ, V.; KANCIRUK, P. (1989). Assessment of global coastal hazards from sea level rise. In: 6. SYMPOSIUM ON COASTAL AND OCEAN MANAGEMENT, Charleston, 1989. **Annals […]**, Disponível: https://www.osti.gov/servlets/purl/5966579. Acesso em: 19 de maio 2025.

KANTAMANENI, K.; DU, X.; AHER, S.; SINGH, R.M. Building blocks: A quantitative approach for evaluating coastal vulnerability. **Water**, Switzerland, v. 9, n. 12, p. 1-15, 2017. https://doi.org/10.3390/w9120905.

INVEMAR. **Diagnóstico, zonificaclón y definición de la estructura administrativa y manejo de la unidad costera del Darién, Caribe colombiano. Fase I. Caracterización y diagnóstico**. Informe técnico. p. 698. 2003.

ORTIZ-ROYERO, J.C.; OTERO, L.J.; RESTREPO, J.C.; RUIZ, J.; CADENA, M. Cold fronts in the Colombian Caribbean Sea and their relationship to extreme wave events. **Natural Hazards and**

Earth System Sciences, Germany, v. 13, n. 11, p. 2797–2804. 2013. https://doi.org/10.5194/nhess-13-2797-2013.

POSADA-POSADA, B.O.; PINEDA, W.H. **Diagnóstico de la erosión en la Zona Costera del Caribe Colombiano**. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales. n. 13, p. 1-200. 2008.

RODRÍGUEZ, V.T.; GARCÍA, A.M.; CREVENNA, A.B.; HERNÁNDEZ, J.C.; DÍAZ, G.E.; GARCÍA, E.M. **Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático**. SEMARNAT-INE, v.1, p. 325-344, 2010.

SCOTT, D.; SIMPSON, M.C.; SIM, R. The vulnerability of Caribbean coastal tourism to scenarios of climate change related sea level rise. **Journal of Sustainable Tourism**, United Kingdom,v. 20, n. 6, p. 883-898, 2012. https://doi.org/10.1080/09669582.2012.699063.

SMC-PETRA. 2023. **Modelo de evolução do perfil transversal de praia**. 2023. https://smcbrasil.paginas.ufsc.br/files/2019/01/Manual-do-Usu%C3%A1rio-do-PETRA.pdf. Acesso em: 01 de nov. 2023.

TAYLOR, M.; ALFARO, E. Climate of Central America and the Caribbean. In: **Encyclopedia of World Climatology** (Oliver JE, Ed.), Springer, Netherlands, p. 183-189, 2005.

TORO-VALENCIA, V.G.; PALÁCIO-TOBÓN, C.A.; CORREA-OCHOA, M.A. **Erosión costera en el litoral antioqueño. Compilación de resultados**. 2021. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/26757/4/GobAnt_2021_ErosionCosteraLitoralAntioque%c3%b1o.pdf. Acesso em: 16 de out. 2023.

Informações sobre a Licença
Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.