

15ª Vara (Subseção de Limoeiro do Norte)

**Processo Nº: 0800403-03.2020.4.05.8101
AÇÃO CIVIL PÚBLICA**

Perícia Realizada na Praia da Peroba – Icapuí – CE, Referente as Medidas mais Adequadas de Contenção da Erosão Costeira

**Prof. Dr. LUÍS PARENTE MAIA
Perito Judicial**

Fevereiro - 2024

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 – Introdução | 3 |
| 2 – Erosão Costeira..... | 7 |
| <i>Figura 1 – Fontes e transporte de sedimentos na zona costeira. Fonte: Goodrich et al., 2020.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Figura 2 – Localização das praias, com a contenção erosiva do tipo enrocamento. A linha amarela delimita os locais com a presença dos muros de pedra (definição local).</i> | <i>10</i> |
| 3 – Obras de Proteção e Recuperação Costeira | 11 |
| <i>Figura 3 – Estágios evolutivos do comportamento da praia à frente de um enrocamento. Fonte: ARVOREAGUA, 2024.</i> | <i>14</i> |
| 4 – Estrutura Proposta..... | 16 |
| <i>Figura 4 – Campo de Espigões permeáveis da Praia do Icaraí, Município de Caucaia.</i> | <i>17</i> |
| Definição da Solução Utilizando Espigões | 19 |
| <i>A influência das Ondas</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 5 – Rosa da altura significativa (Hs) das ondas dos tipos sea e swell.....</i> | <i>20</i> |
| <i>Figura 6 – Classificação das zonas de propagação das ondas em função da profundidade.</i> | <i>21</i> |
| <i>Simulações Hidrodinâmicas.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 7 – Simulação das ondas do tipo sea para as condições atuais, mostrando o efeito dos altos fundos na propagação das ondas (área em vermelho).</i> | <i>24</i> |
| <i>Figura 8 – Simulação das correntes costeiras da situação atual e as causas da erosão associada.</i> | <i>24</i> |
| <i>Figura 9 – Simulação das ondas dos tipos sea e swell com as duas opções, com um e dois espigões.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 10 – Simulação das correntes com dois espigões e a formação de zonas de acreção.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 11 – Coordenadas UTM da localização dos dois espigões.</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 12 – Modelo idealizado do efeito final da instalação dos dois espigões.</i> | <i>27</i> |
| <i>Dimensionamento dos Blocos da Estrutura</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 13 – Caracterização geral da Seção Transversal do Espigão.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Volume e Estimativa financeira das Soluções</i> | <i>30</i> |
| 5 – Processo judicial - indicação de quesitos. | 31 |
| Superintendência do Patrimônio da União no Ceará | 31 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 14 – Faixa de praia e vegetação fortemente afetada pela erosão costeira.</i> | 33 |
| Ministério Público Federal..... | 34 |
| <i>Figura 15 – Proprietários que investiram altos valores em medidas de proteção paliativas e emergenciais, tentam salvar suas estruturas diante da força do avanço do mar na praia da Peroba, Icapuí-CE.....</i> | <i>40</i> |
| Associação Preserve Peroba..... | 41 |
| Associação dos Moradores da Peroba | 45 |
| 6 - Referências Bibliográficas..... | 49 |
| <i>Declaração Academia Cearense da Língua Portuguesa.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Ata de Reunião de Visita técnica In Loco - Praia da Peroba</i> | <i>53</i> |
| <i>ANEXO 1 – ARQUIVO AUTOCAD CONTENDO BATIMETRIA, DESENHO EM 3D DOS ESPIGÕES, CÁLCULO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS E VOLUME DE ROCHAS NECESSÁRIOS PARA A EXECUÇÃO DAS SOLUÇÕES.</i> | <i>58</i> |
| <i>ANEXO 2 – ESTUDO VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA DO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ-CE ENTRE 1988 E 2023 SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO INTEGRADA DA ZONA COSTEIRA</i> | <i>58</i> |

1 – Introdução

As regiões e comunidades costeiras estão entre as áreas mais densamente povoadas do mundo. Estas zonas costeiras enfrentam desafios cada vez mais exigentes e complexos, à medida que se esforçam para satisfazer as necessidades e exigências concorrentes da sociedade e do ambiente, em particular, em face do avanço das alterações climáticas e da subida do nível do mar. Os esforços da Engenharia de Proteção Costeira ajudam a acomodar e apoiar a grande variedade de necessidades para proteger estes recursos preciosos. Avaliar e abordar os impactos das alterações climáticas e da sociedade ao longo das nossas costas significa que é essencial uma compreensão profunda e consciente dos processos costeiros.

Na qualidade de organismos beneficiários, os oceanos e os mares recebem, nas suas zonas costeiras, os benefícios de uma gestão adequada das bacias hidrográficas, mas também são alvos dos danos associados ou resultantes de processos ineficientes da gestão. Em particular, a baixa qualidade da água, a extração e a retenção de sedimentos nas estruturas implantadas nos sistemas fluviais (barragens) são os fatores mais evidentes que afetam o uso, os recursos naturais e as atividades passíveis de ocorrer nas zonas costeiras (ANTUNES DO CARMO, 2019).

Estas áreas proporcionam uma série de serviços ou benefícios ecossistêmicos, incluindo proteção costeira, produção de peixe, recreação e outros valores económicos e culturais. Além disso, são reservatórios abundantes de biodiversidade e ecossistemas dos quais depende o funcionamento do Planeta. Os habitats costeiros enfrentam, no entanto, riscos crescentes em todo o mundo como resultado da atividade humana. Estes habitats arrostam as ameaças da poluição por nutrientes, do esgotamento dos recursos e das alterações climáticas causadas, principalmente, pelas ações humanas. Estas ameaças colocam ainda mais pressão sobre os sistemas ambientais, como a biodiversidade e as infraestruturas naturais, ao mesmo tempo em que criam problemas socioeconómicos globais, incluindo riscos de saúde, segurança e financeiros (SDG COMPASS, 2015).

Embora o estado do oceano e de vários dos seus recursos e funções tenha vindo a deteriorar-se à extensão do século imediatamente passado, a degradação dos serviços

ecossistêmicos é capaz de piorar significativamente durante a primeira metade deste século e constitui um obstáculo à consecução dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005). Na verdade, a maioria dos ecossistemas costeiros está sob uma pressão perceptível, comprometendo os serviços que prestam. Portanto, a necessidade de implementar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS 14 e as suas sete metas e três meios de implementação para transformar o comportamento humano em práticas sustentáveis, explorando os recursos marinhos e tomando medidas para preservar oceanos e mares produtivos e resilientes, é cada vez mais urgente (SCHMIDT et al. 2017). É neste contexto que as intervenções nas zonas costeiras, seja para aumentar a valorização ou para implementar medidas de proteção, devem ser mais bem concebidas para salvaguardar o ambiente, os serviços ecossistêmicos e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Impactos Socioeconômicos

Alguns dos desafios mais significativos que as zonas costeiras enfrentam hoje incluem as erosões das praias, costeira, das linhas de falésias, a das dunas, bem como os impactos nas costas de tempestades intensas, inundações, aumento do nível do mar e perda de vida selvagem e de habitat. Os impactos da erosão costeira são passíveis de ser categorizados como sociais, culturais, ambientais ou econômicas. Prever os potenciais efeitos sociais da erosão costeira é algo complexo, uma vez que serão em grande parte determinados pela abordagem adotada para lidar com a erosão, tais como expressos na sequência.

- Valores de recreação – As áreas costeiras desempenham um papel significativo na vida dos cearenses e são frequentemente valorizadas pelas atividades recreativas que proporcionam. As atividades recreativas (banhos de sol, piqueniques, natação, *surf*, pesca, passeios de barco, mergulho) estão suscetíveis de ser afetadas se as praias forem reduzidas em largura ou desaparecerem completamente.
- Desigualdade social – A proteção costeira custa geralmente mais do que o valor de mercado das terras rurais não urbanizadas, mas menos do que o valor dos terrenos e estruturas desenvolvidas. As obras de proteção costeira têm, portanto, maior probabilidade de serem priorizadas em áreas com maior valor

da terra. Isto é capaz de levar à desigualdade em áreas com valores de terra mais baixos, características das áreas rurais e áreas de conservação, onde os residentes estarão em maior risco dos efeitos sociais do deslocamento.

- Tensões políticas e sociais – É possível que surjam tensões políticas e sociais como resultado das medidas tomadas para combater a erosão costeira. Por exemplo, o grande investimento necessário nas zonas costeiras é passível de não ser considerado uma resposta econômica adequada pelas pessoas que vivem noutros locais.
- Bem-estar da comunidade – Muitos dos efeitos sociais ora mencionados são capazes de trazer impacto ao bem-estar da comunidade como um todo. Um impacto positivo no bem-estar da comunidade devido à erosão costeira, no entanto, é suscetível de produzir um aumento no empoderamento da comunidade. O reassentamento contribui, muitas vezes, para problemas de sobrelotação nos restantes das terras (áreas de risco), dependendo da quantidade de terra adequada que resta e de quão bem o reassentamento é gerido. A superlotação tem repercussões na saúde.
- Saúde – Vivendo com estresse e incerteza. Problemas de saúde mental, incluindo ansiedade, depressão e suicídio, são surgentes da perda de propriedades, de locais históricos e culturais de valor, de redes comunitárias (se as pessoas forem forçadas a se mudar, de rendimentos, de deslocação de casas e da incerteza do risco).

Impactos Ambientais

Numerosos efeitos poderão ocorrer no meio ambiente – cuja natureza e gravidade dependem dos esforços envidados para combater a erosão. Os ambientes de dunas e zonas úmidas são de particular importância para espécies ameaçadas nos planos nacional e regional. Outros habitats costeiros raros e ameaçados incluem florestas costeiras (manguezais e restingas), tapetes de ervas marinhas e planícies entre marés. Adotar uma abordagem de “defesas duras” resulta em efeitos ambientais adversos imediatos, tais como perdas de qualidade cênica, de acesso, de resiliência a ataques de tempestades e redução do fornecimento de sedimentos à costa. Os efeitos

a médio prazo podem incluir o estreitamento das praias, as perdas de sedimentos, de comodidades e de habitat natural. Os benefícios disto são que as praias são mantidas, uma paisagem costeira natural é criada/preservada, um ecossistema costeiro funcional é preservado/criado e o valor de lazer da costa é sustentado.

A reflexão das ondas nos paredões de pedra agrava a perda de sedimentos nas praias. A longo prazo, o sistema sedimentar natural é alterado, uma vez que os sedimentos anteriormente produzidos pela erosão costeira já não estão disponíveis e, assim, o ecossistema costeiro se ajusta. Isto exige mudanças noutros locais do sistema costeiro fora da área diretamente afetada pelas defesas. No caso de ‘espigões’ ou quebra-mares *offshore*, o sistema costeiro natural é alterado e a sua capacidade de lidar com as mudanças nas condições ambientais (fornecimento de sedimentos, tempestades, mudança de zonas de alimentação de algumas espécies) é reduzida. O efeito líquido é exigir ainda mais intervenção de engenharia costeira. A manifestação final desta abordagem é a substituição de todas as costas arenosas por defesas rígidas.

Praias e dunas estão submetidas a erosão em decorrência da redução do aporte de sedimentos. O ecossistema marinho está exposto a danos com a falta de aportes de sedimentos. Não existem impactos ambientais negativos resultantes de uma abordagem de remoção da população “retirada gerida”. A retirada gerida oferece a oportunidade de potencial melhoria ambiental, à medida que novos pântanos salgados das marés são incentivados a expandir-se. Com uma abordagem de “defesas suaves”, há evidências de que as praias recarregadas têm fauna e flora pobres em comparação com as praias naturais, especialmente a curto e médio prazos e, portanto, um impacto negativo no ecossistema será provavelmente o principal custo social imediato. Algumas estruturas rígidas (por exemplo, paredões, quebra-mares) são habilitadas a afetar fatores que contribuem para os valores de comodidade do ambiente, tais como efeitos visuais, caráter natural e acesso público.

Impactos Econômicos

Os impactos econômicos incluem a perda de produtividade da terra, infraestruturas e propriedades. A erosão costeira afeta negativamente os rendimentos das pessoas em decorrência da perda de terras produtivas rurais. A erosão em uma

propriedade ou nas proximidades resulta em uma redução no valor ou preço da propriedade. Os proprietários afetados também poderão descobrir que é difícil obter um seguro ou uma hipoteca para a habitação se esta tiver sido ou for suscetível à erosão. A perda de propriedade surgirá se as obras de proteção costeira não forem realizadas ou não forem bem-sucedidas. As pessoas, em repetidas ocasiões, não têm condições de reparar ou mesmo demolir propriedades danificadas. Relacionados com isto estão os custos potenciais associados à mudança de uma casa ou, no caso de perda de uma habitação, os custos associados à compra ou arrendamento de outra casa.

Dependendo da forma como o município aborda a erosão costeira, esta tem o potencial de afetar a pesca artesanal e comercial e a indústria da aquicultura, danificando as zonas úmidas costeiras e alterando a qualidade da água das zonas estuarinas. As comunidades dependentes do turismo costeiro ou portuário poderão registar uma diminuição nas despesas turísticas. A produtividade reduzida das empresas que dependem de infraestruturas afetadas pela erosão (como a rede de transportes), ou que incorrem em custos para mitigar a erosão, terá um efeito de repercussão na economia local.

A erosão costeira compromete a infraestrutura comunitária, consoante ocorre com o desempenho dos sistemas de drenagem superficial e pluvial em povoações costeiras baixas. A erosão também danifica a infraestrutura de transporte (rodoviárias) por meio de inundações e/ou erosão de estradas. Mudanças na sedimentação ao redor da costa influem negativamente nas rotas de navegação. Passarelas/ciclovias costeiras e portuárias também são passíveis de estar em risco. Essa infraestrutura foi paga pelos moradores por meio de taxas e impostos. Portanto, prejudicam diretamente os fundos públicos à proteção contra riscos de inundação, à reparação e modernização de infraestrutura e à ajuda humanitária em caso de catástrofe, representando um custo para a comunidade.

2 – Erosão Costeira

Muitas das principais cidades e vilas do mundo estão localizadas em zonas costeiras, incluindo estuários e planícies aluviais, e ocupam terras a menos de 10 metros acima do nível do mar, como os casos de Icapuí e Acaraú/Itarema, no Ceará. As

populações costeiras são altamente vulneráveis aos impactos da elevação do nível do mar, eventos climáticos extremos, erosão costeira, instabilidade das falésias e inundações. Estão, portanto, na linha da frente em termos de impactos das alterações costeiras. Enquanto a comunidade global negocia, o dióxido de carbono continua a ser emitido em uma taxa cada vez maior. Essas mudanças continuarão a aumentar e estão levando a um aumento significativo na frequência de perigos e riscos para residentes costeiros, residências e comércio, infraestrutura e prosperidade econômica nas zonas costeiras de maneira mais ampla. Tais impactos aumentam a urgência de desenvolver medidas de resposta apropriadas, tomando fortes ações de mitigação e implementando medidas inovadoras de adaptação (COMMITTEE ON CLIMATE CHANGE, 2018).

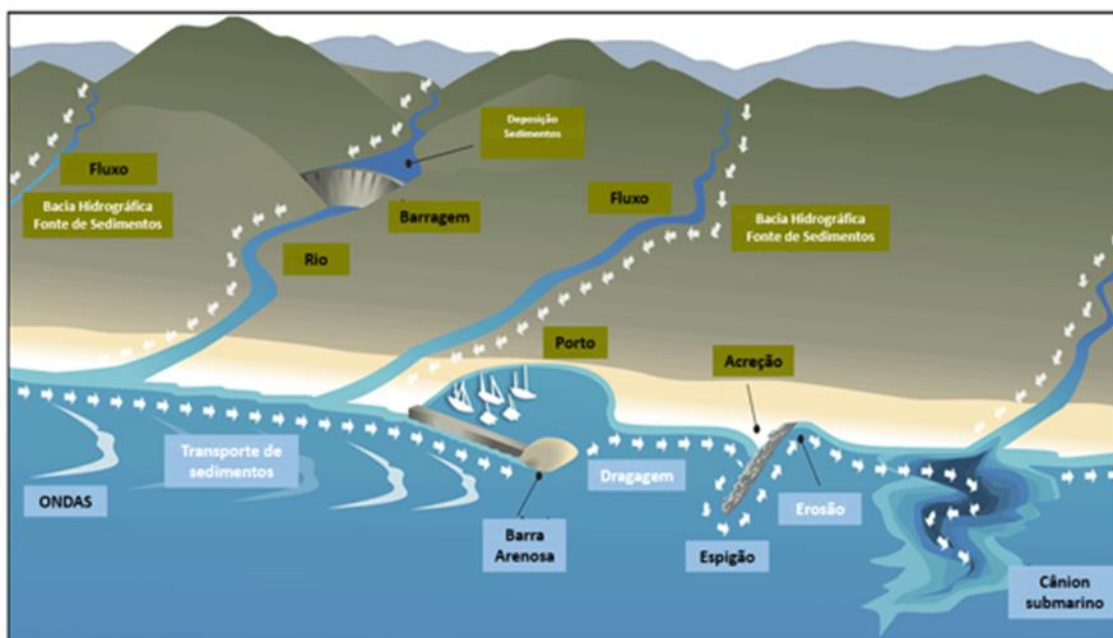
A erosão costeira no Ceará é um fenômeno natural e que vem se agravando à extensão dos anos. De início, o problema ficou centrado no litoral metropolitano após a construção do porto do Mucuripe (1939-1945). Essa construção afetou drasticamente o transporte litorâneo de sedimentos e, com a conclusão das obras, surgiram três problemas principais: a) o cais do porto foi rapidamente assoreado; b) o dique construído não protegeu totalmente a zona de atracação das ondas *swell*; e c) praias ao oeste começaram a apresentar intensa erosão (MAIA, 1998).

Pesquisas bem estabelecidas evidenciam que o litoral consiste numa série de sistemas físicos interligados, compreendendo elementos *offshore* e *onshore*. Materiais sedimentares movimentam-se ao largo da costa por ondas e correntes em uma série de sistemas interligados, conhecidos como células de transporte de sedimentos. Estas, geralmente, compreendem áreas de origem de sedimentos, tais como erosão de falésias, rios e fundo do mar, áreas onde os sedimentos são movidos à extensão da costa por processos naturais e depósitos ou sumidouros de sedimentos, como praias, dunas, estuários e cânion submarino. Assim, ao analisar todas as fontes e sumidouros em cada célula, fica expresso o balanço líquido de sedimento, e com este se determina se a célula tem tendências para erosão ou acreção (Figura 1).

No Nordeste brasileiro, particularmente no Ceará, é comum a construção de densas redes de reservatórios superficiais para armazenamento hídrico no período chuvoso, concentrado em poucos meses (fevereiro a maio) para disponibilização no período seco (ARAÚJO et al., 2006). Estes reservatórios superficiais atuam como

barreiras, desconectando o fluxo de água e sedimentos, até que a capacidade de acumulação seja atingida e ocorram eventos de sangria que promovem a continuidade dos fluxos (MEDEIROS et al, 2010; MAMEDE et al., 2012; MAMEDE et al., 2018). Estima-se no Estado do Ceará uma taxa de ocupação de um reservatório para cada 8 km², representando uma rede de aproximadamente 25 mil reservatórios superficiais (MAMEDE et al., 2012; PETER et al, 2014), sendo que apenas 166 destes são monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH, considerados estratégicos.

Figura 1 – Fontes e transporte de sedimentos na zona costeira. Fonte: Goodrich et al., 2020



Os grandes reservatórios atuam como importante infraestrutura hidráulica de armazenamento hídrico para atendimento de demandas, sobretudo, de centros urbanos, distritos industriais e perímetros irrigados, bem assim na contenção de cheias nos trechos de jusante (SERRA *et al*, 2022). Adversamente, estas estruturas impactam o regime de vazões nos trechos de jusante e reduzem significativamente o transporte de sedimentos, com efeitos diretos sobre o equilíbrio hidrodinâmico e sedimentológico e sobre a biodiversidade ecológica do rio (POFF *et al.*, 1997; BAISRE e ARBOLEYA, 2006). O reduzido aporte de sedimentos a jusante dos grandes reservatórios potencializa a capacidade de transporte e potencial erosivo dos fluxos no trecho.

Taxas de retenção de sedimentos superiores a 95% foram encontradas por Araújo (2003), estudando uma amostra de oito reservatórios do Estado do Ceará. Cavalcante *et al.* (2007) registraram uma redução nas taxas de sedimentos, transportados para o estuário do rio Jaguaribe, de 43.000 ton/ano para 3.000 ton/ano, considerando, respectivamente, o período anterior ao barramento (1999-2000) e posterior (2006-2007), o que corresponde a uma redução de 93%. No rio Jaguaribe, evidenciou-se a intensificação do processo erosivo de recuo da linha de costa nas imediações da desembocadura do Rio, na praia de Pontal do Maceió, como possível resultado da implantação do açude Castanhão em 2003, com taxas de 29 m/ano, logo no primeiro ano de funcionamento do reservatório (MORAIS *et al.*, 2008).

A erosão costeira de Peroba está associada, principalmente, à retenção de sedimentos pela construção da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, maior reservatório de água do Rio Grande do Norte, com capacidade de 2,4 bilhões de metros cúbicos. Está localizada no rio Piranhas-Assu, e foi construída em 1980, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), administrador da barragem. Secundariamente, é produto da implementação de estruturas de contenção costeira, nas praias de Barreira e Barreira da Sereia, no Município de Icapuí, ao leste da área em estudo. No total, foram construídos 5.463 metros lineares de enrocamento, sendo 2.757 metros nas Barrinhas, 1.121 metros na Barreira da Sereia e 1.585 metros em Redonda, correspondendo a 38% do trecho litorâneo entre estas praias (Figura 2).

Figura 2 – Localização das praias, com a contenção erosiva do tipo enrocamento. A linha amarela delimita os locais com a presença dos muros de pedra (definição local).



3 – Obras de Proteção e Recuperação Costeira

As defesas costeiras são concebidas utilizando técnicas de engenharia duras ou leves para minimizar ou mesmo “eliminar” os riscos e, assim, proteger as populações locais, embora seja claro que isto é dispendioso e demorado. As defesas duras (*hard*) ou leves (*soft*) diferem em termos de *design*, custos de investimento e manutenção, eficiência a curto prazo e consequências ambientais.

A engenharia leve, como zonas-tampão, praias e dunas artificiais, é passível de ser mais sustentável, do ponto de vista ambiental, e de proporcionar proteção inicial e a longo prazo. A alimentação de areia, no entanto, tem de ser realizada regularmente para manter a linha costeira ou controlar o seu recuo (SCHIPPER *et al.* 2016).

No Brasil, esta solução foi implantada de modo pioneiro já na década de 1970, para recuperar a praia de Copacabana, no Rio de Janeiro. Nesse caso, um aterro também permitiu a duplicação da Avenida Atlântica e do tradicional calçadão, e visava, ainda, a evitar danos de ressacas que atingiam áreas próximas aos prédios erguidos próximos à orla. As obras foram planejadas para comportar o aumento populacional da região da praia no início da segunda metade do século XX, bem como o aumento da frota de automóveis, com a expansão da indústria automobilística no País. Em Santa Catarina, a Praia Central de Balneário Piçarras recebeu obras em 1999 e 2013. Na primeira intervenção, foram colocados 900 mil metros cúbicos de areia, e, na segunda, após fuga de sedimentos, o Município de Balneário Piçarras voltou a ter que fazer obras para o alargamento da praia, quando foram construídos molhes nas laterais da orla para ajudar a conter a erosão.

No Ceará, o primeiro aterro “Juraci” ocorreu em 1999, na praia de Iracema, e o segundo na praia do Meireles, ambos com a construção de espigões de contenção de sedimentos. Somadas todas as áreas aterradas, são 2 km de faixa, o equivalente a 18 quarteirões, com aumento da largura das praias em até 80 metros. São pontos positivos das intervenções a divisão em ciclovias, pistas de caminhada e vias para automóveis; o acréscimo de espaços para convivência, lazer e prática de esportes, além de fomentar todas as atividades econômicas da região.

O conceito básico de engenharia *hard* pesada utiliza como insumo blocos rochosos e/ou concreto para a construção de enrocamento (paredões), campos de espigões e quebra-mares, visando a garantir a segurança, fixando ou mesmo avançando a linha costeira. Tais medidas estruturais não resolvem problemas de médio e longo prazos, uma vez que apenas interferem na faixa de praia, sem tratar da origem da erosão (natural ou antrópica) e podem transferir o risco de erosão para outras áreas. A engenharia costeira moderna se utiliza de modelos hidrodinâmicos tridimensionais para projetar obras mais eficazes, diminuindo significativamente os impactos ambientais e a transferência da erosão para as praias adjacentes.

A construção de estruturas de proteção costeira é considerada uma opção de adaptação útil quando áreas costeiras de elevado valor não pode ser protegidas de outras maneiras (por exemplo, em razão das restrições de espaço). Embora a opção localmente proporcione um elevado nível de proteção contra a erosão e as inundações, representa uma grande preocupação na sustentabilidade a longo prazo da abordagem em razão dos possíveis impactos ambientais. Os principais sucessos e fatores limitantes dos paredões e molhes são discutidos na sequência.

Fatores de sucesso

Um enrocamento proporciona elevado grau de proteção contra inundações costeiras e erosão. Os paredões exigem menos espaço do que outras defesas costeiras, como diques e espigões. Os paredões são aumentados para fazer face à subida do nível do mar, o que requer, simultaneamente, um alargamento da fundação. O elevado nível de segurança proporcionado por um paredão favorece o desenvolvimento do interior. A crista do paredão prolonga-se, frequentemente, numa parte coberta de pedra que desempenha outras funções, por exemplo, estrada, passeio ou lugares de estacionamento (UNEP, 2016).

Espigões são utilizáveis para alargar artificialmente a área da praia na zona ascendente (leste), oferecendo novas oportunidades para o desenvolvimento de atividades econômicas e sociais terrestres. Enrocamentos e espigões são estruturas bastante comuns e simples, amplamente utilizadas em áreas costeiras. Eles têm sido aplicados em todo o mundo há muitos anos. Consequentemente, ampla experiência apoia o seu correto projeto e construção, também para mitigar os impactos ambientais.

Fatores limitantes

Os enrocamentos são estruturas pouco flexíveis. Na fase de concepção, as projeções de subida do nível do mar e o possível aumento da frequência de tempestades deve ser devidamente havidos em consideração para garantir a vida útil de tais estruturas em face das alterações climáticas. Em decorrência da sua colocação perpendicular à costa, os espigões são capazes de perturbar a deriva litorânea (transporte de sedimentos) e causar erosão a jusante. Quanto mais longa for a estrutura, maior será o impacto nas áreas adjacentes.

Os enrocamentos interferem nos processos naturais, como a migração de habitats, causando o comprometimento dos organismos que habitam ente substrato entre marés. Estes efeitos, todavia, dependem muito da direção principal do transporte das ondas e dos sedimentos e do desenho do paredão. A escolha das defesas costeiras deve ser feita de acordo com as condições específicas do local e os objetivos primários e secundários (tais como proteção contra ondas, estabilização de estradas, conservação do espaço e capacidades de amarração). Quando há espaço suficiente disponível e não existe conflito com outros objetivos primários ou secundários, as medidas verdes (tais como a alimentação das praias e a restauração das dunas) são frequentemente preferidas (UNEP, 2016).

Os enrocamentos, muitas vezes, não impedem a erosão na frente da estrutura, mas evitam a erosão das dunas e do interior. Os paredões verticais refletem a energia das ondas em vez de dissipá-la, o que torna a linha costeira mais sujeita à erosão. Muitos paredões foram, portanto, concebidos mais recentemente para proteger encostas. Quando os paredões são regularmente galgados, ou quando isso ocorre em grandes tempestades, a água remove solo ou areia atrás do muro e o enfraquece. O galgamento da água satura o solo e aumenta as pressões do lado terrestre, o que é passível de causar o colapso estrutural. O nível da subida do mar e o potencial galgamento devem ser tidos em conta na construção do paredão. Em geral, a erosão contínua mina a base da estrutura e ameaça sua estabilidade. Os paredões e molhes podem ter impactos negativos na aparência geral da paisagem e reduzir sua atratividade. Consequentemente, é muito importante que o aspecto do *design* seja devidamente priorizado, também com base na consulta às partes interessadas.

Os enrocamentos não só causam perda de praia diretamente em frente, mas também essas estruturas provocam aumento da erosão em áreas adjacentes da praia que não possuem paredões. Este fenômeno é motivado pela “erosão de flanco” e ocorre nas extremidades dos paredões. O acesso público também é impactado por paredões. À medida que a praia se estreita, torna-se um desafio - ou mesmo é impossível - chegar à praia. Em alguns locais com paredões, o acesso à praia se mostra muito inseguro. Mais importante ainda, a perda de acesso público e de utilização das praias levanta preocupações de justiça ambiental – pois entidades privadas estão a se apropriar das praias públicas (Figura 3).

A combinação da subida do nível do mar prevista pelos modelos de alterações climáticas e a crescente extensão do desenvolvimento e enrocamentos aceleram a erosão e a perda de praias e aumentam os impactos ecológicos nos ecossistemas de praias arenosas numa escala sem precedentes. A perda de habitat resultante da blindagem costeira foi associada a impactos significativos nas larguras média e superior das zonas de praia, macro invertebrados, aves limícolas forrageiras, gaivotas e áreas de descanso de aves marinhas em praias costeiras abertas (DUGAN; HUBBARD, 2010).

Figura 3 – Estágios evolutivos do comportamento da praia à frente de um enrocamento.
Fonte: ARVOREAGUA, 2024.



Custos e Benefícios

Os custos de construção do enrocamento são elevados. Estas estruturas, no entanto, geralmente, requerem baixos custos de manutenção se forem adequadamente projetadas. Os custos de construção variam de acordo com o formato da estrutura: o volume do paredão depende do nível de crista necessário, do nível de fundação, da carga das ondas e das taxas de galgamento aceitáveis. Os custos dos paredões também variam de acordo com a disponibilidade e proximidade dos materiais de construção e com as condições ambientais do local. Se o projeto do paredão incluir instalações adicionais, como estradas ou passeios no topo do paredão, os custos aumentarão. Esses custos, no entanto, são compensáveis por melhor integração na paisagem, mais aceitação social e novas oportunidades recreativas. De acordo com as estimativas sobre os valores de execução de enrocamentos diversos no Brasil, os custos (não incluindo a manutenção) variam de 4.500 a 20.000 reais por metro linear de praia. Espera-se uma grande variação nos custos entre projetos, como resultado do elevado número de fatores há pouco mencionados que afetam distintos tipos de projetos de paredão.

Os espigões são, em geral, medidas mais simples, com custos de construção esperados mais baixos, semelhantes aos dos enrocamentos e quebra-mares. De acordo com estimativas com suporte em obras semelhantes no Brasil, a compra e o transporte de rochas com base numa distância de transporte de cerca de 50 km chegam a custar cerca de 150 reais/tonelada, podendo, em distâncias maiores, alcançar 450-500 reais/tonelada, enquanto são os custos de colocação de cerca de 200 reais/tonelada. A manutenção deve ser considerada tanto na fase de projeto como durante toda a vida operacional da estrutura. Inspeções pós-tempestade (ressacas), sazonais ou anuais, e trabalhos de reparação relacionados também são necessários para todas as intervenções de defesa costeira.

Aspectos legais

A construção de obras costeiras para mitigar a erosão e defesas marítimas duras «capazes de alterar a costa», tais como enrocamentos e espigões, enquadram-se no Anexo I da Resolução CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997, que procedeu à revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de modo a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento da gestão

ambiental, instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente. Também deverá obter a autorização de obras em área de uso comum do povo, de domínio da União, conforme está prevista no art. 6º do Decreto-Lei nº 2.398, de 21 de dezembro de 1987 (com alterações incluídas pela Lei 13.139, de 26 de junho de 2015), por meio do Portal de Serviços da SPU, anexando a Documentação referente à obra e a identificação do titular do serviço (pessoa jurídica), neste caso, a Prefeitura de Icapuí.

4 – Estrutura Proposta

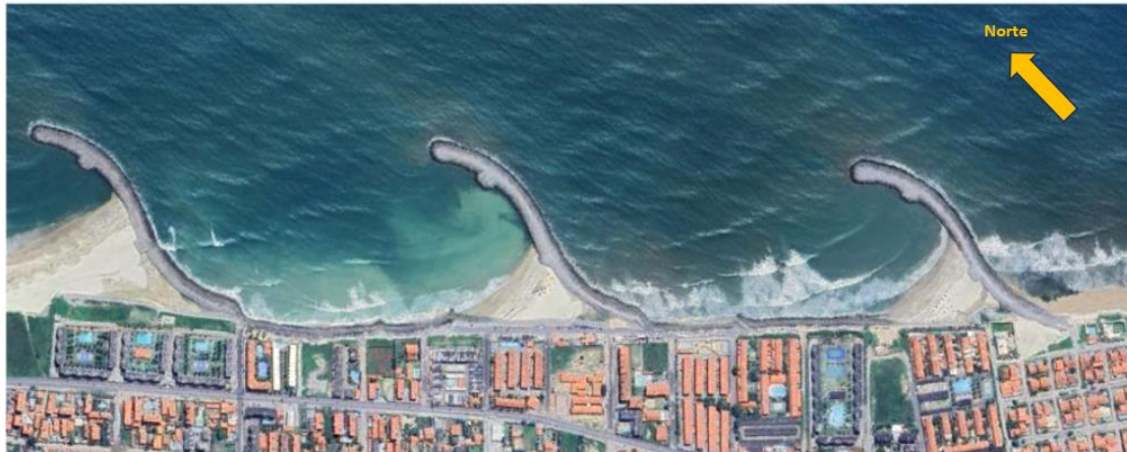
Os espigões são estruturas estreitas, perpendiculares à costa e duras, projetados para interromper o transporte de sedimentos ao longo da costa, retendo, assim, uma parte dos sedimentos que, de outra maneira, seriam transportados ao extenso da costa. Ao fazer isso, os espigões ajudam a construir e estabilizar o ambiente da praia, e são considerados uma medida de proteção de engenharia pesada para proteger da erosão marítima.

Os espigões são normalmente construídos em zonas costeiras, sedimentares, expostas e moderadamente expostas, para fazer face aos riscos de erosão (ROSENDAHL APPELQUIST e HALSNÆS 2015). Eles são construídos com o emprego de ampla variedade de materiais, incluindo blocos de rocha, concreto, tetrápodes, estacas de aço e madeira nobre. As estruturas de madeira utilizadas na Europa e EUA são, geralmente, mais estreitas, ensejando maior uso recreativo da praia em comparação com as rochosas mais largas.

No Brasil, os espigões são tradicionalmente construídos com blocos rochosos (pedra), mais amplamente aplicados. Isso é atribuído às características de maior dissipação de energia dos blocos e ao fato de serem mais simpáticos esteticamente; a diferença de custo entre essas opções é muitas vezes pequena (SMITH, 1999). Os espigões são, frequentemente, construídos em série, como parte de um campo de estruturas permeáveis que permite a transmissão de uma certa proporção da deriva litorânea, ao mesmo tempo em que continua a reter um volume suficiente para minimizar o risco de erosão.

As dimensões entre o comprimento do espigão e o espaçamento entre estruturas geralmente variam de 1:4 em praias arenosas a 1:2 em praias de cascalho, e a prática convencional é que o comprimento da estrutura deve ser aproximadamente 40- 60% da largura média da zona de arrebentação. Isto enseja que os espigões capturem parte - mas não toda - da deriva litorânea (MASSELINK e HUGHES, 2003). Claramente, as características dos sedimentos também desempenham um papel no desenho das estruturas, com espigões mais longos, normalmente trabalhados onde os sedimentos são menores. Isto ocorre porque sedimentos menores são, via de regra, móveis em profundidades de água maiores; consequentemente, são menos eficazes na retenção de materiais mais finos. O campo de espigões idealmente projetado permite que os sedimentos se acumulem e, eventualmente, contornem parte da estrutura soterrada, sem causar erosão significativa à deriva (Figura 4). O desenho ideal relatado, no entanto, é alcançado dispondo de dados detalhados sobre o clima das ondas e as taxas de transporte de sedimentos ao longo da costa (DAVIS JR e FITZGERALD, 2004).

Figura 4 – Campo de Espigões permeáveis da Praia do Icaraí, Município de Caucaia.



VANTAGENS

As vantagens dos espigões estão principalmente relacionadas com a sua capacidade de reter sedimentos, conduzindo, assim, a um aumento da praia com os consequentes benefícios de redução da erosão e maior dissipação da energia das ondas. Como tal, a estrutura também complementa outras respostas de adaptação, tais como paredões, revestimentos e construção de dunas, reduzindo a energia das ondas que chegam a estas estruturas.

Conquanto os espigões, no entanto, retenham eficazmente os sedimentos, isto tem um impacto negativo nas costas a jusante em razão da falta de sedimentos. A utilização, contudo, em conjunto com alimentação artificial, atua como uma fonte de sedimentos para preencher a área da praia entre as estruturas, ao mesmo tempo em que reduz o impacto nas linhas costeiras a jusante. Ao promover o alargamento das praias, têm a vantagem de manter um ambiente de praia atraente, decerto valioso para a atividade e o turismo. Este é particularmente o caso quando aplicado juntamente com certas medidas como, num exemplo, a alimentação nas praias.

Embora a construção de espigões exija um bom grau de conhecimento, a medida tem sido amplamente aplicada em todo o mundo há décadas. Consequentemente, existe ampla experiência global com projeto e construção destas obras. Como assinalado há pouco, os espigões são construídos com uma ampla variedade de materiais. Até certo ponto, isso deixa que a seleção de materiais seja adaptada à disponibilidade local. Na prática, todavia, os custos de construção e manutenção devem ser cuidadosamente avaliados durante a fase de concepção, para garantir que os materiais selecionados ofereçam, realmente, uma boa relação qualidade/preço. Embora estejam disponíveis materiais locais, as importações de pedra extraída de pedreiras oferecem melhor relação qualidade/preço a longo prazo, em razão da sua maior longevidade.

DESVANTAGENS

A principal desvantagem dos espigões é que a interrupção da deriva litorânea para promover o alargamento da praia numa seção da costa é suscetível de causar escassez de sedimentos e erosão mais a jusante. Isso ocorre porque as estruturas não adicionam sedimentos à superfície da costa, mas distribuem os materiais disponíveis de maneira diferente. Como tal, a construção é talvez mais eficaz quando complementada pela alimentação da praia, conforme exposto há instantes. Ao promover uma acumulação de sedimentos no lado ascendente, existe um consequente déficit de sedimentos no lado descendente, exigindo a construção de mais espigões, para combater a erosão da costa desprotegida.

Malgrado promovam o uso recreativo da praia por meio do seu alargamento, outro problema com a sua utilização está relacionado com a formação de correntes de

retorno adjacentes aos espigões. Estes representam um perigo para os banhistas e, além disso, também levam ao transporte de sedimentos para águas profundas e à perda do sistema costeiro durante tempestades (MASSELINK e HUGHES, 2003). Embora o alargamento da praia seja normalmente visto de maneira positiva, afeta a aparência visual da costa ao introduzir estruturas não naturais perpendiculares à costa.

Definição da Solução Utilizando Espigões

A influência das Ondas

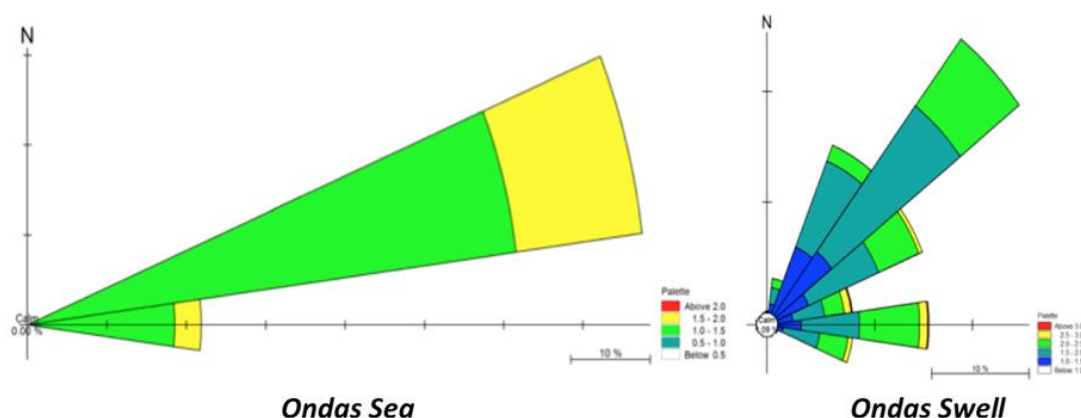
As premissas básicas para a definição do projeto de espigões consistem na determinação de sua forma em planta, permeabilidade, peso dos blocos, cota de coroamento, inclinações dos taludes, largura no topo, largura da base e comprimento da estrutura. A maioria das exigências depende das características das ondas na zona de arrebentação, ou seja, seus parâmetros básicos de altura, direção e período. A definição das características gerais das ondas na área do projeto foi baseada no sistema Wavewatch III, um modelo de ondas desenvolvido pela National Weather Service (NWS)/ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), que é recomendado pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil.

De modo resumido, a análise de dados das condições meteoceanográficas de Icapuí mostra que os trens de ondas com altura significativa igual ou superior a 2,0 m ocorreram com uma frequência de 1,38% ao ano, com o valor máximo da altura significativa igual a 2,5 m. A maior parte desses trens de ondas (1.24%) veio de direções médias de incidência de E - ESE. Aproximadamente 88% dos registros de ondas apresentaram altura significativa de onda de 1,0 m a 1,8 m.

O clima de ondas na região consiste em duas componentes principais: *Sea* (vagas) e *swell* (ondulação). Do total, 29% expressaram direção média de incidência das ondas vinda dos quadrantes N até NE. Os trens de ondas mais frequentes (67%) mostraram períodos de pico curtos, de 4s a 10s (ondas do tipo *sea*), e os restantes 33% a ondas do tipo *swell*, com períodos de pico longos, iguais ou superiores a 10s, para as direções médias de incidência das ondas correspondentes aos quadrantes N - ENE. Estas ondas do Hemisfério Norte alcançam fortemente as praias de Peroba e Picos. Os dados mostram, claramente, a variação sazonal nas condições de ondas. As ondas maiores

sucedem durante o inverno. O *swell*, que vem do Norte, com períodos mais longos, é observado no verão, enquanto o *sea*, que vem com ângulos maiores, ocorre no inverno. Sobra claro que qualquer solução a ser implantada deve proteger o litoral das duas direções das ondas, e a deriva litorânea está sempre direcionada para oeste, implicando uma forma mista entre espigão e quebra-mar.

Figura 5 – Rosa da altura significativa (H_s) das ondas dos tipos *sea* e *swell*.



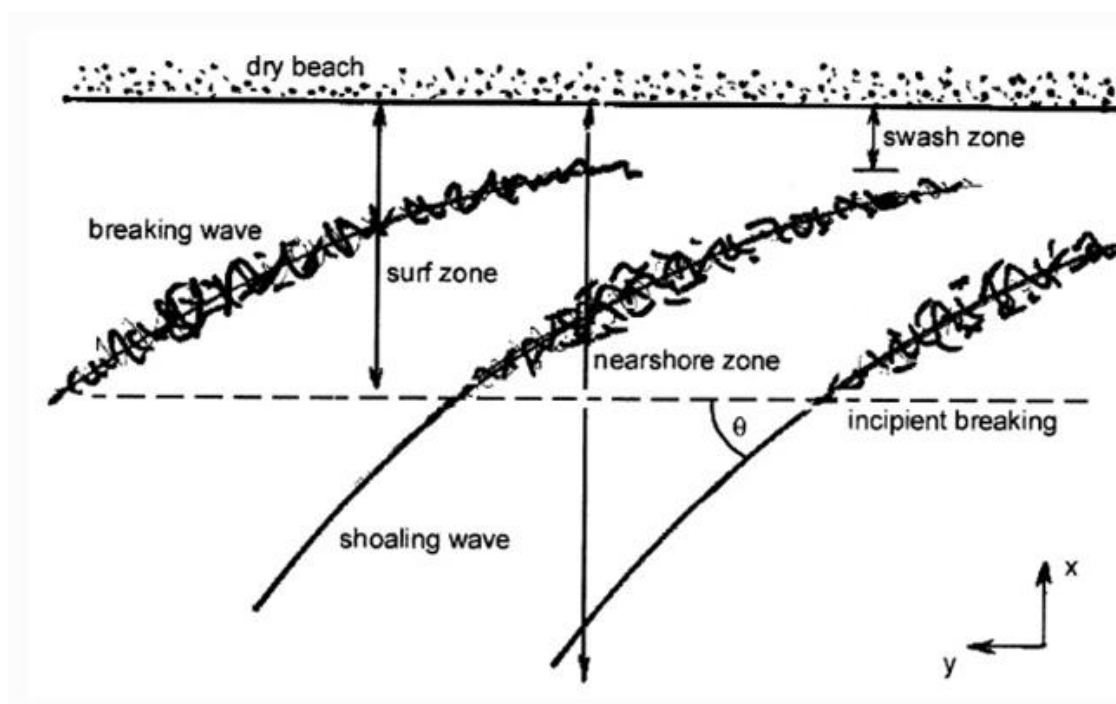
Normalmente, durante a propagação das ondas, ela é alvo de fricção com o fundo, causando a deformação das ondas. Durante seu movimento, a onda é suscetível de passar por processos ocasionados pela diminuição da profundidade da água na zona de propagação da onda e pelo encontro de obstáculos no seu percurso de propagação. Dependendo dos parâmetros definidores da onda na superfície, as profundidades são definíveis assim: Águas Profundas (profundidade infinita); Águas Intermediárias; Águas Rasas. A profundidade d para o início da deformação das ondas é definida como $d = L_o/2$, em que L_o é o comprimento das ondas em águas profundas. Assim, d é considerada o limite das profundidades infinitas; Caso $d > L_o/2$, a onda se propaga livremente, sem receber influência no fundo do mar e vice-versa; para $d < L_o/2$, a onda em sua propagação passa a ser alvo de influência de sua proximidade ao fundo mar, aparecendo, então, deformações nas ondas em decorrência da diminuição das profundidades. Logo, a influência da proximidade do fundo do mar é capaz de ocasionar as seguintes deformações: refração, *shoaling* e arrebentação.

Para as ondas do tipo *sea*, com período médio de cinco segundos, o comprimento da onda será $L_o = 39$ metros e $d = 19,5$ metros; somente muito próximo à costa, esta ondulação passa a ser objeto de refração, mudança de direção da onda, mas, em

consequência da sua direção predominante de leste, alcança a costa do Ceará com ângulos próximos de 45°, dando ensejo a intenso transporte longitudinal, para noroeste, responsável pela erosão costeira de longo prazo. Por convenção, o início das águas rasas é definido pela relação $dr = L_o/20$; considerando as ondas do tipo *sea*, será de $dr = 1,95$ metros.

A zona de arrebentação é aquela faixa relativamente estreita de um corpo de água que margeia a terra e que contém ondas que quebram em decorrência da profundidade rasa da água. Como, entretanto, o nível da maré, as ondas incidentes, a velocidade do vento local e a direção mudam continuamente, a largura e o caráter da zona de rebentação variam incessantemente. Portanto, em uma discussão sobre os processos da zona de arrebentação, a região de interesse é na verdade a zona *nearshore*, aqui definida como aquela região que é direta ou indiretamente afetada pela quebra de onda induzida pela profundidade. Uma sub-região chamada zona de *swash* é comumente delineada na fronteira entre a terra e a água, como aquela área que é alternadamente molhada e seca pelo avanço e retrocesso das ondas. Essas zonas estão indicadas na Figura 6.

Figura 6 – Classificação das zonas de propagação das ondas em função da profundidade.



Alguns autores preferem a definição de Stive e De Vriend (1995), que divide o perfil litorâneo em três seções, a zona de *swash*, *upper shoreface (nearshore)* e *lower shoreface*. Em português são antepraia superior e inferior. A antepraia superior é a zona onde, em condições médias, as ondas arrebatam, ao passo que a antepraia inferior é a zona onde as ondas formam baixios. A parte inferior da antepraia se estende até a chamada profundidade de fechamento externo; além desta profundidade, o fundo do mar, dificilmente, é influenciado pelas ondas e o transporte de sedimentos induzido pelas ondas é (em média) insignificante. A parte inferior da antepraia também é chamada de zona de *shoaling*; o *shoaling* de ondas é a amplificação das ondas quando estas viajam de águas profundas para rasas, antes da sua quebra.

Estas relações e definições dos limites da profundidade para a propagação da onda têm aplicação direta no posicionamento e permeabilidade. O limite da zona de *surf* é calculado por meio da expressão de Hallermeier (1981), que, se baseando em dados de campo, propõe uma profundidade/limite anual para as praias arenosas, que divide uma faixa costeira com perfis ativos e uma zona de transição, onde as mudanças de profundidade são insignificantes sob as mudanças sazonais do clima das ondas. Embora essa profundidade pudesse ser calculada para as condições extremas do clima de ondas, gerando maiores profundidades, o autor considera mais adequado adotar a altura da onda que não ultrapasse 12 horas por ano (0,137%). A relação para estimar a profundidade de fechamento para perfis costeiros compostos por areias quartzosas é:

$$d1 = 2,28 H_{s0,137} - 68,5 (H_{s0,137}^2 / gT_s^2),$$

em que ($d1$) é a profundidade de fechamento do nível da maré baixa, ($H_{s0,137}$) é a altura significativa que não excede mais de 12 horas por ano (0,137%) e T_s é o período de onda correspondente. A aplicação da relação de Hallermeier (1978) para condições de onda locais resultaria para as ondas do tipo *sea* mais frequentes ($H_{s0,137} = 1,8$ m; $T = 6$ s) a uma profundidade de fechamento do perfil de 3,5 metros, e para as condições de ondas do tipo *swell* ($H_{s0,137} = 2,5$ m; $T = 15$ s), um valor bem maior de 5,5 metros. Se a necessidade da construção do espigão necessitar da intercepção total da deriva litorânea, uma estrutura impermeável, o cabeço deveria ser construído até atingir a profundidade de -5,5 metros. No estudo para a Peroba, é desejável que os espigões

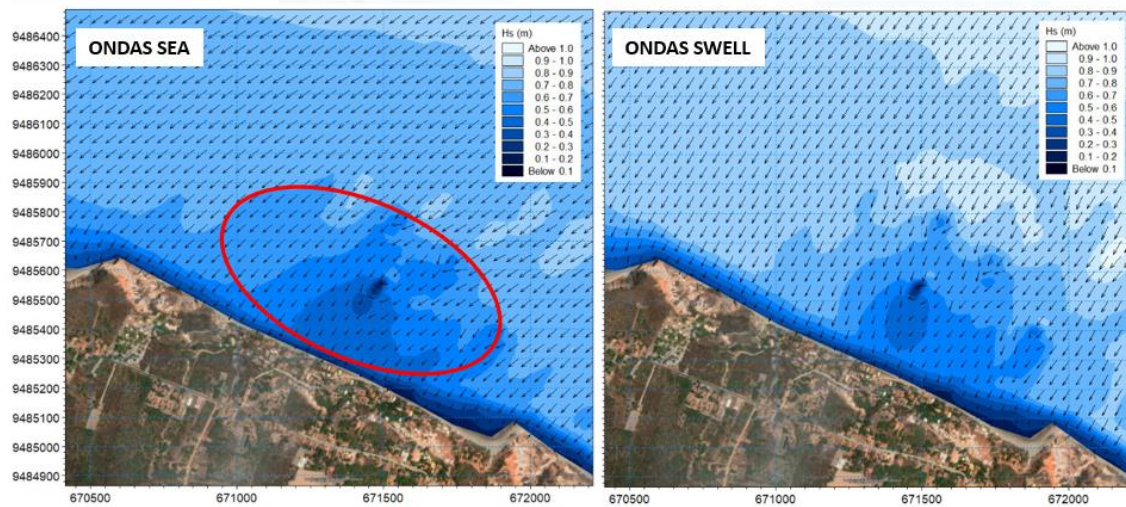
sejam permeáveis, retendo somente um pequeno volume de sedimentos e, neste sentido, o cabeço foi projetado para -0,5 metro de profundidade.

Simulações Hidrodinâmicas

As medições e observações dos agentes (vento, ondas, corrente, marés e outros fenômenos) que atuam na zona costeira e de todas as grandezas que influenciam no conhecimento da hidrodinâmica costeira são a base para qualquer estudo das dinâmicas, permitindo, assim, prever o comportamento da costa, tanto sob condições naturais, quanto sob a influência de obras humanas realizadas na referida zona. As simulações das soluções foram realizadas no modelo MIKE 21 (*Danish Hydraulic Institute*), um sistema de modelagem para estuários, zonas costeiras e oceanos, composto de um “pacote” profissional de *softwares* de Engenharia Hidráulica, contendo um sistema de modelagem a duas dimensões (2D) de escoamentos de superfície livre. Ele é aplicável à simulação de fenômenos hidráulicos em lagos, estuários, baías, regiões costeiras e oceanos, onde a estratificação do meio seja negligenciada. Sua concepção modular foi desenvolvida em torno das quatro principais áreas de aplicação: Hidráulica costeira e Oceanografia, hidráulica ambiental, Processos sedimentológicos e Ondas.

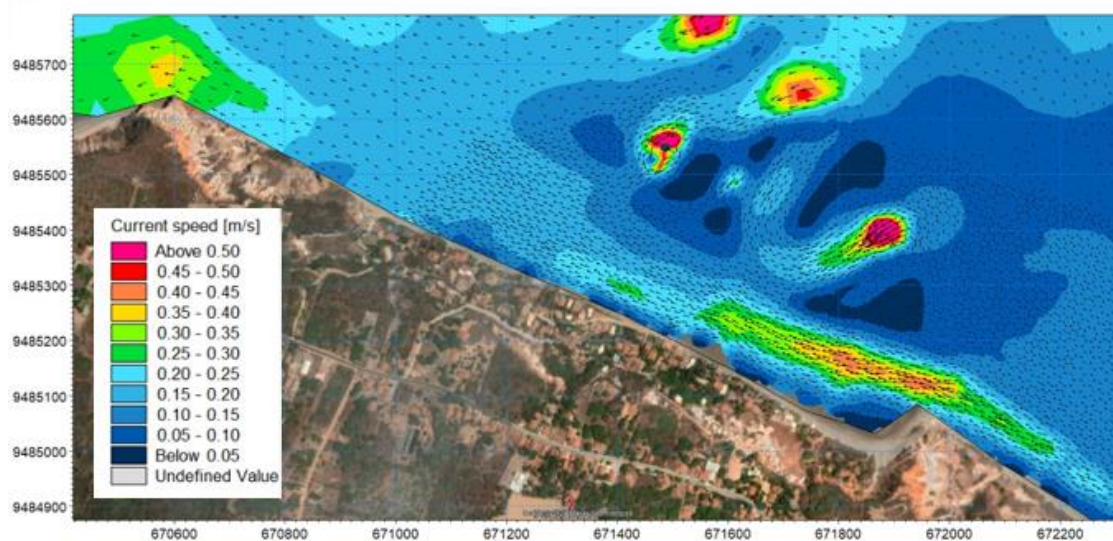
Inicialmente, foi simulada a propagação das ondas do tipo *sea* com altura significativa *offshore* $H_s = 2,0\text{m}$; Período de Pico $T_p = 8\text{s}$ e direção MWD = E, e *swell* $H_s = 1,5\text{m}$; Período de Pico $T_p = 15\text{s}$ e direção MWD = NE para a situação atual. No extremo nordeste da área, a altura significativa é maior do que um metro, diminuindo, gradativamente, para 0,5-0,6 metros, quando alcança a linha de costa. Como destaque, observa-se o efeito da batimetria, altos fundos, que reduzem significativamente a altura das ondas na parte central da praia da Peroba. Outro impacto relevante consiste nas diferenças entre os comprimentos de onda ($L = g \cdot T^2 / 2\pi$) e suas velocidades ($V = L/T$), para as ondas do tipo *sea* $L = 100$ metros com $V = 12,5\text{ m/s}$ e para as ondas do tipo *swell* $L = 350$ metros com $V = 23,4\text{ m/s}$. A relação mostra que a *swell* é uma onda 3,5 mais comprida com o dobro da velocidade da *sea*, e, neste caso, seu impacto na costa é muito mais danoso (Figura 7).

Figura 7 – Simulação das ondas do tipo *sea* para as condições atuais, mostrando o efeito dos altos fundos na propagação das ondas (área em vermelho).



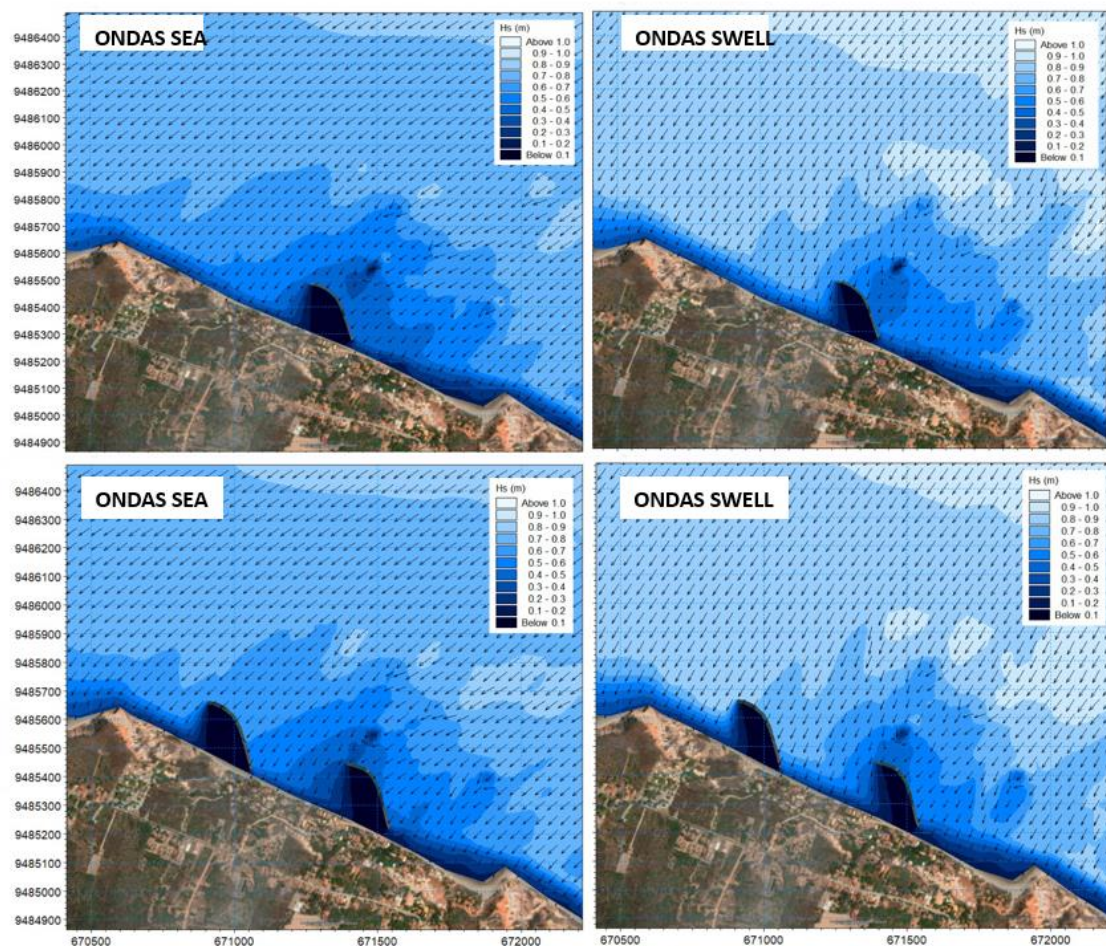
Integrando o efeito das ondas às variáveis de marés e ventos, foi realizada em seguida a simulação das correntes costeiras da condição atual; também neste caso, as estruturas do relevo submarino acelerando a velocidade das correntes de um valor médio de 0,2-0,3m/s para picos de velocidades acima de 0,45 m/s (cores vermelhas). Revela-se marcante, ainda, a existência das correntes de deriva litorânea partindo de Picos, afetando toda a parte leste da praia da Peroba e a ponta de Redonda. Em presença das ondas do tipo *swell* e condições de preamar de sizígia, a erosão costeira alcança o extremo de magnitude (Figura 8).

Figura 8 – Simulação das correntes costeiras da situação atual e as causas da erosão associada.



A primeira solução estudada foi a instalação de um espigão de forma curva, seguido do estudo por simulação da propagação das ondas dos tipos *sea* e *swell*, para analisar o comportamento desta opção. Como mais representativa, observa-se a formação de uma zona de sombra com velocidades inferiores a 0,05m/s, que tende a depositar sedimentos nesta área (Figura 9). Na sequência, foram simuladas a propagação das ondas dos tipos *sea* e *swell*, para a solução de colocação de dois espigões curvos. Na segunda opção, consegue-se uma zona de baixa velocidade que será capaz de proteger toda a praia da Peroba. No caso da existência de transporte litorâneo de sedimentos, será possível recuperar a praia de modo natural (Figura 9).

Figura 9 – Simulação das ondas dos tipos *sea* e *swell* com as duas opções, com um e dois espigões.



Em razão da melhor eficiência da utilização de um campo com dois espigões, foi realizada a simulação das correntes costeiras. Nota-se nos resultados a formação de três áreas de acreção, a primeira na parte leste da praia, haja vista a interceptação da forte corrente de deriva litorânea, e as duas seguintes, nas zonas de sombras induzidas pelas zonas de sombra dos dois espigões. Ainda neste caso, persistem as condições de erosão na ponta de Redonda (Figura 10). Na figura 11, está o posicionamento dos espigões para efeito de sua instalação.

Figura 10 – Simulação das correntes com dois espigões e a formação de zonas de acreção.

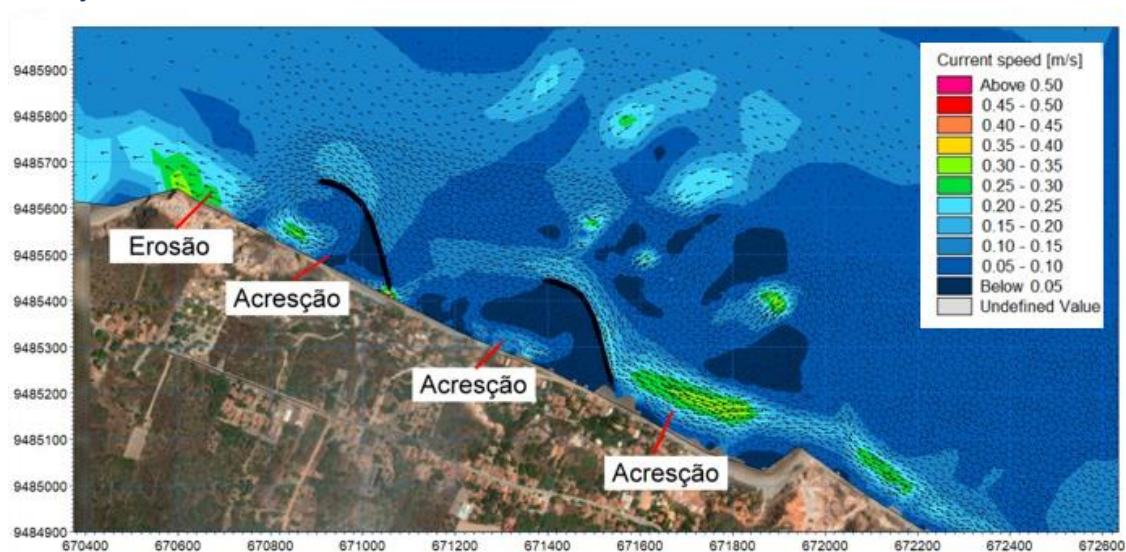
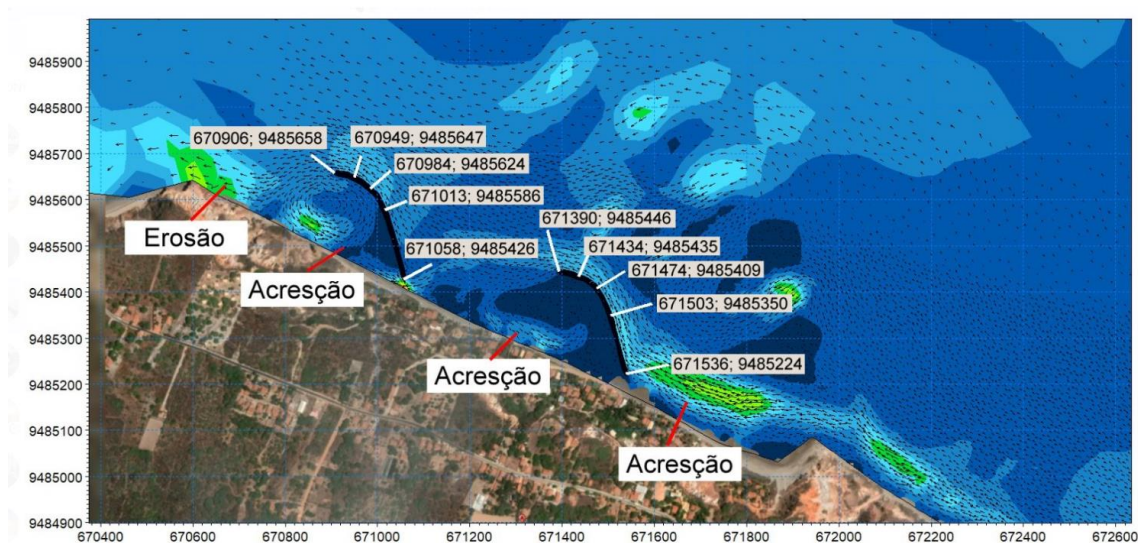
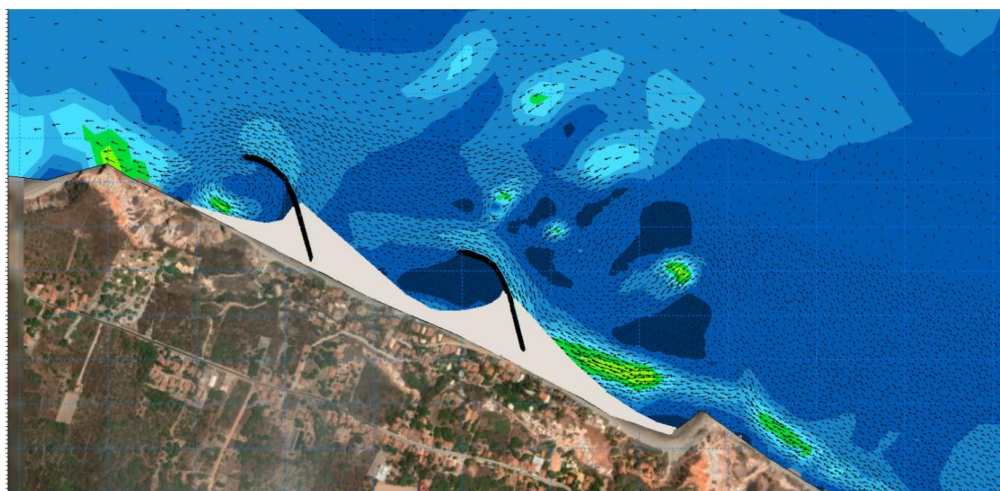


Figura 11 – Coordenadas UTM da localização dos dois espigões.



Os processos erosivos parecem não predominar em toda a extensão da praia de Peroba. O setor mais afetado é o situado em sua porção mais central, expandindo-se em sentido leste, afetando diversas edificações no local. Este trecho denota setores com registro de erosão baixa, moderada e intensa. Ao extenso dos últimos cinco anos (2018-2023), a praia exibiu períodos de erosão e deposição, aventando-se a possibilidade da existência, ainda, de transporte litorâneo de sedimentos, com ciclo de cinco anos, e, neste caso, o acúmulo de sedimentos e a engorda de praia ocorreriam de forma natural. Em razão, porém, do aumento da erosão em Picos, é provável a inibição ou a interrupção total de chegada de sedimentos a Peroba, indicando o acréscimo de sedimentos continentais para proteger e recuperar, emergencialmente, os efeitos calamitosos da erosão no local. A título de fomentar as discussões sobre a melhor opção, é mostrado o conceito do projeto concluído (Figura 12).

Figura 12 – Modelo idealizado do efeito final da instalação dos dois espigões.



Dimensionamento dos Blocos da Estrutura

A complexidade da agitação marítima sobre os blocos de um manto resistente torna impossível o cálculo rigoroso das forças neles atuantes. Essa condição, associada à complexidade da forma dos blocos, e à sua colocação/disposição aleatória, torna o cálculo das forças reativas dos blocos adjacentes mais complexo, ou mesmo impossível, razão por que se utilizam fórmulas de estabilidade baseadas em resultados de ensaios com modelos reduzidos. Entre as várias fórmulas existentes de cálculo do peso unitário

dos blocos do manto resistente, salienta-se a “Fórmula de Hudson”, baseada em trabalhos anteriores de Iribarren (1938, 1950). Esta fórmula é apresentada no Shore Protection Manual (SPM) e que se traduz pela seguinte expressão:

$$W = \frac{\gamma S \times H^3}{K_d \times ((\gamma S / \gamma_a) - 1)^3 \times \cotg \alpha}$$

em que W representa o peso unitário dos blocos constituintes do manto resistente, H a altura de onda incidente de projeto, γS o peso específico do material dos blocos rochosos γ_a o peso específico da água do mar, α o ângulo que o talude faz com a horizontal e K_D , o coeficiente de estabilidade. O valor do coeficiente de estabilidade, K_D , é determinado com base em resultados de ensaios experimentais efetuados com modelos de enrocamento, utilizando ondas regulares, para uma gama larga de alturas de onda e períodos, e calculados para o regime de agitação que mais afetasse a condição de estabilidade. Este valor é função de vários parâmetros, como o material constituinte dos blocos, tipos de blocos e de superfície, interligação de blocos, número de camadas do manto resistente, localização do perfil em questão, zona onde se encontra ângulo do talude com a horizontal, percentagem de blocos deslocados permitida e a probabilidade de não excelência desejada.

Para o dimensionamento da estrutura aqui proposta, foram considerados os seguintes parâmetros:

$W = W_{50}$ Peso médio da armadura;

$H = H_s$ Altura da onda significativa do projeto, considerada como 2,3m1, maior valor encontrado para a inclinação da zona de praia de Peroba observado nos perfis topográficos estendidos;

γS = Peso específico do material rochoso utilizado, para blocos do tipo granítico (2,65 T/m³);

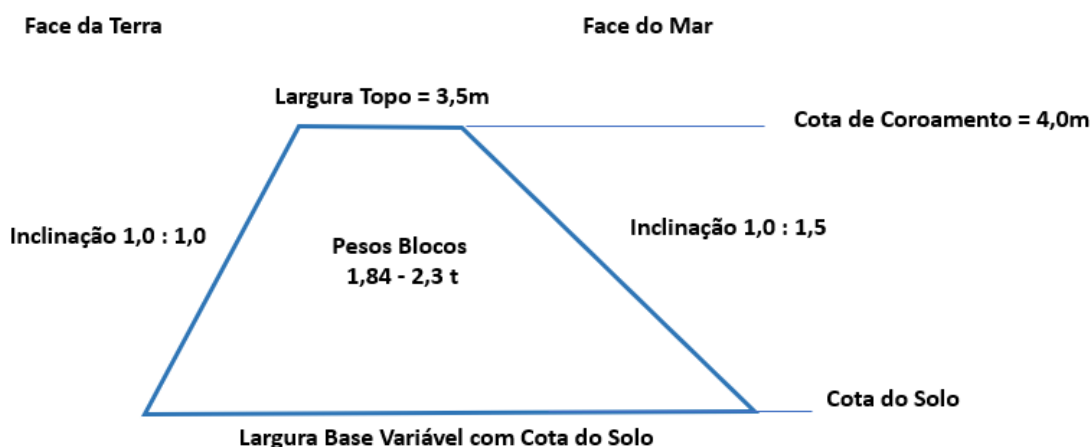
γ_a = Peso específico da água do mar (1,03 T/m³);

K_D = Coeficiente de danos, para blocos de rochas angulosos e colocados de forma aleatória em duas seções, tem o valor igual a 3,0.

A aplicação dos parâmetros definidores na equação resulta em um peso dos blocos de $W = 1,84$ Tonelada = 1.840 Kg. Consoante recomendação do SPM, o peso dos blocos da carapaça deve variar de $0,75 W$ a $1,25 W$, de modo que os blocos devem ser utilizados na faixa de peso de 1,38 a 2,3 toneladas. O valor encontrado para a faixa de pesos que irá compor a carapaça de proteção será de $W = 1,84$ Toneladas, sendo 30% no máximo com blocos de 1,3 a 2,3 toneladas para o topo, e os 70 % restantes, formados por blocos de rochas graníticas com peso de 1,84 a 2,3 toneladas para a carapaça da estrutura. A carapaça deverá cobrir toda a seção transversal das estruturas voltadas para o mar. A camada do núcleo das estruturas será formada por blocos graníticos, com peso variando de 40 Kg (pedras arrumadas) a 1,84 tonelada. Na maioria dos espigões construídos no Ceará e que denota boa estabilidade, é comum usar o peso dos blocos de $0,75 W$ a $1,25 W$, pesos de 1,84 a 2,3 toneladas para toda a estrutura.

A seção transversal dos espigões é executada formando um trapézio, cuja base maior se encontra repousando sobre o solo marinho, sua largura é variável dependendo da cota do solo terrestre/marinho. A base menor corresponde ao topo da estrutura com largura mínima de 3,5 metros para permitir a passagens das caçambas de rochas, e sua altura é igual a 4,0 metros, altura da cota natural da praia, antes da erosão. As inclinações das carapaças de proteção são maiores na face de praia com relação de 1:1,5 para aumentar o poder de dissipação das ondas incidentes e menor 1:1, mais vertical, para facilitar a atracação e as operações das embarcações de pesca artesanal (Figura 13)

Figura 13 – Caracterização geral da Seção Transversal do Espigão.



Volume e Estimativa financeira das Soluções

Utilizando os volumes calculados para os espigões projetadas para a área, podemos estimar o total de blocos rochosos, areias para aterro e no caso do enrocamento aderente, a manta geotêxtil (BIDIM), que são os principais insumos construtivos. Os volumes de material para o enrocamento foram retirados do projeto executivo da obra de implantação da estrutura de defesa costeira da praia de Peroba, de autoria da Secretaria de Infraestrutura e Saneamento – Prefeitura de Icapuí. Das soluções dos espigões, foram utilizados os volumes calculados a partir da batimetria do local e do desenho tridimensional das estruturas, entretanto o volume final somente poderá ser definido nos projetos executivos, a serem utilizados na liberação dos recursos federais e/ou estaduais e processos licitatórios (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa dos volumes dos principais insumos para a execução das soluções de proteção da praia da Peroba.

| Intervenção | Blocos (m³) | Aterro (m³) | Bidim (m²) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Enrocamento | 11.700,00 | 9.700,00 | 13.400,00 |
| 2 espigões + Aterro | 11.500,00 | 33.750,00 | - |

Para estimar os valores básicos de cada solução foram utilizadas as tabelas de Tabela de Custos e Insumos da Secretaria da Infraestrutura do Estado do Ceará (Disponível em: <https://www.seinfra.ce.gov.br/tabela-de-custos/>. Acesso: 09 de fev. 2024) (Tabela 2).

Material para aterro, valor por metro cúbico = R\$ 42,92

C0710 - CARGA MECANIZADA DE TERRA EM CAMINHÃO BASCULANTE (m3) - R\$ 4,32

C2530 - TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 10KM (m3) - R\$38,6

Blocos Rochosos, valor por metro cúbico - R\$ 310,16

C4306 - LAVRA, SELEÇÃO E ESTOQUE DE PEDRAS (1,00 T ATÉ 4,00 T) - R\$ 33,58

C4287 - CARGA E ARRUMAÇÃO DE PEDRAS (1,00 T ATÉ 6,00 T), INCLUSIVE LANÇAMENTO - R\$ 17,26

C4313 - TRANSPORTE DE PEDRAS DE 1,0 T ATÉ 6,0 T EM RODOVIA (100 km) - R\$ 259,32

MANTA GEOTEXTIL TIPO BIDIM - R\$ 8,00 m²

Tabela 2 – Estimativa de custos comparativos considerando os principais insumos para a execução das soluções de proteção da praia da Peroba.

| Intervenção | Blocos (R\$) | Aterro (R\$) | Bidim (R\$) | TOTAL (R\$) |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Enrocamento | 3.627.000,00 | 416.324,00 | 107.200,00 | 4.150.524,00 |
| 2 espigões + Aterro | 3.565.000,00 | 1.448.550,00 | - | 5.013.550,00 |

5 – Processo judicial- indicação de quesitos.

Superintendência do Patrimônio da União no Ceará

1. Qual o processo de autorização de obra da Praia de Peroba junto à SPU/CE?

A autorização de obras em área de uso comum do povo, de domínio da União, está prevista no art. 6º do Decreto-Lei nº 2.398, de 21 de dezembro de 1987 (com alterações incluídas pela Lei 13.139 de 26 de junho de 2015).

“Art. 6º Considera-se infração administrativa contra o patrimônio da União toda ação ou omissão que viole o adequado uso, gozo, disposição, proteção, manutenção e conservação dos imóveis da União. (...)”

§ 1º Incorre em infração administrativa aquele que realizar aterro, construção, obra, cercas ou outras benfeitorias, desmatar ou instalar equipamentos, sem prévia autorização ou em desacordo com aquela concedida, em bens de uso comum do povo, especiais ou dominiais, com destinação específica fixada por lei ou ato administrativo.

§ 2º O responsável pelo imóvel deverá zelar pelo seu uso em conformidade com o ato que autorizou sua utilização ou com a natureza do bem, sob pena de incorrer em infração administrativa. (...)”

A competência para autorização de obras foi subdelegada aos Superintendentes Estaduais do Patrimônio da União pelo inciso VI do Art. 15 da Portaria nº 83, de 28 de agosto de 2019. A solicitação é realizada através do Portal de Serviços da SPU, anexando a Documentação referente à obra: Memorial descritivo da poligonal da área a ser utilizada, Planta do terreno com a indicação dos equipamentos/estruturas que serão instalados - e a identificação do titular da obra (pessoa Jurídica): Documento de designação do representante legal (ato constitutivo, contrato social, estatuto social, ata, termo de posse etc); Documento de Identificação com foto do representante legal (RG,

CNH, Carteira de Trabalho, Carteira de Identidade de Estrangeiro etc.); e Ato Constitutivo, Estatuto Social ou Contrato Social registrado na Junta Comercial ou no Cartório de Pessoas Jurídicas.

2. Qual a largura média da faixa de praia para a praia da Peroba durante baixa-mar e preamar?

Na baixa-mar, de 100 m a 166m, dependendo da forma da praia, e zero metro na maior parte da praia, na preamar.

3. Os estudos de viabilidade da obra na praia da Peroba contemplam os aspectos de balneabilidade? Levam em consideração as formas de uso e captação de renda por parte das comunidades tradicionais do local?

Apesar de não estar contemplada no escopo da perícia, a implantação das obras de proteção e recuperação da praia da Peroba constitui intervenção municipal, que, no Município de Icapuí, em decorrência da erosão sistemática, já se transformou em uma política pública. São, em resumo, as medidas tomadas pelo Governo para proteger os direitos das pessoas, ajudar ou prestar serviços. Seu objetivo é garantir que as pessoas gozem dos direitos expressos em lei. Essas medidas são uma parte importante da Administração Pública, pois representam programas governamentais que visam a melhorar a sociedade e atender às necessidades dos cidadãos. A política pública também é uma maneira de ajudar a reduzir a desigualdade social em um país e é utilizável como um meio de inclusão social.

Nas praias adjacentes, onde foram implantadas obras de proteção e recuperação (praias das Barreiras, Barreira da Sereia e Redonda), observa-se, após a urbanização, um aumento significativo do valor dos imóveis na faixa de praia e, nos terrenos altos, acima das falésias, a implantação de loteamentos com lotes variando de R\$ 42.000,00 (190 m²) na praia das Barreiras e R\$ 155.000,00 (412 m²) na praia de Redonda, mais conhecida. Neste sentido, terrenos antes sem valor comercial, para a agricultura e pecuária por falta de água subterrânea ou abastecimento público, passaram a ser explorados turisticamente para a construção de casas de praia. A necessidade de nivelar e cercar os terrenos dos lotes criou uma demanda de serviços que vem sendo realizada pelas comunidades tradicionais do local. As perspectivas com a construção das segundas

residências irão incluir a mão de obra feminina para cuidar das prendas diversas do lar, e outros nativos, na vigilância e segurança geral.

4. Nesse intervalo da faixa de praia, haverá bloqueios no fluxo hidráulico que escorre para o mar?

Não. As obras planejadas a serem implantadas utilizam blocos rochosos que são permeáveis, além do local não ter nenhum recurso/fluxo hídrico superficial.

5. Algum trecho da obra ocorre sobre terrenos inundáveis?

Não. A praia de Peroba consiste numa faixa de praia estreita (comprimento de 25m e 50m), limitada, ao norte, pelo mar e, ao sul, por uma falésia da formação Assu, que alcança 60 metros de altura, a 200m de distância da praia. São rochas impermeáveis e que, em decorrência da intensiva inclinação, impedem a acumulação de águas superficiais.

6. A vegetação-limite da berma ainda apresenta restinga na sua formação?

A estreita faixa de praia utilizada no local apresenta uma ocupação secular, inicialmente pelas comunidades tradicionais do local de pesca artesanal e componentes familiares, e, atualmente, com ocupações por segundas residências turísticas. Neste sentido, existe nesses terrenos somente vegetação antrópica, degradada pela erosão (Figura 14).

Figura 14 – Faixa de praia e vegetação fortemente afetada pela erosão costeira.



Ministério Público Federal

1. Quais métodos podem ser aplicados na praia da Peroba para buscar a contenção do avanço do mar no local? Detalhar em que consiste cada um desses métodos.

No âmbito do processo, discute-se a instalação de dois tipos distintos de obras costeiras: **enrocamento** e **espigão**. Os enrocamentos são estruturas inclinadas paralelamente à costa, construídas em direção ao solo da praia para dissipar e reduzir a ação das ondas na fronteira entre o mar e a terra. Essas estruturas, normalmente, protegem um relevo suave, como uma área de dunas ou encosta costeira, ou fornecem proteção suplementar a outras defesas. Geralmente, são estruturas muito sólidas e reforçadas, consideradas uma medida de proteção de engenharia pesada para enfrentar, principalmente, os riscos de destruição. São construídos a partir de armaduras rochosas, tetrápodes, mantas asfálticas ou gabiões, e concebidos como estruturas inclinadas e permeáveis para encorajar a rebentação das ondas na sua face externa para o mar, e a fim de maximizar a dissipação de energia nos interstícios das unidades de construção. Os enrocamentos, entretanto, não abordam a causa raiz da erosão.

Os espigões são estruturas estreitas, perpendiculares à costa e duras, projetados para interromper o transporte de sedimentos ao comprimento da costa, retendo, assim, uma parte dos sedimentos que, de outro jeito, seriam transportados ao longo costeiro. Ao fazer isso, os espigões ajudam a construir e estabilizar o ambiente da praia, e são considerados uma medida de engenharia pesada para proteger da erosão marítima. Eles podem ser construídos com uma ampla variedade de materiais, incluindo blocos de rocha, concreto, tetrápodes, estacas de aço e madeira nobre. As vantagens dos espigões estão, principalmente, relacionadas com a sua capacidade de reter sedimentos, conduzindo, assim, ao crescimento da praia com os consequentes benefícios de redução da erosão e maior dissipação da energia das ondas. O campo de espigões, idealmente projetado, dá ensejo a que os sedimentos se acumulem e, eventualmente, contornem parte da estrutura soterrada, sem causar erosão significativa à deriva.

2. Qual é o grau de sucesso esperado de cada um dos métodos de contenção viáveis?

Um enrocamento proporciona um elevado grau de proteção contra inundações costeiras e erosão. Os paredões exigem menos espaço do que outras defesas costeiras, como diques e espigões. Os paredões são passíveis de ser aumentados para fazer face à subida do nível do mar, o que requer, simultaneamente, um alargamento da fundação. O elevado nível de segurança proporcionado por um paredão favorece o desenvolvimento do interior. A crista do paredão prolonga-se, frequentemente, numa parte coberta de pedra que desempenha outras funções, por exemplo, estrada, passeio ou lugares de estacionamento.

Espigões suficientemente longos limitam o assoreamento numa entrada ou canais de navegação, mantendo, assim, profundidade suficiente dentro do canal. São utilizados para alargar artificialmente a área da praia na zona ascendente (leste), oferecendo novas oportunidades para o desenvolvimento de atividades económicas e sociais terrestres. Enrocamentos e espigões são estruturas bastante comuns e simples, amplamente utilizadas em áreas costeiras. Eles têm sido aplicados em todo o mundo há muitos anos. Consequentemente, uma ampla experiência apoia o seu correto projeto e construção, também para mitigar os impactos ambientais.

As duas soluções exprimem elevado grau de sucesso no ato de conter a erosão, cada uma com um custo/benefício diferente, entretanto, para potencializar os benefícios socioeconômicos, acredita-se que os espigões vão oferecer melhores resultados.

3. Quais os impactos negativos e riscos que podem advir de cada um dos métodos de contenções viáveis?

Os enrocamentos são estruturas pouco flexíveis. Na fase de concepção, as projeções de subida do nível do mar e o possível aumento de tempestades deve ser devidamente havidos em consideração para garantir a vida útil de tais estruturas, em face das alterações climáticas. Os enrocamentos, muita vez, interferem nos processos naturais, como a migração de habitats, causando o comprometimento dos habitats entre marés. Estes efeitos, no entanto, dependem muito da direção principal do transporte das ondas e dos sedimentos e do desenho do paredão. Os enrocamentos não impedem a erosão na frente da estrutura, mas evitam a erosão das dunas e do interior.

Os paredões verticais, em recorrentes ocasiões, refletem a energia das ondas em vez de a dissiparem, o que torna a linha costeira mais sujeita à erosão. Muitos paredões foram, portanto, concebidos mais recentemente para integrar encostas. Quando os paredões são regularmente galgados, ou quando isso ocorre em grandes tempestades, a água é capaz de remover solo ou areia atrás do muro e enfraquecê-lo. O galgamento da água satura o solo e aumenta as pressões do lado terrestre, o que é suscetível de causar o colapso estrutural. O nível da subida do mar e o potencial galgamento devem ser tidos em conta na construção do paredão. Em geral, a erosão contínua é capaz de minar sua infraestrutura e ameaçar-lhe a estabilidade. Os paredões e molhes podem ter impactos negativos na aparência geral da paisagem e reduzir sua atratividade. Consequentemente, é muito importante que o aspecto do *design* seja devidamente priorizado, também com base na consulta às partes interessadas.

Os enrocamentos não só causam perda de praia diretamente em frente, mas, também, essas estruturas são suscetíveis de causar aumento da erosão em áreas adjacentes da praia que não possuem paredões. Este fenômeno é causado pela “erosão de flanco” e ocorre nas extremidades dos paredões. O acesso público também é impactado por paredões. À medida que a praia se estreita, torna-se um desafio, senão impossível, chegar à praia. Em alguns locais com paredões, o acesso à praia pode ser muito inseguro. Mais importante ainda, a perda de acesso público e de utilização das praias levanta preocupações de justiça ambiental – onde entidades privadas estão a se apropriar das nossas praias públicas.

A principal desvantagem dos espigões é que a interrupção da deriva litorânea para promover o alargamento da praia numa seção da costa é suscetível de causar escassez de sedimentos e erosão mais a jusante. Isso ocorre porque as estruturas não adicionam sedimentos à superfície da costa, mas distribuem os materiais disponíveis de maneira diferente. Como tal, a construção é talvez mais eficaz quando complementada pela alimentação da praia, conforme já exposto. Ao promover uma acumulação de sedimentos no lado ascendente, há um consequente déficit de sedimentos no lado descendente, exigindo a construção de mais espigões, para combater a erosão da costa desprotegida.

Embora promovam o uso recreativo da praia através do seu alargamento, outro problema com a sua utilização está relacionado com a formação de correntes de retorno

adjacentes aos espigões. Estes podem representar um perigo para os banhistas e, além disso, também levar ao transporte de sedimentos para águas profundas e à perda do sistema costeiro durante tempestades (MASSELINK e HUGHES 2003). Embora o alargamento da praia seja normalmente visto de forma positiva, afeta a aparência visual da costa ao introduzir estruturas não naturais perpendiculares à costa.

A escolha das defesas costeiras deve ser feita de acordo com as condições específicas do local e os objetivos primários e secundários (tais como proteção contra ondas, estabilização de estradas e conservação do espaço). Quando há espaço suficiente disponível e não existe conflito com outros objetivos primários ou secundários, as medidas verdes (tais como a alimentação das praias e a restauração das dunas) são frequentemente preferidas.

4. Quanto tempo é necessário e qual a complexidade da obra de instalação de cada um dos métodos de contenção viáveis?

O tempo necessário para a instalação dos dois tipos de obra depende, principalmente, da celeridade do fornecimento dos blocos rochosos que irão compor as estruturas. As pedreiras mais próximas estão a 100 km e 150 Km, e, em razão da distância, o custo final será diferente. Utilizando a tabela de Custos e Insumos da Seinfra, na distância menor, o valor do transporte de pedras de 1,0 t até 6,0 t em rodovia pavimentada custa R\$ 262,40 e na maior distância, R\$ 390,40, uma diferença de R\$ 128,00. A princípio, a mais próxima seria a melhor, entretanto é uma pedreira menor, que não trabalha com esta gramatura de rochas; logo, aumenta o tempo de fornecimento e a complexidade da obra.

Os espigões independem do horário de maré para a sua execução, sendo construídos pela descarga dos blocos da pedreira diretamente no corpo da estrutura, com os blocos maiores da carapaça de proteção sendo selecionados e distribuídos por meio de retroescavadeira.

O enrocamento depende dos horários de maré para sua execução, ou seja, somente durante a estufa de maré baixa, é possível executar a obra, motivo por que a celeridade exigirá horários corridos diurno e noturno. A instalação do enrocamento é quase artesanal, exige muita mão de obra especializada para a colocação das diversas partes que a compõem, tais como: proteção de pé, colocação da manta geotêxtil para

impedir fuga de sedimentos, e, sobre esta, instalação de coluna manual para conter o geotêxtil, núcleo da estrutura formada por blocos menores e carapaça de proteção composta por blocos maiores. Os blocos oriundos das pedreiras são lançados em uma zona de descarga na praia, selecionados por tamanhos e cuidadosamente depositados sobre a manta para evitar ruptura.

5. Como é feita a manutenção das estruturas a serem instaladas em cada dos métodos de contenção viáveis?

O impacto das ondas sobre os dois tipos de estrutura é diferente. Normalmente o espigão recebe as ondas antes de sua ruptura, quando as ondas pelo processo de empinamento ainda não alcançou sua altura máxima e por consequência menor energia das ondas. No enrocamento, alcançado durante as marés de sizígia, a onda está totalmente desenvolvida, e com energia máxima gerando um maior impacto sobre os blocos da carapaça da estrutura. Além disso, para diminuir o impacto visual da carapaça de proteção, são comumente colocados blocos menores para preenchimento dos vazios. No enrocamento aderente instalado na praia de Boa Viagem, no Recife, a manutenção desta estrutura era realizada anualmente por contrato com empresa especializada. Os espigões apresentam uma exigência de manutenção de maior prazo. A título de exemplo, citamos o espigão da praia de Iracema, em Fortaleza, implantado em 1969 e recuperado em 1999 através do reforço da carapaça de proteção, trinta anos depois.

6. Qual o valor estimado das obras de instalação de cada um dos métodos de contenção viáveis?

Utilizando os volumes calculados para os espigões projetadas para a área, podemos estimar o total de blocos rochosos, areias para aterro e no caso do enrocamento aderente, a manta geotêxtil (BIDIM), que são os principais insumos construtivos. Os volumes de material para o enrocamento foram retirados do projeto executivo da obra de implantação da estrutura de defesa costeira da praia de Peroba, de autoria da Secretaria de Infraestrutura e Saneamento – Prefeitura de Icapuí. Das soluções dos espigões, foram utilizados os volumes calculados a partir da batimetria do local e do desenho tridimensional das estruturas, entretanto o volume final somente

poderá ser definido nos projetos executivos, a serem utilizados na liberação dos recursos federais e/ou estaduais e processos licitatórios (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa dos volumes dos principais insumos para a execução das soluções de proteção da praia da Peroba.

| Intervenção | Blocos (m³) | Aterro (m³) | Bidim (m2) |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Enrocamento | 11.700,00 | 9.700,00 | 13.400,00 |
| 2 espigões + Aterro | 11.500,00 | 33.750,00 | - |

Para estimar os valores básicos de cada solução foram utilizadas as tabelas de Tabela de Custos e Insumos da Secretaria da Infraestrutura do Estado do Ceará (Disponível em: <https://www.seinfra.ce.gov.br/tabela-de-custos/>. Acesso: 09 de fev. 2024) (Tabela 2).

Material para aterro, valor por metro cúbico = R\$ 42,92

C0710 - CARGA MECANIZADA DE TERRA EM CAMINHÃO BASCULANTE (m3) - R\$ 4,32

C2530 - TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 10KM (m3) - R\$38,6

Blocos Rochosos, valor por metro cúbico - R\$ 310,16

C4306 - LAVRA, SELEÇÃO E ESTOQUE DE PEDRAS (1,00 T ATÉ 4,00 T) - R\$ 33,58

C4287 - CARGA E ARRUMAÇÃO DE PEDRAS (1,00 T ATÉ 6,00 T), INCLUSIVE LANÇAMENTO - R\$ 17,26

C4313 - TRANSPORTE DE PEDRAS DE 1,0 T ATÉ 6,0 T EM RODOVIA (100 km) - R\$ 259,32

MANTA GEOTEXTIL TIPO BIDIM - R\$ 8,00 m2

Tabela 2 – Estimativa de custos comparativos considerando os principais insumos para a execução das soluções de proteção da praia da Peroba.

| Intervenção | Blocos (R\$) | Aterro (R\$) | Bidim (R\$) | TOTAL (R\$) |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Enrocamento | 3.627.000,00 | 416.324,00 | 107.200,00 | 4.150.524,00 |
| 2 espigões + Aterro | 3.565.000,00 | 1.448.550,00 | - | 5.013.550,00 |

7. Considerando as respostas dos quesitos acima, qual dos métodos possíveis é o mais adequado para ser instalado no local?

Os dois métodos são possíveis, tecnicamente, de ser instalados na praia da Peroba, entretanto, considerando os resultados mais positivos a utilização dos espigões, considera-se este método mais recomendável.

8. Há algum método de contenção emergencial que pode ser imediatamente instalado no local, a fim de mitigar os efeitos deletérios do avanço das ondas na localidade, enquanto pendente a obra definitiva proposta no presente estudo?

A princípio, poderia colocar blocos rochosos de maior dimensão para conter inicialmente o avanço da erosão, entretanto, conhecendo as práticas pretéritas, é temeroso que a obra paliativa se transforme em definitivo, desconfigurando totalmente a praia da Peroba e causando inúmeros impactos ambientais deletérios. Algumas medidas emergências já foram implantadas na praia da Peroba, onde os proprietários investiram altos valores com as estruturas artesanais de madeira e que foram severamente atingidas e parcialmente destruídas pelas últimas marés (Figura 15).

Figura 15 – Proprietários que investiram altos valores em medidas de proteção paliativas e emergenciais, tentam salvar suas estruturas diante da força do avanço do mar na praia da Peroba, Icapuí-CE.



1) A deficiência na recomposição de areia e sedimentos na costa é um fator que causa a erosão costeira e o avanço do mar na localidade da Peroba em Icapuí?

A erosão costeira de Peroba está associada, principalmente, à retenção de sedimentos pela construção da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, maior reservatório de água do Rio Grande do Norte, com capacidade de 2,4 bilhões de metros cúbicos. Está localizada no rio Piranhas-Assu, e foi construído em 1980, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), administrador da barragem. Secundariamente, é produto da implementação de estruturas de contenção costeira, nas praias de Barreira e Barreira da Sereia, no Município de Icapuí, a leste da área em estudo. No total, foram construídos 5.463 metros lineares de enrocamento, sendo 2.757 metros nas Barrinhas, 1.121 metros na Barreira da Sereia e 1.585 metros em Redonda, correspondendo a 38% do trecho litorâneo entre estas praias.

2) As obras de enrocamento aderente bem como as soluções alternativas adotadas historicamente pela comunidade são de natureza definitivas, ou seja, elas resolvem as causas da erosão, ou são ambas obras de natureza paliativas pois não atuam para a reversão das causas do problema da erosão?

Qualquer solução adotada não será definitiva, pois estaremos atuando no efeito da erosão local, não nas causas. Em decorrência das inúmeras intervenções já realizadas, tais como barragens e até obras de defesas costeira que afetaram o balanço sedimentar costeiro e a impossibilidade de retirar estas obras, persistirá a erosão costeira em Icapuí. Vale salientar que, a princípio, a colocação de blocos rochosos de maior dimensão pode conter inicialmente o avanço da erosão, entretanto, conhecendo as práticas pretéritas, é temeroso que a obra paliativa se transforme em definitivo, desconfigurando totalmente a praia da Peroba e causando inúmeros impactos ambientais deletérios. Algumas medidas emergenciais já foram implantadas na praia da Peroba, onde os proprietários investiram altos valores com as estruturas artesanais de madeira e que foram severamente atingidas e parcialmente destruídas pelas últimas marés.

3) Uma obra de intervenção humana ao ser realizada na orla (enrocamento) para a contenção do avanço do mar pode ter impacto no meio ambiente pela alteração irreversível da paisagem natural e alterar o uso regular da orla com a mudança no desenvolvimento das atividades econômicas de pesca e turismo na comunidade?

Os enrocamentos interferem nos processos naturais, como a migração de habitats, causando o comprometimento dos organismos que utilizam o substrato entre marés. A escolha das defesas costeiras deve ser feita de acordo com as condições específicas do local e os objetivos primários e secundários (tais como proteção contra ondas, estabilização de estradas, conservação do espaço e capacidades de amarração). Quando há espaço suficiente disponível e não existe conflito com outros objetivos primários ou secundários, as medidas verdes (tais como a alimentação das praias e a restauração das dunas) são frequentemente preferidas.

Os enrocamentos verticais refletem a energia das ondas em vez de dissipá-la, o que torna a linha costeira mais sujeita à erosão. Quando os paredões são regularmente galgados, ou quando isso ocorre em grandes tempestades, a água pode remover solo ou areia atrás do muro e enfraquecê-lo. O galgamento da água satura o solo e aumenta as pressões do lado terrestre, o que pode causar o colapso estrutural. O nível da subida do mar e o potencial galgamento devem ser tidos em conta na construção do paredão. Em geral, a erosão contínua pode minar a base da estrutura e ameaçar a sua estabilidade.

Os enrocamentos não só causam perda de praia diretamente em frente, mas também essas estruturas são capazes de causar aumento da erosão em áreas adjacentes da praia que não possuem paredões. Este fenômeno é causado pela “erosão de flanco” e ocorre nas extremidades dos paredões. O acesso público também é impactado por paredões. À medida que a praia se estreita, torna-se um desafio – ou mesmo é impossível - chegar à praia. Em alguns locais com paredões, o acesso à praia é possível que seja muito inseguro. Mais importante ainda: a perda de acesso público e de utilização das praias suscita preocupações de justiça ambiental – porquanto entidades privadas estão a se apropriar das praias públicas.

4) É possível realizar a contenção do avanço do mar e promover, ao mesmo tempo, a recomposição dos sedimentos e areia da orla com um só tipo de intervenção construtiva na modalidade de espigão ou quebra-mar?

Na solução proposta, a colocação de dois espigões irá criar zonas de sombra e acresção natural de sedimentos, mas, de modo emergencial, recomenda-se, também, a colocação de areias mais grossas do que as atualmente existentes na praia.

5) A obra chamada de espigão ou quebra-mar tem menor grau de impacto socioeconômico e ambiental do que a contenção na orla no modelo de enrocamento aderente?

A utilização de espigões permeáveis possibilita a passagem de sedimentos transportados pela deriva costeira, minimizando os impactos mais negativos destas obras, como os instalados nas praias de Caucaia. Aqui se faz menção aos resultados socioeconômicos positivos dos espigões com aterros, como das praias de Iracema e Meireles, em Fortaleza, Areia Preta, em Natal, Copacabana, no Rio de Janeiro, e Piçarras, em Santa Catarina.

6) Considerando a comparação acima entre enrocamento aderente (orla) e o espigão ou quebra-mar (mar), qual a solução construtiva que tem maior benefício, levando-se em conta o custo aproximado de ambas e o equilíbrio na mitigação do impacto ambiental, permitindo o maior uso da praia para os fins econômico e sociais da pesca e do turismo.

Utilizando os volumes calculados para os espigões projetadas para a área, podemos estimar o total de blocos rochosos, areias para aterro e no caso do enrocamento aderente, a manta geotêxtil (BIDIM), que são os principais insumos construtivos. Os volumes de material para o enrocamento foram retirados do projeto executivo da obra de implantação da estrutura de defesa costeira da praia de Peroba, de autoria da Secretaria de Infraestrutura e Saneamento – Prefeitura de Icapuí. Das soluções dos espigões, foram utilizados os volumes calculados a partir da batimetria do local e do desenho tridimensional das estruturas, entretanto o volume final somente poderá ser definido nos projetos executivos, a serem utilizados na liberação dos recursos federais e/ou estaduais e processos licitatórios (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa dos volumes dos principais insumos para a execução das soluções de proteção da praia da Peroba.

| Intervenção | Blocos (m³) | Aterro (m³) | Bidim (m2) |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Enrocamento | 11.700,00 | 9.700,00 | 13.400,00 |
| 2 espigões + Aterro | 11.500,00 | 33.750,00 | - |

Para estimar os valores básicos de cada solução foram utilizadas as tabelas de Tabela de Custos e Insumos da Secretaria da Infraestrutura do Estado do Ceará (Disponível em: <https://www.seinfra.ce.gov.br/tabela-de-custos/>. Acesso: 09 de fev. 2024) (Tabela 2).

Material para aterro, valor por metro cúbico = R\$ 42,92

C0710 - CARGA MECANIZADA DE TERRA EM CAMINHÃO BASCULANTE (m3) - R\$ 4,32

C2530 - TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 10KM (m3) - R\$38,6

Blocos Rochosos, valor por metro cúbico - R\$ 310,16

C4306 - LAVRA, SELEÇÃO E ESTOQUE DE PEDRAS (1,00 T ATÉ 4,00 T) - R\$ 33,58

C4287 - CARGA E ARRUMAÇÃO DE PEDRAS (1,00 T ATÉ 6,00 T), INCLUSIVE LANÇAMENTO - R\$ 17,26

C4313 - TRANSPORTE DE PEDRAS DE 1,0 T ATÉ 6,0 T EM RODOVIA (100 km) - R\$ 259,32

MANTA GEOTEXTIL TIPO BIDIM - R\$ 8,00 m2

Tabela 2 – Estimativa de custos comparativos considerando os principais insumos para a execução das soluções de proteção da praia da Peroba.

| Intervenção | Blocos (R\$) | Aterro (R\$) | Bidim (R\$) | TOTAL (R\$) |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Enrocamento | 3.627.000,00 | 416.324,00 | 107.200,00 | 4.150.524,00 |
| 2 espigões + Aterro | 3.565.000,00 | 1.448.550,00 | - | 5.013.550,00 |

7) Tendo em vista a atual situação da morfologia praial, onde se verifica uma enorme diminuição da faixa de praia, ameaça de destruição de rede elétrica, terrenos e casas e dificuldades de acesso, causados pela forte erosão, qual o modelo construtivo de menor impacto ambiental que poderia ser executado no menor tempo possível?

O tempo necessário para a instalação dos dois tipos de obra depende, principalmente, da celeridade do fornecimento dos blocos rochosos que irão compor as estruturas. As pedreiras mais próximas estão a 100 km e 150 Km. Assim, em razão da distância, o custo final será diferente. Utilizando a Tabela de Custos e Insumos da Seinfra, na distância menor, o valor do transporte de pedras de 1,0 t até 6,0 t em rodovia pavimentada custa R\$ 262,40 e, na maior distância, R\$ 390,40, uma diferença de R\$ 128,00. A princípio, a mais próxima seria a melhor, entretanto é uma pedreira menor, que não trabalha com esta gramatura de rochas, logo, aumenta o tempo de fornecimento e a complexidade da obra.

Os espigões independem do horário de maré para a sua execução, sendo construídos pela descarga dos blocos da pedreira diretamente no corpo da estrutura, com os blocos maiores da carapaça de proteção, sendo selecionados e distribuídos por meio de retroescavadeira.

O enrocamento depende dos horários de maré para sua execução, ou seja, somente durante a estufa de maré baixa é possível executar a obra. De tal sorte, a celeridade exigirá horários corridos, diurno e noturno. A instalação do enrocamento é quase artesanal, exige muita mão de obra especializada para a colocação das diversas partes que a compõem, tais como: proteção de pé, colocação da manta geotêxtil para impedir fuga de sedimentos, e, sobre esta, instalação de coluna manual para conter o geotêxtil, núcleo da estrutura formada por blocos menores e carapaça de proteção composta por blocos maiores. Os blocos oriundos das pedreiras são lançados em uma zona de descarga na praia, selecionados por tamanhos e cuidadosamente depositados sobre a manta para evitar ruptura.

Associação dos Moradores da Peroba

1 – Qual a obra marítima mais indicada na praia da Peroba, levando em consideração a urgência na contenção de maré, bem como a erosão existentes?

No âmbito do processo, discute-se a instalação de dois tipos distintos de obras costeiras: **enrocamento** e **espigão**. Os enrocamentos são estruturas inclinadas paralelamente à costa, construídas em direção ao solo da praia para dissipar e reduzir a

ação das ondas na fronteira entre o mar e a terra. Essas estruturas, normalmente, protegem um relevo suave, como uma área de dunas ou encosta costeira, ou fornecem proteção suplementar a outras defesas. Geralmente, são estruturas muito sólidas e reforçadas, consideradas uma medida de proteção de engenharia pesada para enfrentar, principalmente, os riscos de destruição. São construídos com armaduras rochosas, tetrápodes, mantas asfálticas ou gabiões e concebidos como estruturas inclinadas e permeáveis para encorajar a rebentação das ondas na sua face externa para o mar, e a fim de maximizar a dissipação de energia nos interstícios das unidades de construção. Os enrocamentos, entretanto, não abordam a causa raiz da erosão.

Os espigões são estruturas estreitas, perpendiculares à costa e duras, projetados para interromper o transporte de sedimentos ao extenso da costa, retendo, assim, uma parte dos sedimentos que, de outra maneira, seriam transportados por toda a costa. Ao fazer isso, os espigões ajudam a construir e estabilizar o ambiente da praia, e são considerados uma medida de engenharia pesada para proteger a erosão marítima. Eles são construídos com ampla variedade de materiais, incluindo blocos de rocha, concreto, tetrápodes, estacas de aço e madeira nobre. As vantagens dos espigões estão, principalmente, relacionadas com a sua capacidade de reter sedimentos, conduzindo assim ao crescimento da praia com os consequentes benefícios de redução da erosão e maior dissipação da energia das ondas. O campo de espigões idealmente projetado permite que os sedimentos se acumulem e, eventualmente, contornem parte da estrutura soterrada, sem causar erosão significativa à deriva.

2 – Qual a largura necessária de construção da obra marítima para tornar efetiva e suficiente para evitar os prejuízos que vem causando aos moradores da região?

O enrocamento é construído paralelo à praia. Então, necessita de menor largura de praia, entretanto, é comum realizar aterros e ocupar, em geral, dez metros. Os espigões projetados são perpendiculares à costa, ocupando, em média, 60 metros.

3 – Qual o material mais indicado para a construção da obra marítima, levando em consideração a agitação intensa da maré na região?

O material utilizado no enrocamento ou no espigão constitui blocos graníticos com peso médio de 1,84 Tonelada = 1.840 Kg, além de outros insumos, como areias para aterros e mantas geotêxteis.

4 – Haverá necessidade de ampliação da largura da praia para fins de balneários ou de reurbanização e complementar a fixação de areias para a alimentação artificial de praias?

Sim, a utilização de dois espigões e a colocação de areias de forma artificial criarão uma faixa de praia de larguras variadas em função da proximidade das zonas de sombras dos espigões.

5- E quanto ao sistema operacional de manutenção, qual o mais adequado para evitar ruína da estrutura pela erosão causada?

O impacto das ondas sobre os dois tipos de estrutura é diferente. Normalmente, o espigão recebe as ondas antes de sua ruptura, quando as ondas, pelo processo de empinamento, ainda não alcançaram altura máxima e, por consequência, menor energia das ondas. No enrocamento, alcançado durante as marés de sizígia, a onda está totalmente desenvolvida, e com energia máxima, gerando maior impacto sobre os blocos da carapaça da estrutura. Além disso, para diminuir o impacto visual da carapaça de proteção, comumente, são colocados blocos menores para preenchimento dos vazios. No enrocamento aderente instalado na praia de Boa Viagem, no Recife, a manutenção desta estrutura era realizada anualmente por contrato com empresa especializada. Os espigões apresentam uma exigência de manutenção de maior prazo. A título de exemplo, está o espigão da praia de Iracema, em Fortaleza, implantado em 1969 e recuperado em 1999, por intermédio do reforço da carapaça de proteção, 30 anos depois.

6- Haverá necessidade da construção de espigão em conjunto com outro espigão (campo de espigão) diante da extensa faixa de praia?

Sim, este é o modelo de solução proposto para a praia de Peroba, que – se acredita - trará melhores benefícios socioeconômicos.

7 – No estudo realizado, levará em consideração o uso e captação de renda por parte dos moradores locais?

Apesar de não estar contemplada no escopo da perícia, a implantação das obras de proteção e recuperação da praia da Peroba constitui uma intervenção municipal, que, no Município de Icapuí, em decorrência da erosão sistemática, já se transformou em uma política pública. São, em resumo, as medidas tomadas pelo Governo para proteger os direitos das pessoas, ajudar ou prestar serviços. Seu objetivo é garantir que os cidadãos e cidadãs gozem dos direitos garantidos por lei. Essas medidas são uma parte importante da Administração Pública, pois representam programas governamentais que visam a melhorar a sociedade e atender às necessidades cidadãs. A política pública também é uma modalidade de ajudar a reduzir a desigualdade social em um país e é utilizável como um meio de inclusão social.

Nas praias adjacentes, onde já foram implantadas obras de proteção e recuperação (praias das Barreiras, Barreira da Sereia e Redonda), nota-se, após a urbanização, aumento significativo do valor dos imóveis na faixa de praia e nos terrenos altos, acima das falésias, a implantação de loteamentos com lotes variando de R\$ 42.000,00 (190 m²), na praia das Barreiras, e R\$ 155.000,00 (412 m²), na praia de Redonda, mais conhecida. Neste sentido, terrenos antes sem valor comercial, para a agricultura e pecuária por falta de água subterrânea ou abastecimento público, passaram a ser explorados, turisticamente, para a construção de casas de praia. A necessidade de nivelar e cercar os terrenos dos lotes criou uma demanda de serviços que vem sendo realizada pelas comunidades tradicionais do local. As perspectivas com a construção das segundas residências irão incluir a mão de obra feminina para, cuidar das prendas diversas do lar, e outros nativos, na vigilância e segurança geral.

8 – Pelo estudo realizado ficam evidentes o processo de erosão e a ausência de reparos emergenciais pelos setores competentes?

Sim, com grande prejuízo para os moradores e comerciantes do local.

9 – Qual o projeto mais adequado, analisando todas as questões econômicas e sociais, prevendo a mitigação dos possíveis efeitos adversos, bem como danos já ocorridos?

Um enrocamento proporciona um elevado grau de proteção contra inundações costeiras e erosão. Os paredões exigem menos espaço do que outras defesas costeiras, como diques e espigões. Os paredões podem ser aumentados para fazer face à subida do nível do mar, o que requer, simultaneamente, um alargamento da fundação. O elevado nível de segurança proporcionado por um paredão favorece o desenvolvimento do interior. A crista do paredão prolonga-se, frequentemente, numa parte coberta de pedra, que desempenha outras funções, por exemplo, estrada, passeio ou lugares de estacionamento.

Espigões são utilizáveis para alargar artificialmente a área da praia na zona ascendente (leste), oferecendo novas oportunidades para o desenvolvimento de atividades económicas e sociais terrestres. Enrocamentos e espigões são estruturas bastante comuns e simples, amplamente utilizadas em áreas costeiras. Eles têm sido aplicados em todo o mundo há muitos anos. Consequentemente, uma ampla experiência é habilitada a apoiar o seu correto projeto e sua construção, também para mitigar os impactos ambientais.

As duas soluções denotam elevado grau de sucesso para conter a erosão, cada uma com um custo/benefício diferente, entretanto, para potencializar os benefícios socioeconômicos, acredita-se que os espigões com aterro vão mostrar melhores resultados.

6- Referências Bibliográficas

- ARVOREAGUA. Como um muro causa erosão numa praia. Disponível: <https://arvoreagua.org/ambiente-costeiro-e-marinho/erosao-costeira>. Acesso: 21 fev. 2024.
- BAISRE, J. A.; ARBOLEYA, Z. Going against the flow: effects on river damming in Cuban fisheries. **Fish Res.** 81, 283–292. 2006.
- CAVALCANTE, A. A., MORAIS, J. O., PINHEIRO, L. S., BEZERRA, M. B.; FREITAS, H. B. Transporte de Sedimentos e alterações fluviais no baixo curso do Rio Jaguaribe-C. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais**, pp. 25-25, Natal, RN, Brasil. 2007.
- DAVIS JR, R.A.; FITZGERALD, D.M. (2004). Beaches and coasts. **Blackwell Publishing**. 2004.

DE ARAÚJO, J. C.; FERNANDES, L.; MACHADO JR., J. C.; LIMA OLIVEIRA, M. R.; CUNHA SOUSA, T. Sedimentation of reservoirs in semiarid Brazil. In: **Global change and regional impacts: Water availability and vulnerability of ecosystems and society in the semi-arid Northeast of Brazil**, edited by T. Gaiser, M. S. Krol, H. Frischkorn, and J. C. de Araújo, 205–216. Berlin: Springer. 2003.

DE ARAÚJO, J. C.; GUENTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrol. Sci. J.** 51 (1): 157-170. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.1.157>. 2006.

DUGAN, J.; HUBBARD, D. **Ecological effects of coastal armoring**—A summary of recent results for exposed sandy beaches in Southern California. USGS Publications, p. 187-194. 2010.

GOODRICH, K.A.; GEORGE, D.A.; BEYELER, M.; GRIFMAN, P.; SADRPOUR, N. Toward improved coastal sediment management through coordination in California, *Shore & Beach*, 88(3), 31-38. 2020.

HALLERMEIER, R.J. Uses for a calculated limit depth to beach erosion. In: *Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference*. ASCE, New York, pp. 1493–1512. 1978.

HALLERMEIER, R.J. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. **Coast. Eng.** 4 (C), 253–277. 1981.

IRIBARREN, R. **Una fórmula para el cálculo de los diques de escollera**. M. Bermejillo Usobiaga. Pasajes, Guipúzcoa, Spain. 1938.

IRIBARREN, R.; NOGALES, C. “Generalización de la fórmula para el cálculo de los diques de escollera y comprobación de sus coeficientes.” **Revista de Obras Públicas**, Madrid, Año XCVIII, Núm 2821: 277-289. 1950.

MAMEDE, G. L.; ARAÚJO, N.; SCHNEIDER, C. M.; DE ARAÚJO, J. C.; HERRMANN, H. J. Overspill avalanching in a dense reservoir network. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109 (19): 7191–7195. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200398109>. 2012.

MAMEDE, G.L.; GUENTNER, A.; MEDEIROS, P.H.A.; DE ARAÚJO, J.C.; and BRONSTERT, A. Modeling the Effect of Multiple Reservoirs on Water and Sediment Dynamics in a Semiarid Catchment in Brazil. *J. Hydrol. Eng.*, 23(12): 05018020. 2018.

MASSELINK G, HUGHES, M.G. *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Oxford: Oxford University Press. 2003.

MEDEIROS, P. H. A.; GUENTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. L.; DE ARAÚJO, J. C. (2010). Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semiarid catchment with the WASA-SED model. **Hydrol. Sci. J.** 55 (4): 636–648. 2010. <https://doi.org/10.1080/02626661003780409>.

MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S.; CAVALCANTE, A. A.; PAULA, D. P.; SILVA, R. L. Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 8(2):61-76.2008.

PETER, S. J.; DE ARAÚJO, J. C.; ARAÚJO, N. A. M.; HERRMANN, H. J. Flood avalanches in a semiarid basin with a dense reservoir network. *J. Hydrol.* 512: 408–420. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.001>.

POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**, 47 (11), 769–784.1997.

ROSENDAHL APPELQUIST, L.; HALSNÆS, K. The Coastal Hazard Wheel system for coastal multi-hazard assessment & management in a changing climate. *Journal of Coastal Conservation* 19, 2, 157-179.2015.

SCHIPPER, M.A.; DE VRIES S.; RUESSINK,G.; DE ZEEUW, R.C,; RUTTEN, J.; VAN GELDER-MAAS, C.; STIVE M.J.F. **Initialspreading of a mega feeder nourishment:** observationsof the sand engine pilot project. *Coast Eng* 111:23–38. (PDF) Coastal Defenses and Engineering Works. Available from:https://www.researchgate.net/publication/343808944_Coastal_Defenses_and_Engineering_Works [accessed Feb 15 2024]. 2016.

SCHMIDT, S.; NEUMANN, B.; WAWERU, Y.; DURUSSEL. C.; UNGER, S.; VISBECK, M. SDG14 conserve and sustainablyuse the oceans, seas and marine resources for sustain-able development. *In*: GRIGGS, DJ.; NILSSON, M.; STEVANCE, A.; MCCOLLUM, D. (Eds) A guide to SDG inter-actions: from science to implementation. **International Council for Science (ICSU)**, Paris, pp 175–219. (PDF) Coastal Defenses and Engineering Works. Available from: https://www.researchgate.net/publication/343808944_Coastal_Defenses_and_Engineering_Works [accessed Feb 15 2024]. 2017.

SERRA, T.; SOLER, M.; BARCELONA, A.; COLOMER, J. Suspended sediment transport and deposition in sediment-replenished artificial floods in Mediterranean rivers. **Journal of Hydrology**, 609. 127756. 2022.

United Nations Environment Programme – UNEP. The Coastal Hazard Wheel decision-support system: **Catalogue of hazard management Options**, 109p. ISBN: 978-92-807-3593-2. 2016.

United Nations Environment Programme – UNEP. **Managing climate change hazards in coastal áreas**, main manual, 40p. ISBN: 978-92-807-3593-2.2016a.

Declaração Academia Cearense da Língua Portuguesa

ACADEMIA CEARENSE DA LÍNGUA PORTUGUESA

Dvlcisonam et Canoram Lingvam Cano

D E C L A R A Ç ã O

Para constituir prova junto a QUEM INTERESSAR, DECLARO que procedi ao trabalho de revista gramatical e estilística, *on line*, com marcação em cores e regramento da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, dos originais de um **Questionário – Perícia**, da autoria do Professor Doutor LUÍS PARENTE (UFC), nos termos do Acordo Lusófono vigente desde 01.01.2009, pelo que assino este Documento, a fim de que surta os efeitos legais.

Fortaleza-CE, 19 de fevereiro de 2024.

Prof. Vianney Mesquita

João VIANNEY Campos de MESQUITA – Reg. Prof. número 204 – Liv. 2 – P. 103.
Prof. Assoc. I – Universidade Federal do Ceará-Brasil – acadêmico titular da Academia Cearense da Língua Portuguesa – Cadeira número 37; acadêmico titular da Academia Brasileira de Literatura e Jornalismo; Árcade novo titular-fundador da Arcádia Nova Palmaciana; membro da Associação Internacional de Jornalistas – Bruxelas – União Europeia; Escritor. [22 livros].
Rua Marvin, 385 (60.821-790) - Fortaleza – CE.

Ata de Reunião de Visita técnica In Loco- Praia da Peroba

Eu, Luis Parente Maia, CPF 155.448.933-49, residente a Av. Eng. Santana Júnior, 2937, apto 501, bairro Cocó, Fortaleza Ceará, na qualidade de perito indicado, venho apresentar o seguinte relatório de visita técnica in loco, realizada com o objetivo de discutir as soluções de proteção e recuperação da praia da Peroba.

Local: Boca do Povo, Praia da Peroba, Icapuí/CE

Data: 20 de fevereiro de 2022

Presentes:

Perito: Prof. Luis Parente Maia

Perito assistente: Eng. Paulo Márcio Vieira

Partes envolvidas:

- **Representantes da SPU**
Murilo Ferreira Cunha
Paulo Rogério F. Medeiros
- **Representante da Prefeitura de Icapuí**
Eldevan Nascimento Silva (Secretário de Governo)
- **Representantes da Associação dos Moradores**
Raimundo Isael dos Santos (Presidente)
Eurisvan Germano da Cruz (Loro da Pousada)
Francisco Cordeiro Ângelo (Advogado da Associação)
- **Representantes da Associação Preserve Peroba**
Luiz Fco. Cunha Viana (Presidente)
Marcus Braga Batista
Demócrito Rocha Dummar Filho
- **Representantes da ONG Aquasis (Amicus Curae)**
Marcílio Maia (Vice-Presidente)
Thaís Chaves (Coord. Educação Ambiental)
- Outros membros da comunidade

Início da reunião: 8:30h

1. Apresentação Inicial:

O perito Luis Parente iniciou a reunião apresentando-se como responsável pelo relatório de perícia judicial relacionado à erosão das praias do Icapuí. Apresentou também os

diversos participantes da reunião e agradeceu a presença de todas as partes envolvidas, bem como dos membros da comunidade local.

2. Apresentação Técnica de Fontes e Transportes de Sedimento:

O perito explicou os aspectos técnicos e científicos do fenômeno de erosão costeira no estado do Ceará, que é um fenômeno natural e que vem se agravando ao longo dos anos. Ele apontou que a erosão costeira de Peroba está associada principalmente a retenção de sedimentos pela construção da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, maior reservatório de água do Rio Grande do Norte, localizada no Rio Piranhas-Assu, construída em 1980, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). E, secundariamente, é produto da implementação de estruturas de contenção costeira, nas praias de Barreira e Barreira da Sereia no município de Icapuí, a leste da área em estudo. No total, foram construídos 5.463 metros lineares de enrocamento, sendo 2.757 metros nas Barrinhas, 1.121 metros na Barreira da Sereia e 1.585 metros em Redonda, correspondendo a 38% do trecho litorâneo entre estas praias.

Em seguida, detalhou a metodologia dos estudos da morfologia praial realizados, a partir de dados recentemente coletados através de batimetria, sondagens, de dados científicos atuais disponíveis e de simulações feitas a partir da plataforma MIKE21, que usa dados reais para gerar modelos que se aproximam da realidade para desenvolver mecanismos de proteção costeira. Na apresentação foram usados materiais impressos como fotos, prints de telas, planilhas, entre outros.

3. Análise de Obras de Proteção e Recuperação Costeiras e Estrutura Proposta:

Foram apresentados e discutidos diversos modelos construtivos e soluções potenciais para obras de contenção, como o enrocamento aderente, o quebra-mar não aderente e espigões. Para cada um destes modelos foram analisados os seus impactos, viabilidade técnicas, custos e possibilidades.

A partir da comparação entre os modelos, com base nas necessidades apresentadas pelas partes e nos impactos ao meio ambiente, o perito indicou como estrutura ideal a construção de dois espigões curvos, a exemplo da obra hoje executada na praia de Icaraí, em Caucaia/CE, como a melhor opção para a área da Peroba, explicando os motivos dessa escolha.

O perito explicou que os espigões são estruturas estreitas, perpendiculares à costa e duras, projetados para interromper o transporte de sedimentos ao longo da costa, retendo assim uma parte dos sedimentos que de outra forma seriam transportados ao longo da costa. Ao fazer isso, os espigões ajudam a construir e estabilizar o ambiente da

praia, e são consideradas uma medida de proteção de engenharia pesada para proteger a erosão marítima.

As vantagens dos espigões estão principalmente relacionadas com a sua capacidade de reter sedimentos, conduzindo assim ao aumento da praia com os consequentes benefícios de redução da erosão e maior dissipação da energia das ondas. Espigões podem ser utilizados para alargar artificialmente a área da praia na zona ascendente (leste), oferecendo novas oportunidades para o desenvolvimento de atividades económicas e sociais terrestres.

No caso da Peroba, há também a necessidade de se adicionar sedimentos à superfície da costa, em conjunto com o espigão. Essa alimentação artificial de sedimentos é vital para atuar como uma fonte de sedimentos para preencher a área da praia, entre as estruturas dos espigões e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto nas linhas costeiras a jusante.

Ao promover o alargamento das praias, têm-se a vantagem de manter um ambiente de praia atraente que pode ser valioso para a atividade e o turismo. Este é particularmente o caso da Peroba, quando o espigão é aplicado juntamente com medidas artificiais de engorda e alimentação nas praias.

4. Discussão e esclarecimentos:

Após as apresentações iniciais, o perito respondeu às perguntas e questionamentos das partes presentes. Muitos participantes expressaram a urgência de agir, entre eles os representantes dos moradores locais, através da Associação de Moradores, que cobraram do poder público mais agilidade na solução, diante da gravidade do problema, especialmente considerando as marés altas esperadas nos próximos meses e do risco iminente aos imóveis, rede elétrica, estrada, coqueiros, entre outros. A maioria dos presentes se expressou de forma educada e conciliadora e teve a oportunidade de manifestar suas opiniões e de fazer questionamentos.

5. Visita aos Locais:

O perito convidou os presentes a visitar os locais onde os espigões deverão ser instalados, fornecendo explicações adicionais e respondendo a todas as perguntas feitas pelos participantes. Durante essa visita, foram discutidos aspectos como o impacto ambiental mínimo previsto, acessos para pescadores e facilidades para futuras manutenções de embarcações, possibilidade de melhor aproveitamento da praia para lazer e turismo, durabilidade e necessidade de futuras manutenções, e que o espigão é uma opção de médio porte, considerada tecnicamente uma obra permeável, que não

intercepta toda a areia transportada e mantém o equilíbrio deste transporte de areia para outras praias a jusante.



6. Compromissos Assumidos:

A partir dos dados apresentados pelo perito e como resultado das discussões, ficou estabelecido o compromisso de todas as partes em trabalhar juntas para implementar a solução proposta, o mais rapidamente possível.

Representante da Secretaria do Patrimônio da União, Sr. Murilo Ferreira Cunha, destacou que a SPU, que é responsável pela fiscalização e aprovação de quaisquer intervenções na faixa de praia, "assume o compromisso de dar celeridade aos trâmites de aprovação".

O representante da Prefeitura de Icapuí, Sr. Eldevan Nascimento Silva, Secretário de Governo, disse que "a Prefeitura se compromete a mobilizar todos os esforços para agilizar os prazos, para formatar os convênios com Governo do Estado e União, lançar as licitações e contratações para a rápida execução das obras".

A Associação dos Moradores, através de seu Presidente Raimundo Isael dos Santos, reafirmou da necessidade de urgência na realização das obras, afirmou que "compreendeu e concordou com os aspectos técnicos apresentados e que fará tudo o que estiver ao seu alcance para agilizar o processo".

O representante da Associação Preserve Peroba, Luiz Fco. Viana, destacou "a relevância de seguir os caminhos apresentados pela ciência, de respeito ao meio ambiente e que a


solução apresentada vai promover a união de todos e renovar esperanças de solução para o grave problema”.

O Sr. Marcílio Maia, Vice-Presidente da ONG Aquasis, que desenvolve trabalho de preservação de espécies com riscos de extinção na Peroba, afirmou que a Aquasis, como instituto de pesquisas, “apoiará as decisões com embasamento científico de menor impacto para a vida das espécies alvo de seu trabalho e que não fará oposição à solução que poderá trazer benefícios à comunidade”.

Ficou definido ainda, por sugestão do perito assistente Paulo Márcio Vieira que, concomitante a execução obra, é necessário se fazer um acompanhamento de assessoria técnica e de controle tecnológico e executado os programas ambientais previstos no projeto executivo, por técnicos com competência comprovada. Inclusive também foi comentado que poderia ser feito um convênio com um instituto de pesquisa como o Iepro ou a Fundação da UFC.

Encerramento da reunião: 10:30h

Este é o resumo fiel dos acontecimentos na reunião de perícia judicial realizada em Boca do Povo, Icapuí, conforme minha observação e registros.

 Documento assinado digitalmente
LUIS PARENTE MAIA
Data: 21/02/2024 15:37:03-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Luis Parente Maia

20 de fevereiro de 2022, Icapuí, Ceará

ANEXO 1 – ARQUIVO AUTOCAD CONTENDO BATIMETRIA, DESENHO EM 3D DOS ESPIGÕES, CÁLCULO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS E VOLUME DE ROCHAS NECESSÁRIOS PARA A EXECUÇÃO DAS SOLUÇÕES.

ANEXO 2 – ESTUDO VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA DO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ-CE ENTRE 1988 E 2023 SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO INTEGRADA DA ZONA COSTEIRA