

DEFESA COSTEIRA DA PRAIA DA PEROBA

PROJETO EXECUTIVO

TOMO I

IMPLANTAÇÃO DA 1ª ETAPA DAS ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA (ESPIGÕES) DA PRAIA DA PEROBA



Secretaria de
Infraestrutura e Saneamento



Prefeitura de
Icapuí
Quem ama cuida

ICAPUÍ - CEARÁ
Maio/2024


Anderson da Silva Pereira
Engenheiro Civil
CREA - CE 061510131 - 3

DEFESA COSTEIRA DA PRAIA DA PEROBA

PROJETO EXECUTIVO

TOMO I

IMPLANTAÇÃO DA 1ª ETAPA DAS ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA (ESPIGÕES) DA PRAIA DA PEROBA


Anderson da Silva Pereira
Engenheiro Civil
CREA - CE 061510131 - 3

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

| | | |
|----------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 6 |
| 1.1. | IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS | 6 |
| 1.2. | IMPACTOS AMBIENTAIS..... | 7 |
| 1.3. | IMPACTOS ECONÔMICOS | 8 |
| 2. | EROSÃO COSTEIRA | 9 |
| 3. | OBRAS DE PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO COSTEIRA | 11 |
| 3.1. | FATORES DE SUCESSO | 12 |
| 3.2. | FATORES LIMITANTES | 12 |
| 3.3. | CUSTOS E BENEFÍCIOS | 13 |
| 3.4. | ASPECTOS LEGAIS..... | 14 |
| 4. | ESTRUTURA PROPOSTA | 15 |
| 4.1. | VANTAGENS | 15 |
| 4.2. | DESVANTAGENS | 16 |
| 4.3. | DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO UTILIZANDO ESPIGÕES..... | 17 |
| 4.3.1. | A influência das Ondas | 17 |
| 4.3.2. | Simulações Hidrodinâmicas | 19 |
| 5. | DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA | 24 |
| 5.1. | DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS DA ESTRUTURA | 24 |
| 5.2. | DEFINIÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL | 25 |
| 5.3. | PERFIS TRANSVERSAIS DAS ESTRUTURAS DOS ESPIGÕES | 25 |
| 5.4. | VOLUME DE ROCHAS DAS ESTRUTURAS DOS ESPIGÕES | 37 |
| 5.4.1. | Prolongamento da Estrutura | 38 |
| 5.4.1.1. | Prolongamento da Estrutura do Espigão 1 | 38 |
| 5.4.1.2. | Prolongamento da Estrutura do Espigão 2 | 38 |
| 5.4.2. | Volume de Rochas dos Espigões (Estruturas Prolongadas) | 44 |
| 5.4.2.1. | Volume de Rochas do Espigão 1 – Estrutura Prolongada | 44 |
| 5.4.2.2. | Volume de Rochas do Espigão 2 – Estrutura Prolongada | 44 |
| 5.4.2.3. | Efeito de Agulhamento de Estruturas de Defesa Costeira | 45 |
| 5.4.3. | Volume Total de Rochas dos Espigões (Estruturas Prolongadas) | 45 |

TOMO I

| | | |
|-------------|---|----|
| I. | MEMORIAL DESCRITIVO DA ESTRUTURA | 47 |
| I.I. | OBJETIVO | 47 |
| II. | SÍNTESE DA ESTRUTURA PROPOSTA | 47 |
| III. | IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO | 48 |
| III.I. | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO – TOMO I | 48 |
| IV. | QUANTITATIVO DE MATERIAIS – TOMO I | 48 |
| IV.I. | VOLUME DE ROCHAS | 48 |
| IV.II. | VOLUME DE AREIA | 48 |
| IV.III. | SERVIÇOS TÉCNICOS COMPLEMENTARES | 48 |
| IV.III.I. | Controle Da Morfologia Praial (Morfodinâmica Praial) | 49 |
| IV.III.II. | Levantamento Batimétrico da Plataforma Adjacente À Praia | 49 |
| IV.III.III. | Aerofotogrametria – Mapeamento Aéreo Com VANT | 50 |
| V. | PARTILHAMENTO DE QUANTITATIVOS – TOMO I | 50 |
| | REFERÊNCIAS | 51 |
| | ANEXO | 54 |

APRESENTAÇÃO

Em 2019 a Prefeitura Municipal de Icapuí, através de convênio estabelecido com o então Ministério da Integração Nacional, licitou um contrato que tinha como objeto, a execução de uma obra de contenção do avanço do mar nas praias da Peroba, Barreiras de Baixo e Barrinha.

Em 2020, com a liberação parcial dos recursos, provenientes do Ministério da Integração, dada o estado de maior degradação da praia se encontrar entre as praias de Barreiras de Baixo e Barrinha, foi iniciada a implantação de um enrocamento aderente nessas duas praias. Porém, no ano de 2022, quando ocorreu a liberação de recursos destinados à praia da Peroba, alguns donos de propriedades locais, em conjunto com a Associação de Moradores da Peroba, recorreram à Justiça Federal para requerer a não execução do enrocamento. Condição esta que foi concedida pela justiça. Naquela ocasião, dada a grande parte do litoral atingida pelos problemas erosivos, a prefeitura conseguiu junto ao Ministério que houvesse o redirecionamento dos recursos para outra área atingida, a Praia da Barrinha, nas proximidades com a Praia da Requenguela. Nesse ínterim, motivado pelo pleito dos proprietários e pela associação de moradores da Peroba, o Governo do Estado do Ceará, através da Secretaria de Obras Públicas, liberou recurso por meio de convênio para a construção de uma estrutura artesanal, constituída por madeira, que tinha como objetivo combater o processo erosivo que naquela ocasião, a exemplo do que vem ocorrendo atualmente, se intensificava.

Porém, mesmo com a liberação de recursos, assim como pelo processo licitatório efetivado, a obra de estrutura artesanal não chegou a ser implantada. Novamente foi recorrido à justiça e, através de uma “Ação Civil Pública” junto ao Ministério Público Federal – MPF, a obra não foi impedida de ser realizada, desta feita, sob o argumento de que aquela estrutura não surtiria efeito, sobretudo em razão de não ser uma intervenção reconhecidamente utilizada como uma obra de defesa costeira.

A partir de então, o MPF, por meio de um “Perito Judicial” fez uma avaliação mais ampla e específica de qual a estrutura mais adequada, do ponto de vista técnico para a proteção da costa e eliminação do processo erosivo na Praia da Peroba.

Baseado na análise de dados das condições meteoceanográficas de Icapuí, através dos quais se revelaram o clima de ondas atuantes no litoral, bem como, por meio das “Simulações Hidrodinâmicas” 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, aplicável à simulação de fenômenos hidráulicos em lagos, estuários, baías, regiões costeiras e oceanos, onde a estratificação do meio seja negligenciada.

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 – foi conceitualmente definido como mais adequada, e mais eficiente a adoção de um campo com dois espigões curvos, para o qual o perito, Dr. Luis Parente Maia, apresentou todas as diretrizes e premissas que embasaram a elaboração deste projeto executivo.

No entanto, dada a necessidade de um alto investimento para a implantação do tipo de solução adotada, e em razão das limitações de recursos municipais, necessário se fez que a gestão municipal partisse em busca de estabelecer convênio(s) com entes estaduais, e/ou federativos, na busca de resolver o problema do avanço do mar no litoral de Icapuí, sobretudo, e mais especificamente na praia da Peroba.

O município, porém, somente conseguiu viabilizar o empreendimento a partir de 02 (dois) convênios estabelecidos com entes distintos e em momentos distintos. O primeiro, estabelecido com a Secretaria de Obras Públicas (SOP), do Governo do estado do Ceará, e o segundo com o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional.

Entretanto, como a efetivação desses convênios se deram em momentos distintos e, por conseguinte, a liberação dos recursos, e a consequente autorização para licitação, também se deram dissociadamente, necessário se fez a conciliação e a compatibilização da execução da obra separadamente, conquanto, sem prejuízo dos objetivos, visto que o processo erosivo se intensifica a cada dia, e mais prejuízos traz à população, ao município e ao ambiente.

Nesse sentido, visando a viabilização do empreendimento, mas sobretudo a proteção e recuperação do segmento litorâneo da praia da Peroba, fez-se indispensável a compatibilização dos convênios com a execução da obra e, a partir dessa condição, foi consequentemente estabelecida a conciliação dos recursos com os objetivos, sendo, portanto, fundamental a dissociação das metas em 02 (dois) volumes: **TOMO I** – Implantação da 1ª Etapa das Estruturas de Defesa Costeira (Espigões) da Praia da Peroba, com recursos advindos do convênio estabelecido com a Superintendência de Obras Públicas - SOP/CE; e **TOMO II** – Implantação da Etapa Complementar das Estruturas de Defesa Costeira (Espigões) da Praia da Peroba, com recursos advindos do convênio estabelecido com o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional - MIDR, conforme se apresenta cada um dos respectivos volumes.

Este volume corresponde ao **TOMO I – PROJETO EXECUTIVO DA IMPLANTAÇÃO DA 1ª ETAPA DAS ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA (ESPIGÕES) DA PRAIA DA PEROBA**, e nele encontram-se, além de todas as premissas conceituais – estabelecidas no projeto básico – todas as diretrizes para a execução dessa etapa da obra, tais como, detalhamento de execução dos serviços, plantas, seções, memórias de cálculo, composições de preço e orçamento, plano de monitoramento ambiental, entre outros.

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 econômicos 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 socioeconômicos 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.

1.1. 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).

1.2. 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.

1.3. 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/cicloviárias 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.

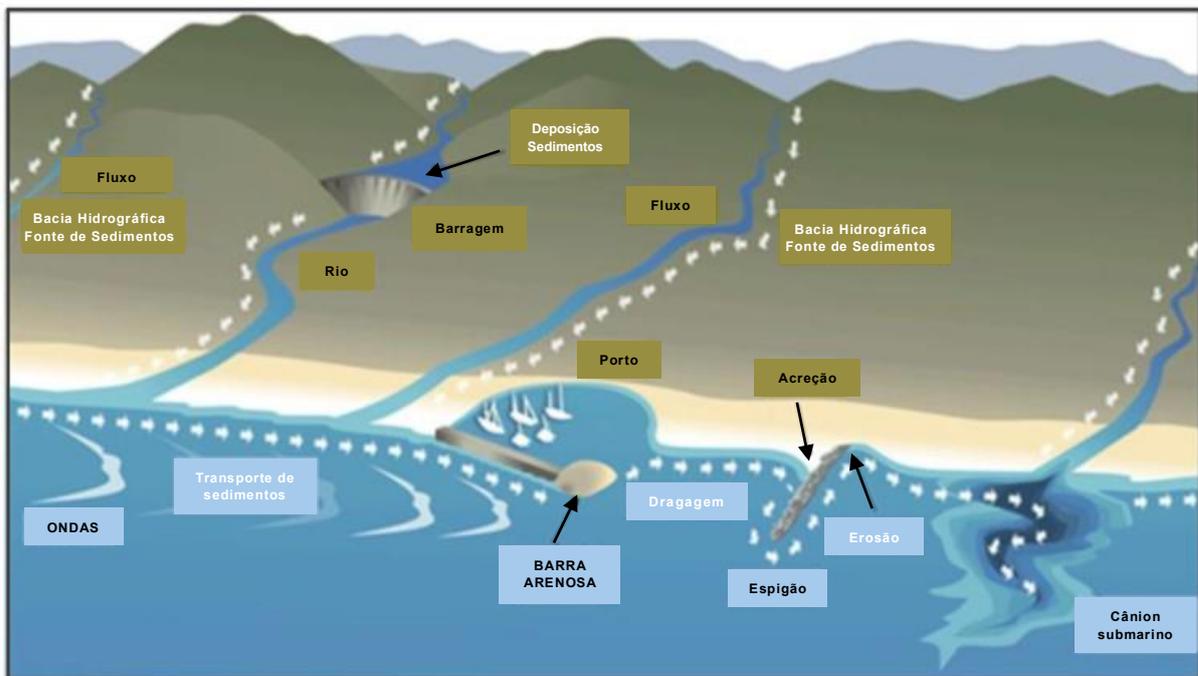


Figura 1 – Fontes e transporte de sedimentos na zona costeira. **Fonte:** Adaptado de Goodrich et al., 2020

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 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.

3.1. 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.

3.2. 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 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).

3.3. 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.



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

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.

3.4. 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; conseqüentemente, 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).

4.1. 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.

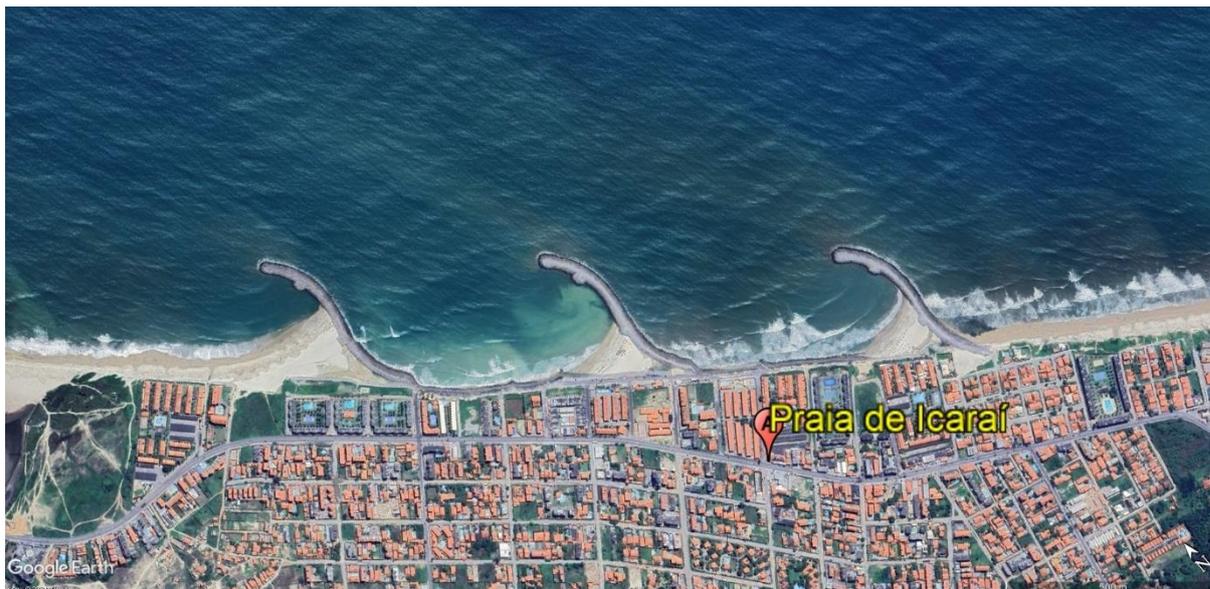


Figura 4 – Campo de Espigões permeáveis da Praia do Icaraí, Município de Caucaia.

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.

4.2. 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.

4.3. DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO UTILIZANDO ESPIGÕES

4.3.1. 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 arrebenção, 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.

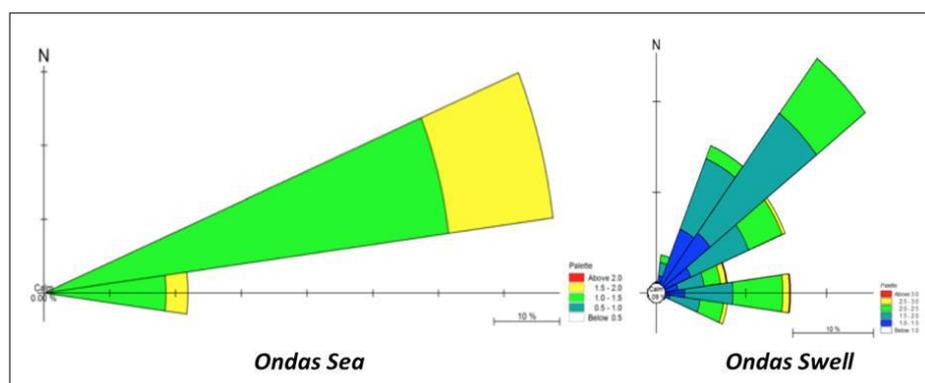


Figura 5 – Rosa da altura significativa (Hs) das ondas dos tipos *sea* e *swell*.

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 $d = L_0/2$, em que L_0 é o comprimento das ondas em águas profundas. Assim, d é considerada o limite das profundidades infinitas; Caso $d > L_0/2$, a onda se propaga livremente, sem receber influência no fundo do mar e vice-versa; para $d < L_0/2$, 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 $L_0 = 39$ 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 $d_r = L_0/20$; considerando as ondas do tipo *sea*, será de $d_r = 1,95$ 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.

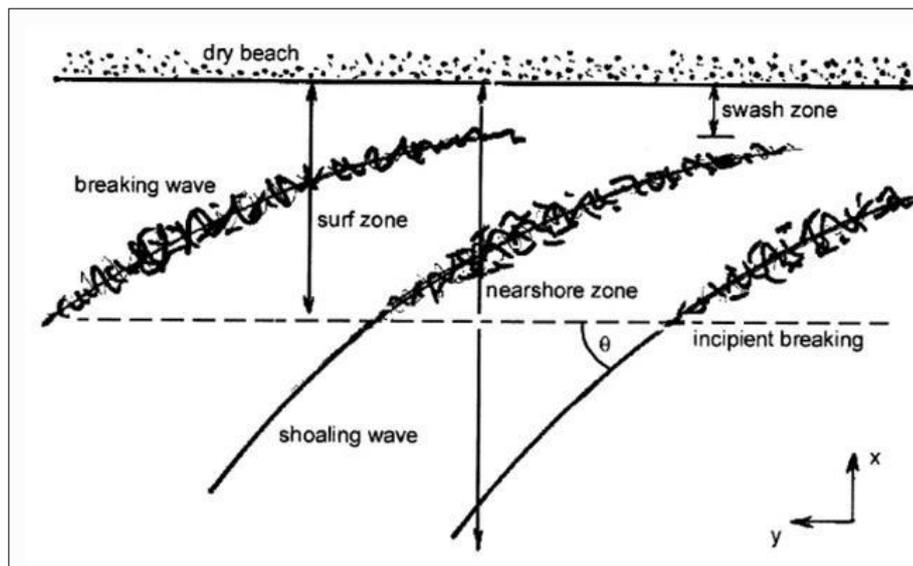


Figura 6 – Classificação das zonas de propagação das ondas em função da profundidade.

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 esses ambientes são tratados como antepraia superior e inferior. A antepraia superior é a zona onde, em condições médias, as ondas arrebentam, 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:

$$d1 = 2,28 Hs0,137 - 68,5 (Hs0,1372 / gTs2),$$

em que ($d1$) é a profundidade de fechamento do nível da maré baixa, ($Hs0,137$) é a altura significativa que não excede mais de 12 horas por ano (0,137%) e Ts 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 ($Hs0,137 = 1,8$ m; $T = 6$ s) a uma profundidade de fechamento do perfil de 3,5 metros, e para as condições de ondas do tipo *swell* ($Hs0,137 = 2,5$ 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.

4.3.2. 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 ($L = g.T_p^2/2\pi$) e suas velocidades ($V = L/T_p$), 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).

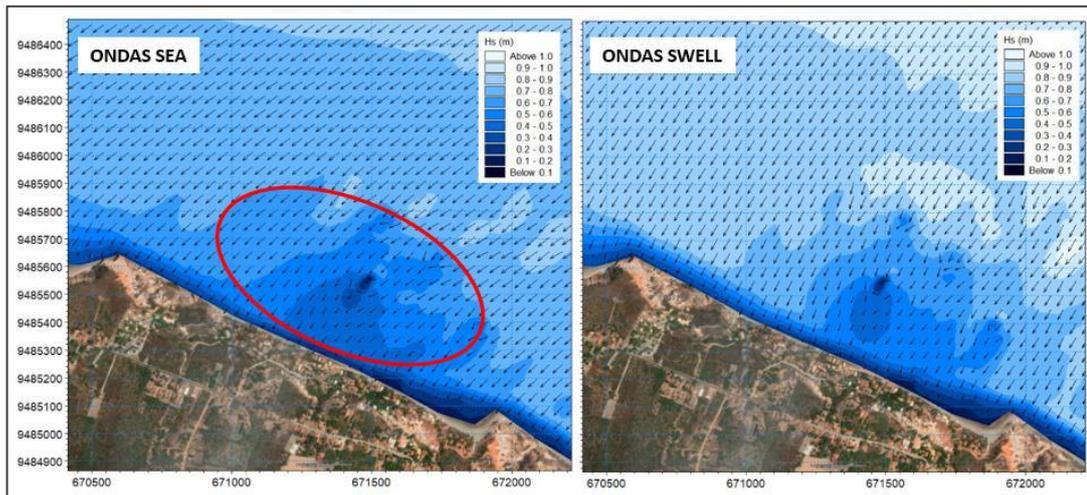


Figura 7 – Simulação das ondas do tipo *sea* para as condições atuais, mostrando o efeito dos altos fundos na propagação das ondas (área em vermelho).

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 (corres 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).

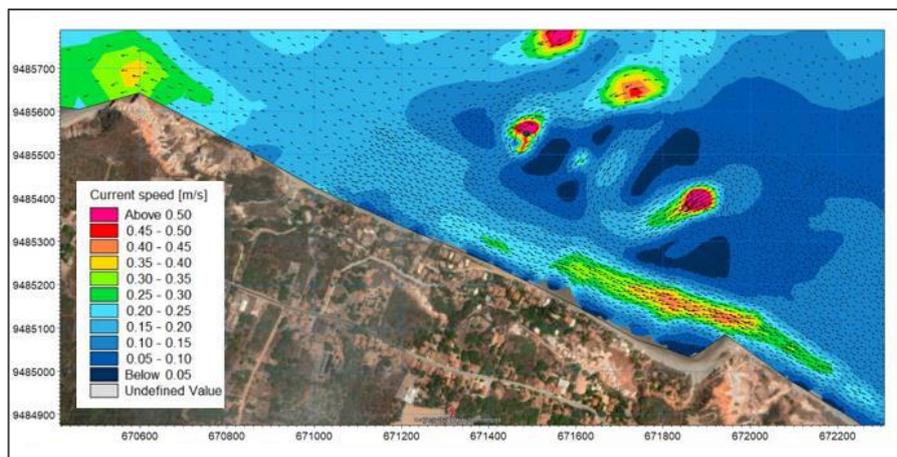


Figura 8 – Simulação das correntes costeiras da situação atual e as causas da erosão associada.

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).

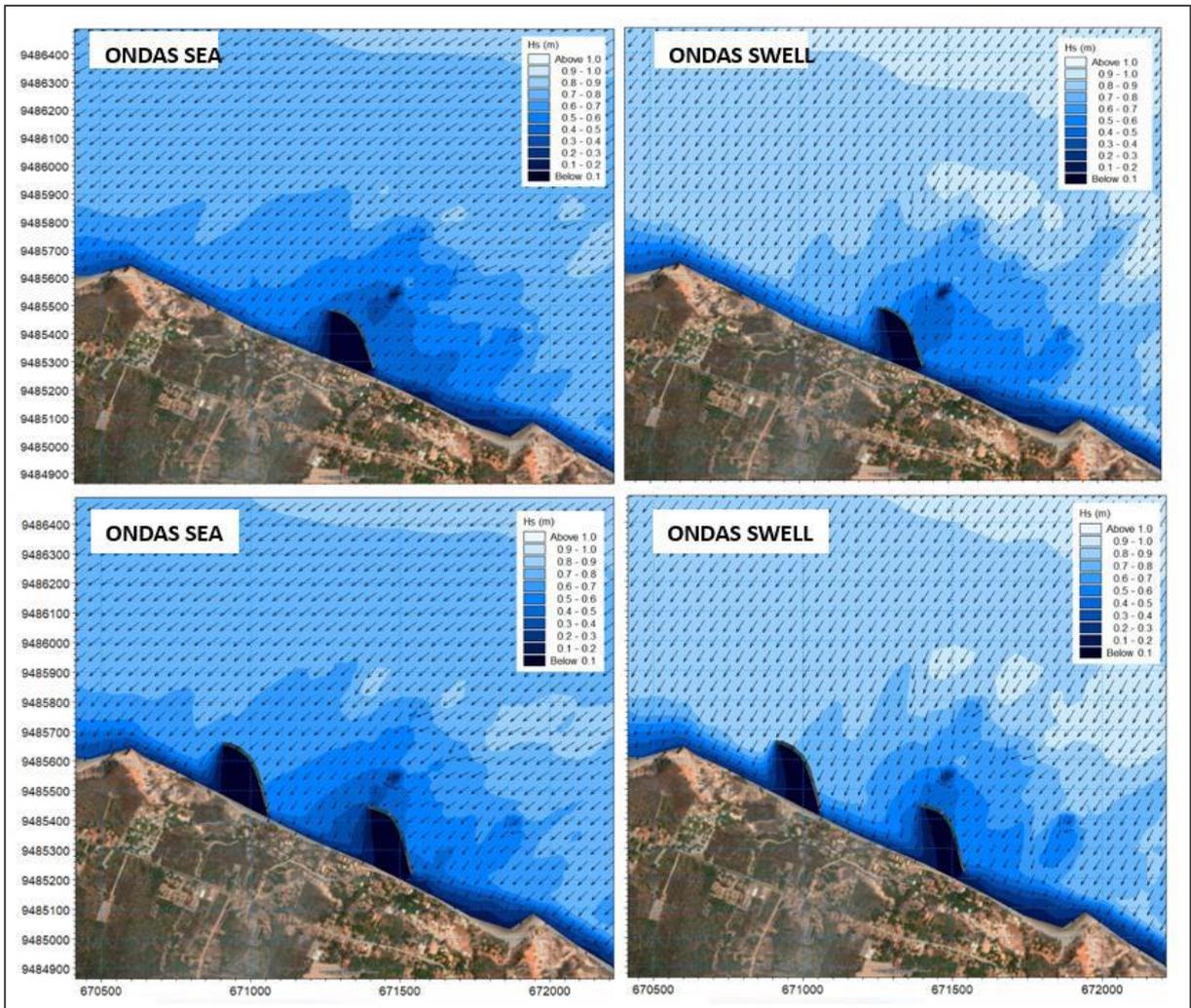


Figura 9 – Simulação das ondas dos tipos sea e swell com as duas opções, com um e dois espigões.

Em razão da melhor eficiência da utilização de um campo com dois espigões, foi realizada a simulação das correntes costeiras. Com isso, é possível notar 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, a 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). Já na figura 11, está o posicionamento dos espigões para efeito de sua instalação.

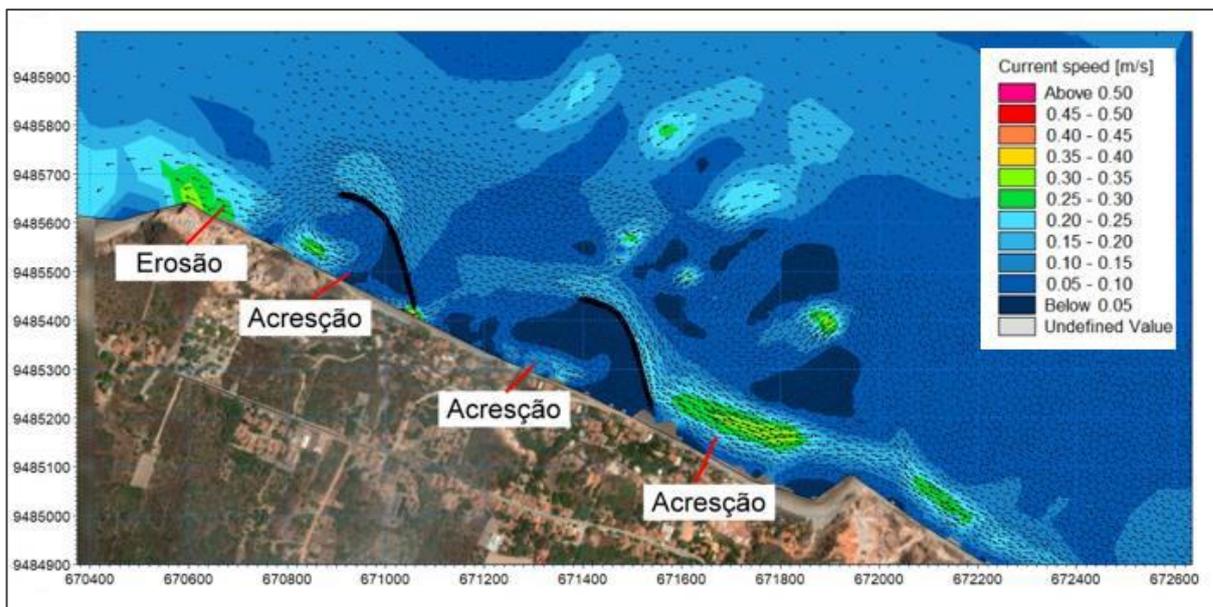


Figura 10 – Simulação das correntes com dois espigões e a formação de zonas de acreção.

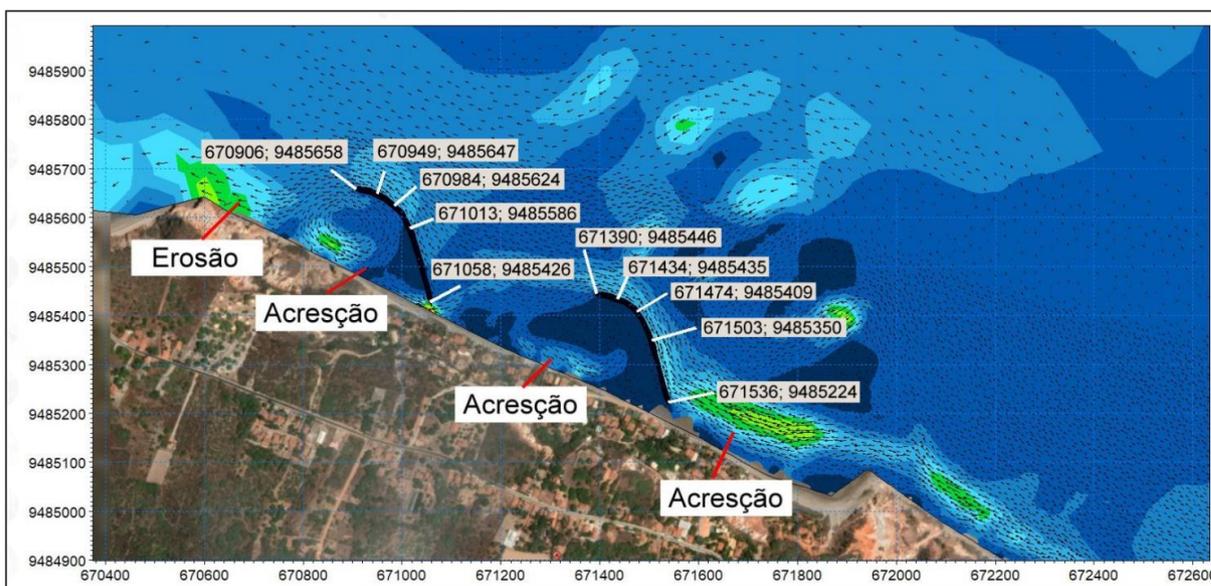


Figura 11 – Coordenadas UTM da localização dos dois espigões.

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. Para melhor compreensão de como se dá a melhor opção, é mostrado o conceito do projeto concluído (Figura 12).

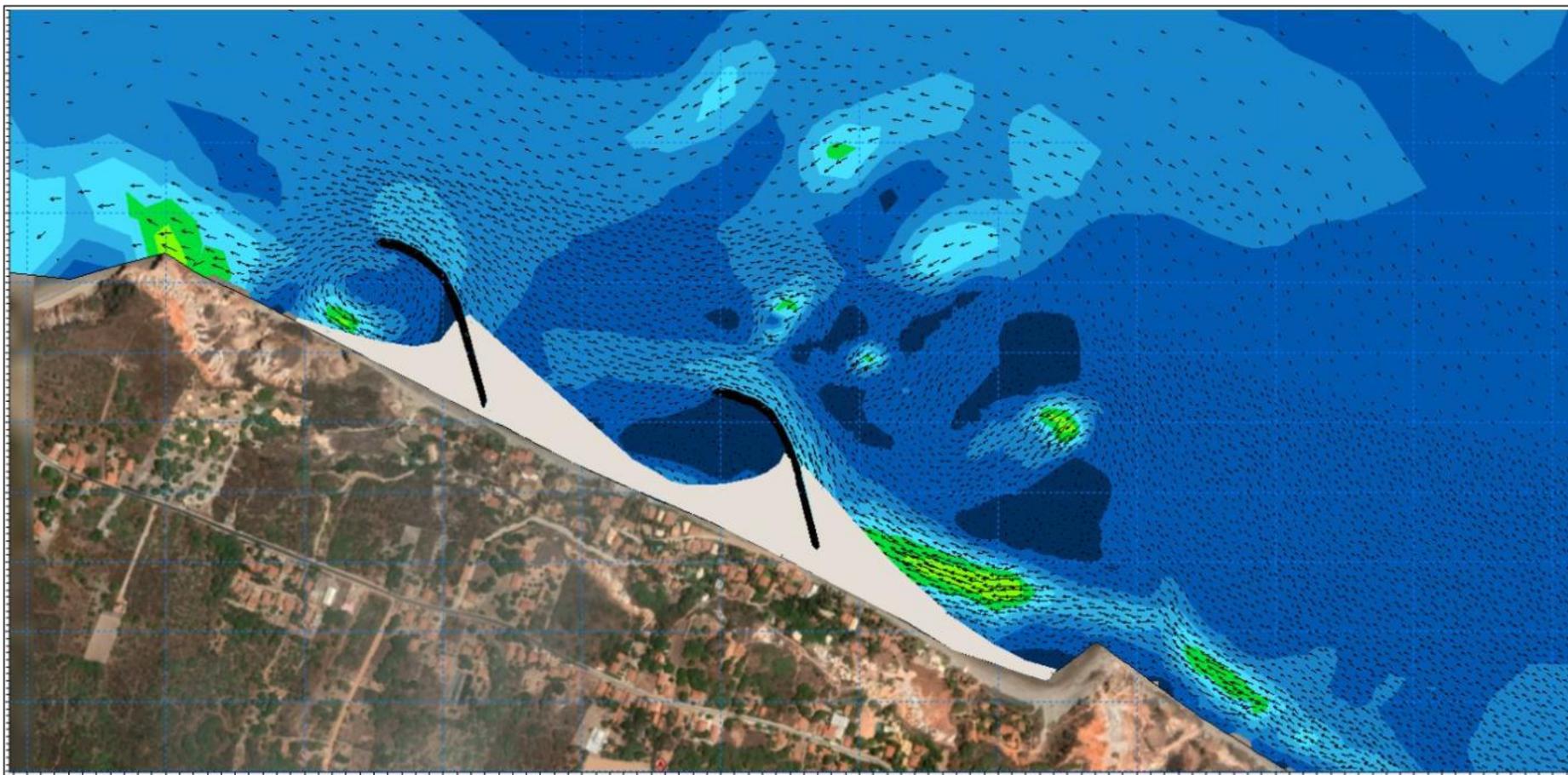


Figura 12 – Modelo idealizado do efeito final da instalação dos dois espigões.

5. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

5.1. 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:

- $W = W_{50} \Rightarrow$ Peso médio da armadura;
- $H = H_s \Rightarrow$ 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;
- $\gamma S \Rightarrow$ Peso específico do material rochoso utilizado, para blocos do tipo granítico (2,65 T/m³);
- $\gamma_a \Rightarrow$ Peso específico da água do mar (1,03 T/m³);
- $K_D \Rightarrow$ 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.

5.2. DEFINIÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL

A seção-tipo transversal dos espigões deverá ser executada formando um trapézio, cuja base maior se encontre repousando sobre o solo marinho. Sua largura é variável e dependerá da cota do solo terrestre/marinho. A base menor corresponde ao topo (crista) da estrutura deverá ter largura mínima de 3,5 metros – de forma a permitir a passagem dos caminhões com as de rochas – e sua altura é igual a 4,0 metros, altura da cota natural da praia, antes da erosão.

A proporção da inclinação do talude – carapaça de proteção – foi definida individualmente para cada face lateral, de forma a atender à capacidade de absorção da energia incidente, assim como para compatibilizar com a necessidade de uso local da praia.

Diante disso, considerando-se que as demandas de energia serão maiores nas carapaças voltadas para o mar – de Norte a Leste –, essas faces terão proporção de 1,0:1,5, permitindo, assim, o maior poder de dissipação das ondas incidentes. Em contrapartida, as carapaças voltadas para o continente – de Oeste a Sul – serão mais verticalizadas, com proporção de 1,0:1,0, favorecendo, inclusive, as atracções e operações das embarcações de pesca artesanal (Figuras 13 e 14).

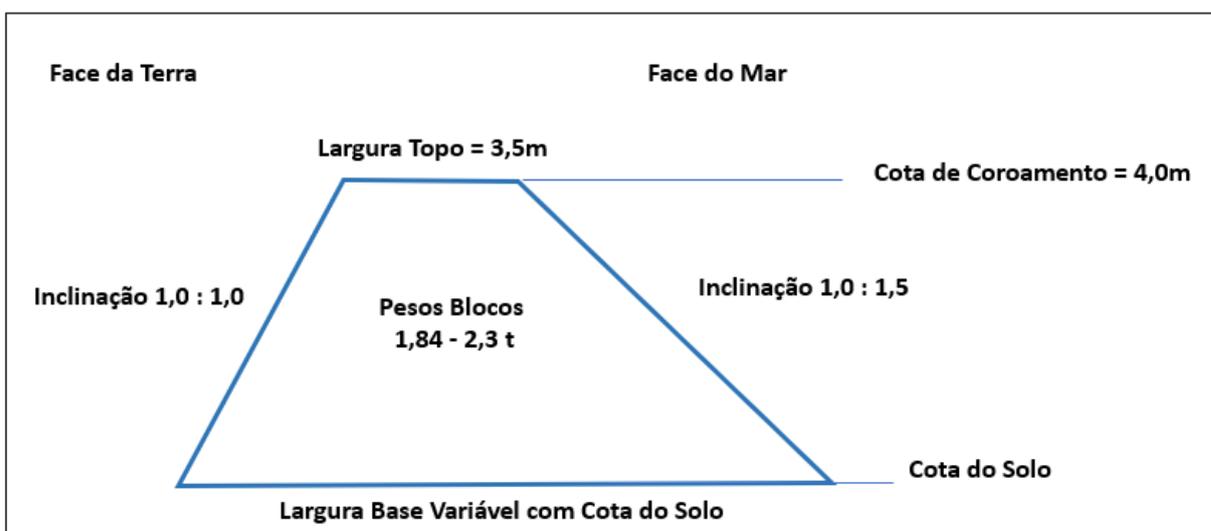


Figura 13 – Caracterização geral da Seção Transversal do Espigão.

5.3. PERFIS TRANSVERSAIS DAS ESTRUTURAS DOS ESPIGÕES

Definida a seção-tipo das estruturas e, consecutivamente, suas proporções, foram projetadas as estruturas na Praia da Peroba, tomando por referência as curvas de nível obtidas pelo levantamento batimétrico integrado com a topoalimetria do estirâncio e, considerando as respectivas extensões de cada estrutura, foram implantadas as seções (perfis) transversais, separadas por estaqueamento – a cada 20,0 metros – em cada um dos respectivos espigões (Figuras 14 a 24 / Quadro 1).

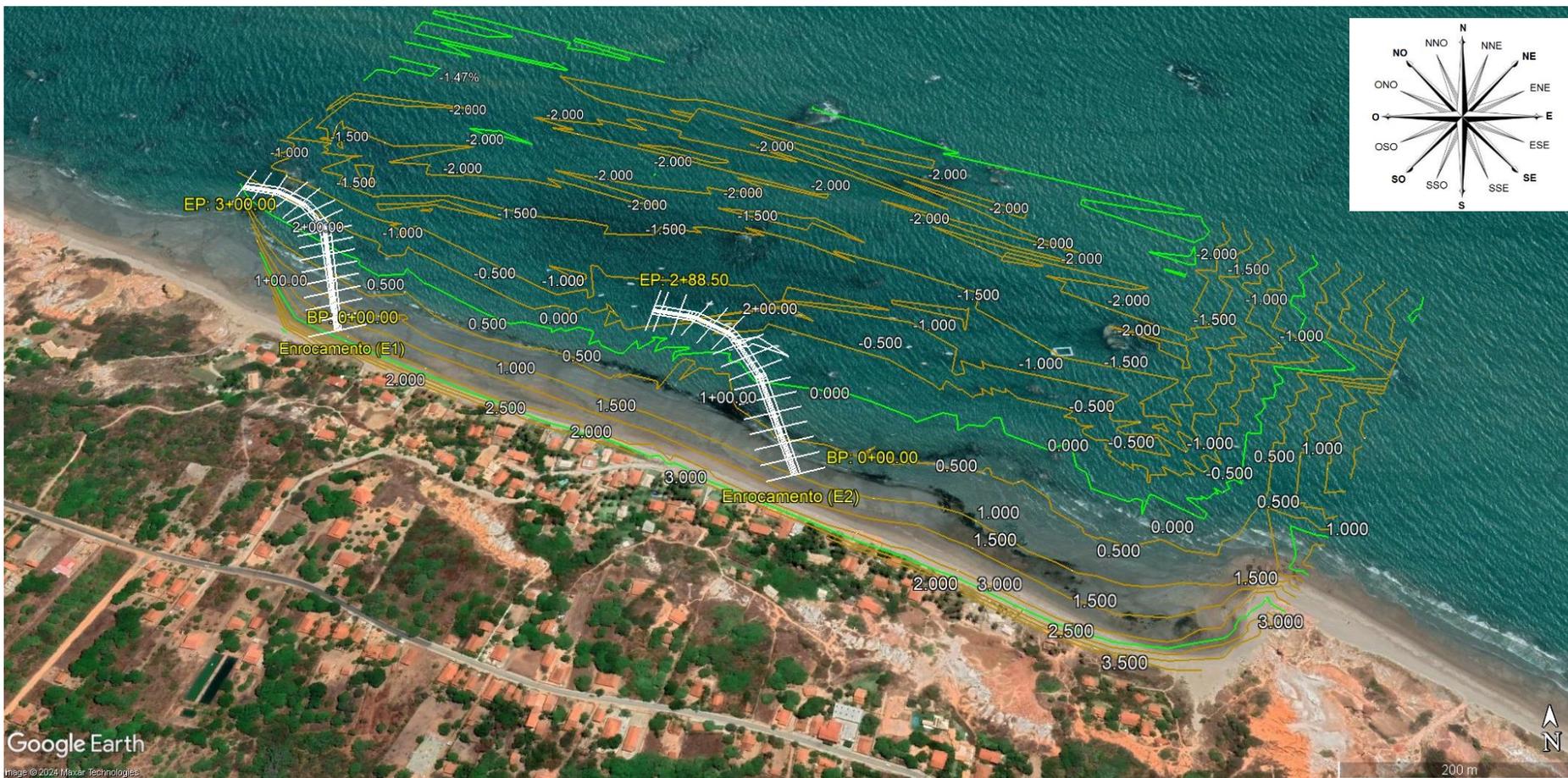


Figura 14 – Representação esquemática da alocação das estruturas dos espigões 1 e 2 e suas respectivas seções, implantadas de acordo com as curvas de nível. Praia da Peroba, Icapuí-CE.


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

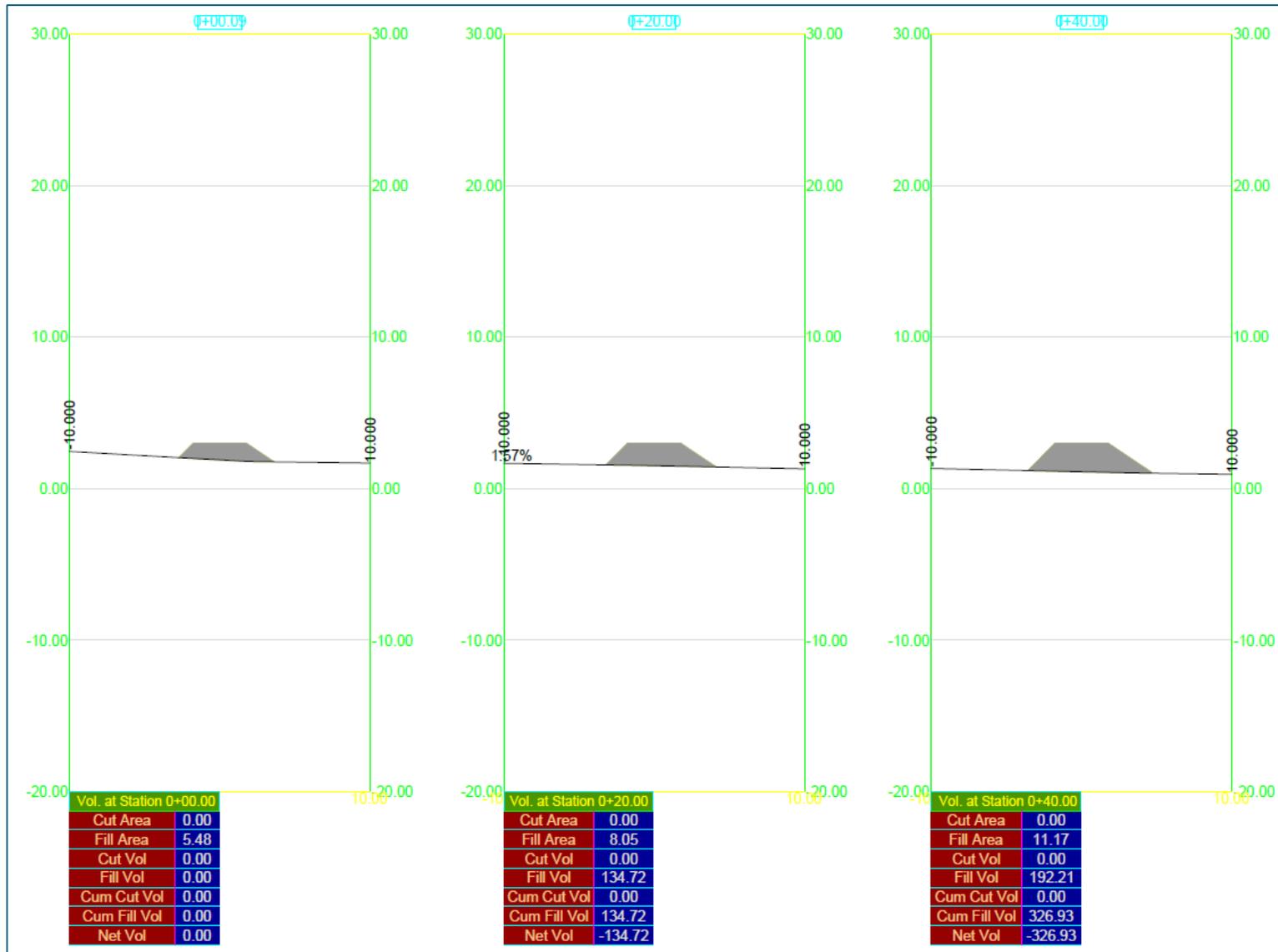


Figura 15 – Perfis transversais (Seções 0+00.00; 0+20.00; e 0+40.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

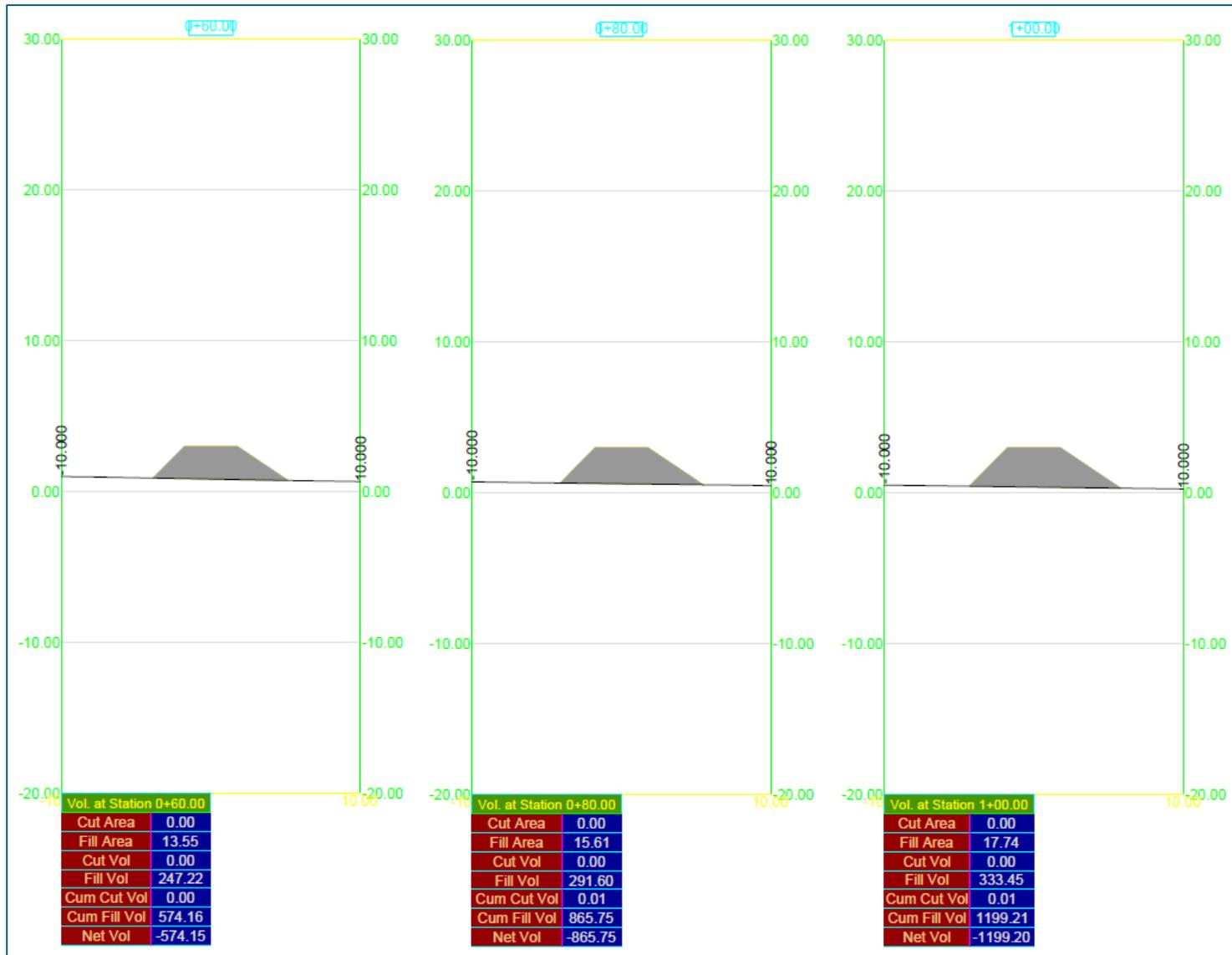


Figura 16 – Perfis transversais (Seções 0+60.00; 0+80.00; e 1+00.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

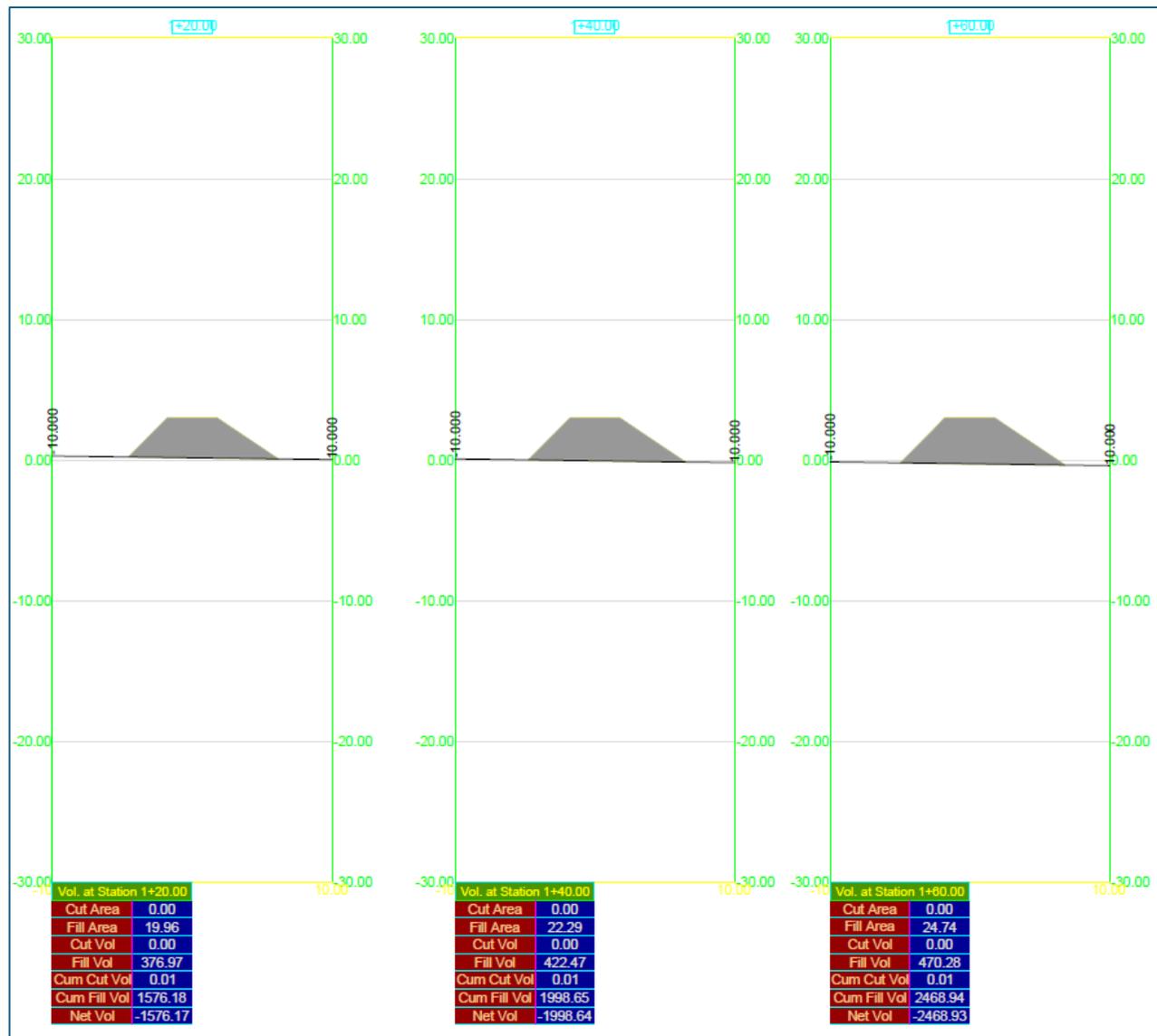


Figura 17 – Perfis transversais (Seções 1+20.00; 1+40.00; e 1+60.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

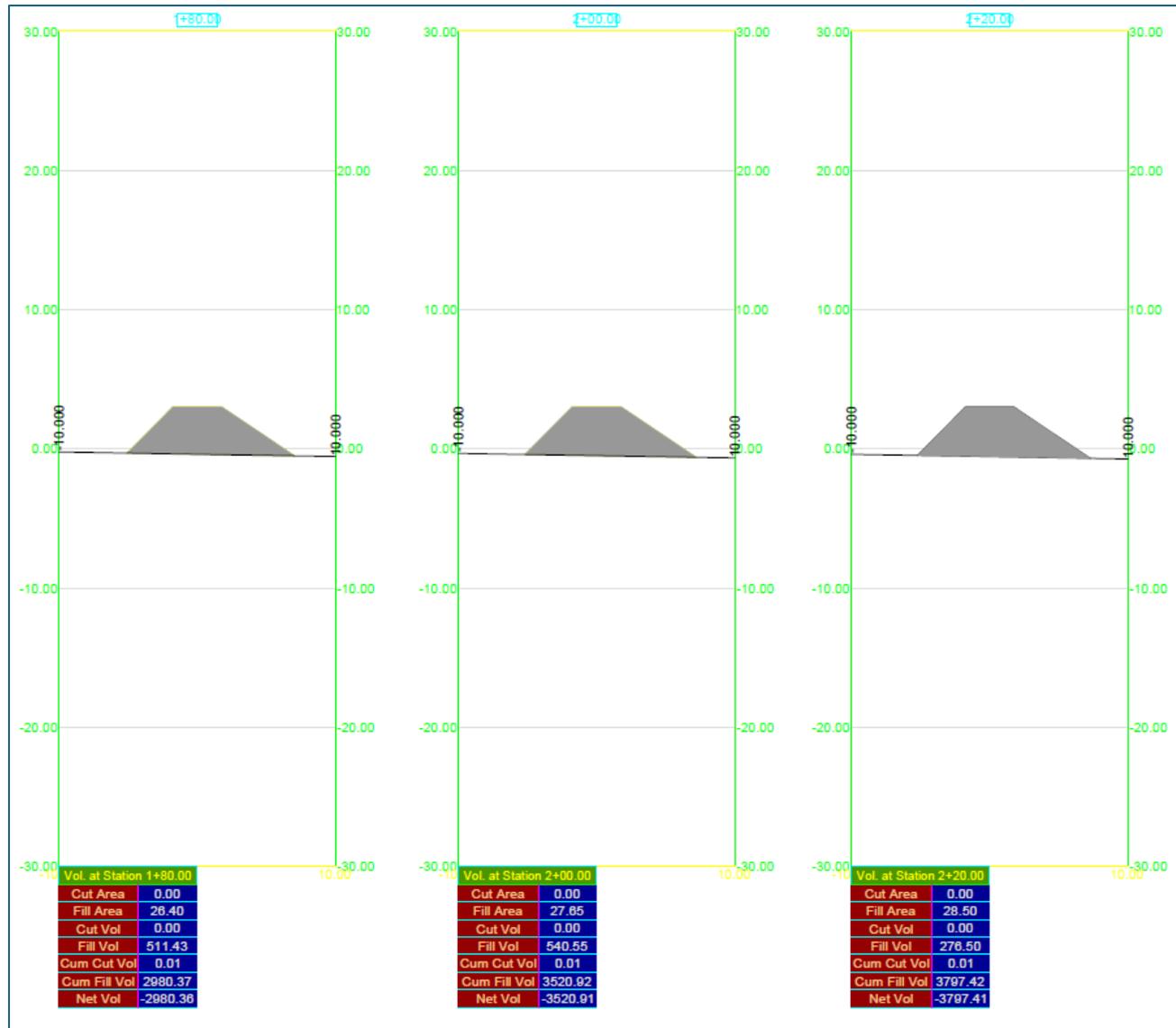


Figura 18 – Perfis transversais (Seções 1+80.00; 2+00.00; e 2+20.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

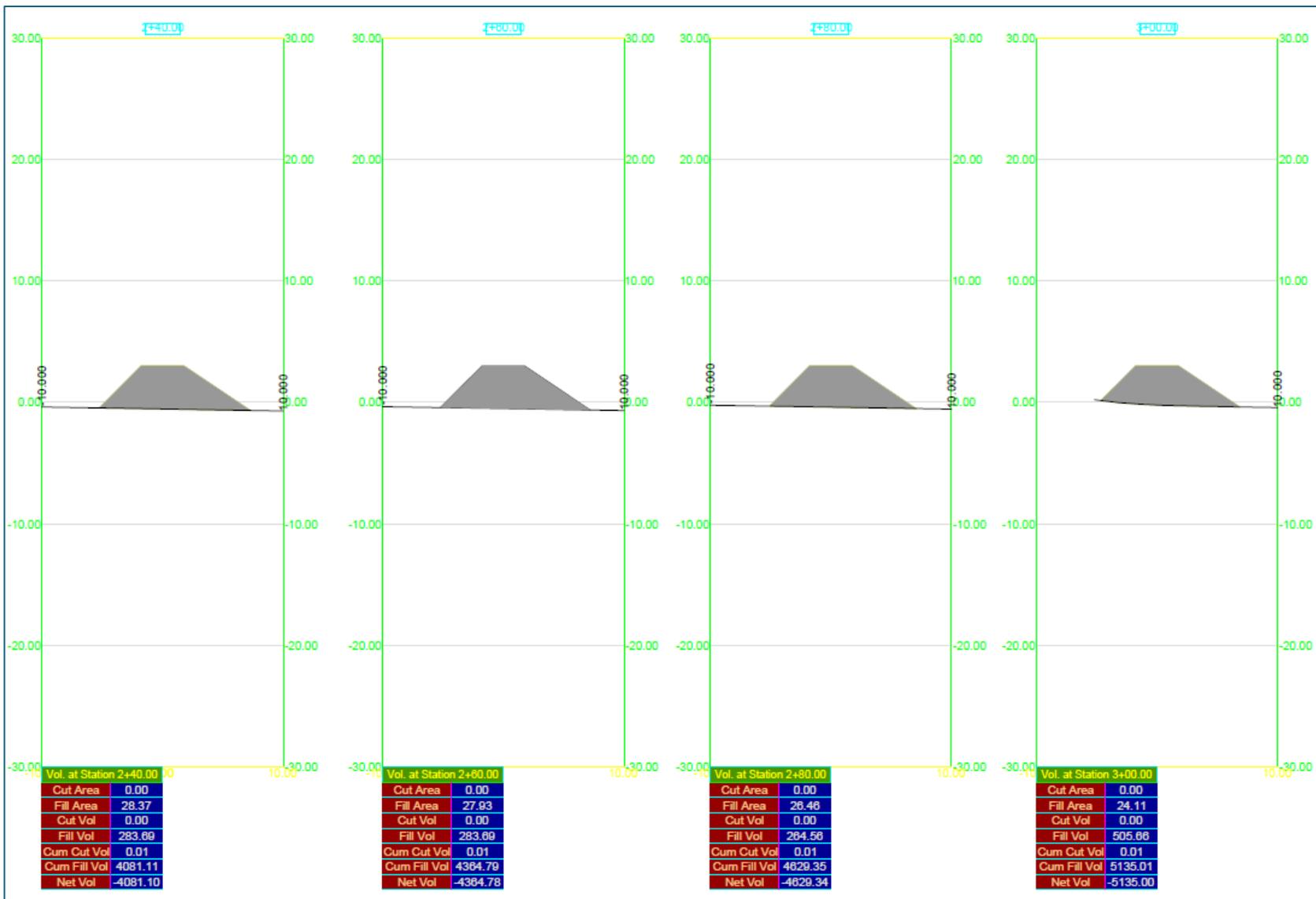


Figura 19 – Perfis transversais (Seções 2+40.00; 2+60.00; 2+80.00; e 3+00.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

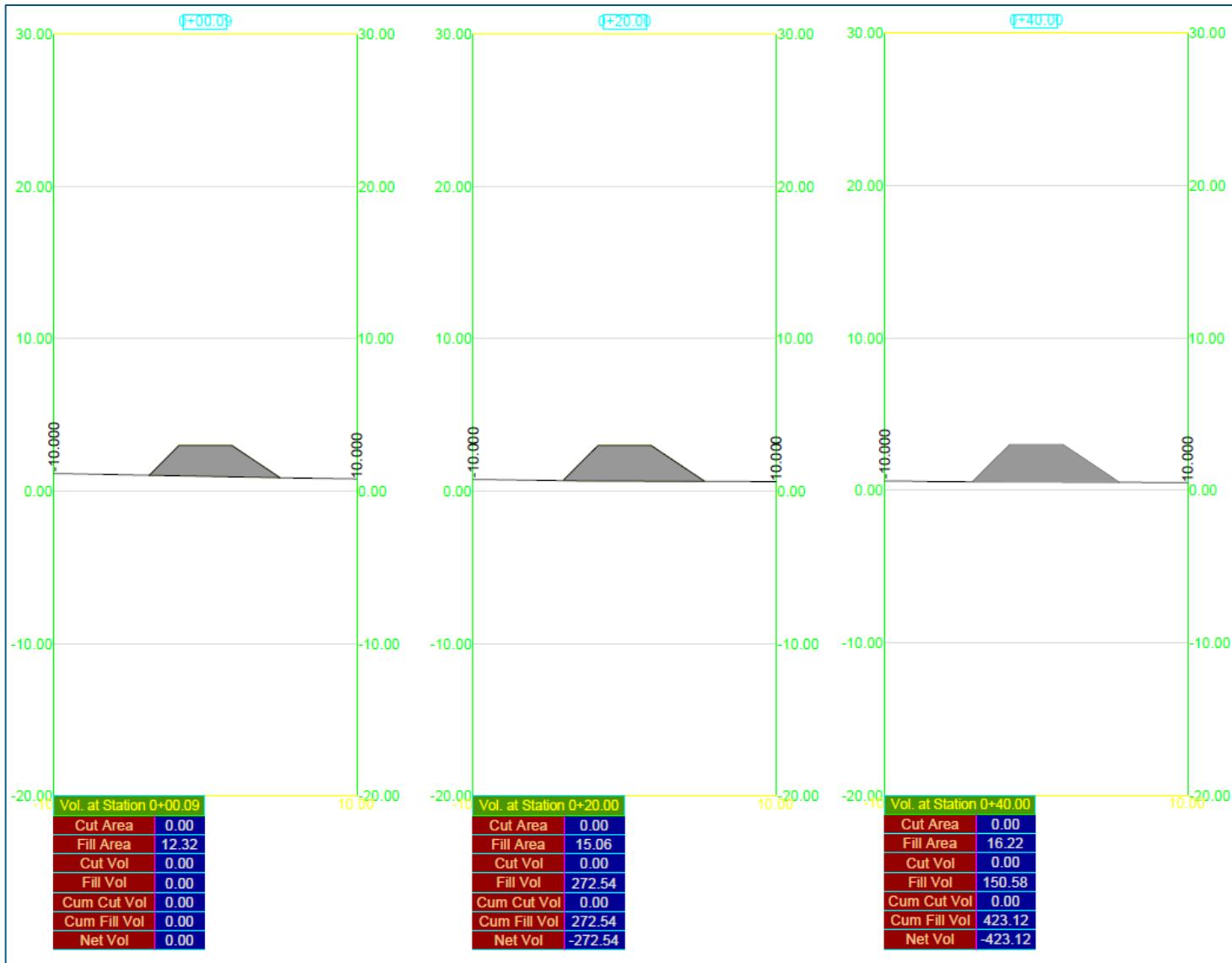


Figura 20 – Perfis transversais (Seções 0+00.00; 0+20.00; e 0+40.00) do Enrocamento 2 (Espigão 2).


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

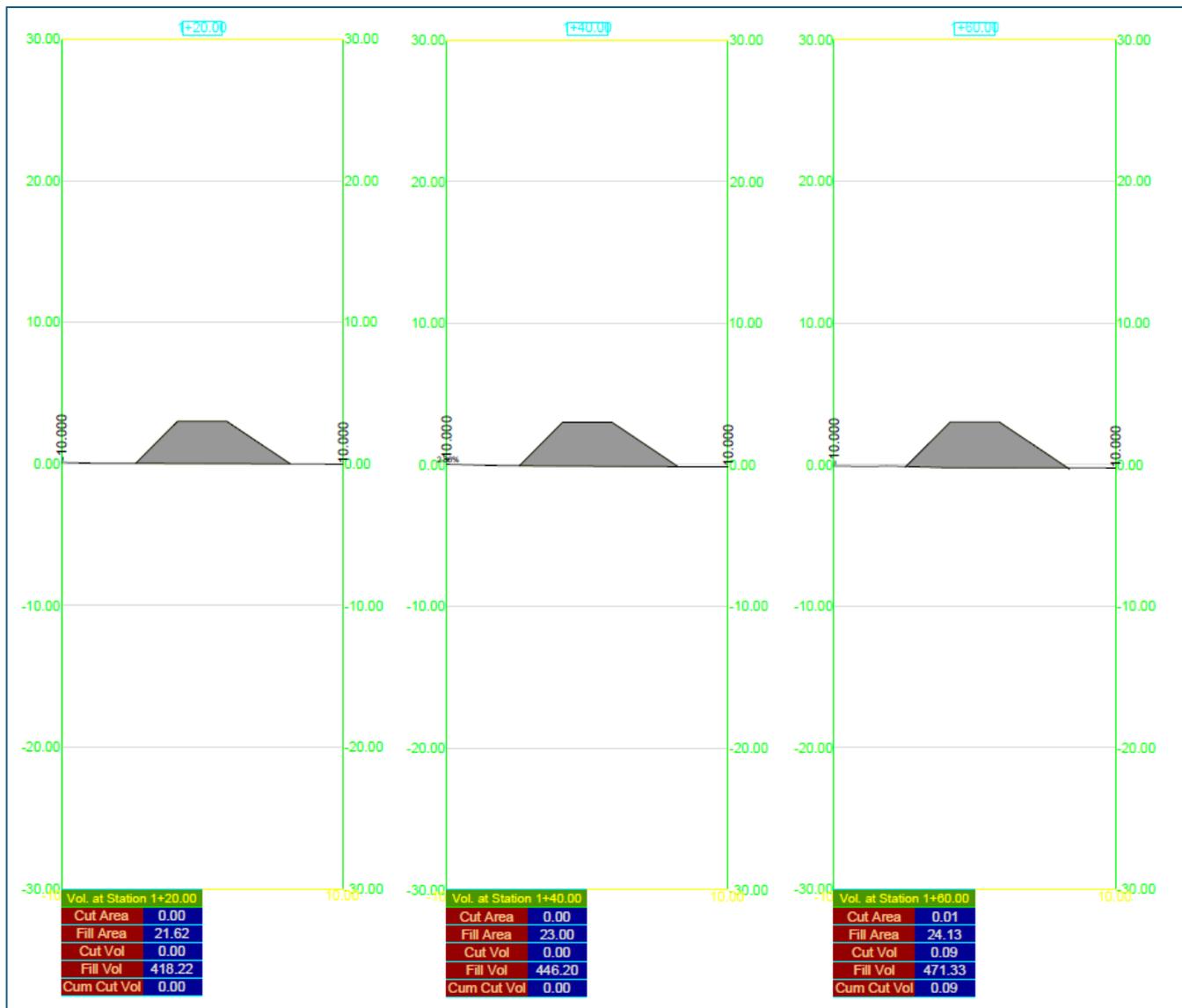


Figura 22 – Perfis transversais (Seções 1+20.00; 1+40.00; e 1+60.00) do Enrocamento 2 (Espigão 2).

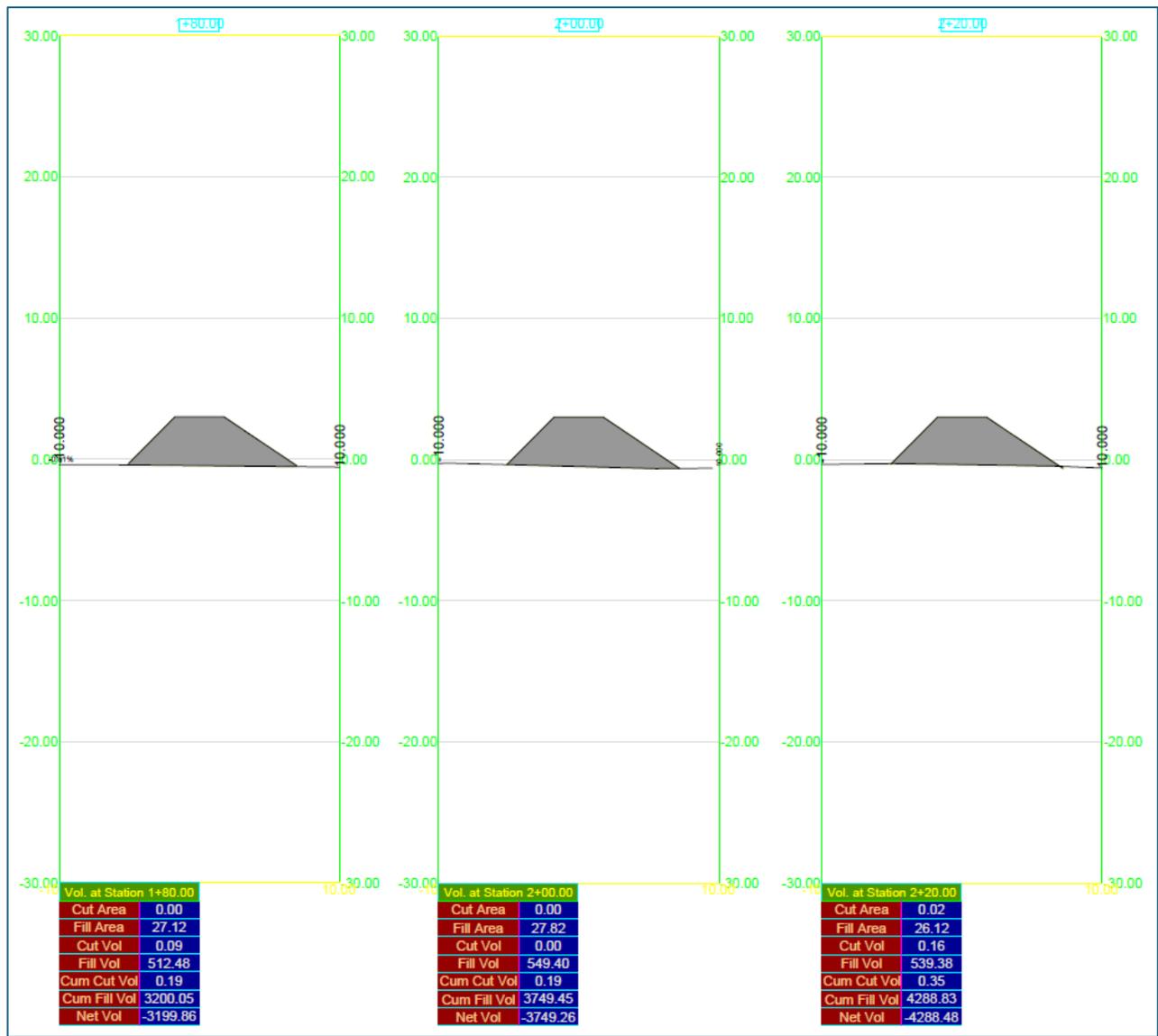


Figura 23 – Perfis transversais (Seções 1+80.00; 2+00.00; e 2+20.00) do Enrocamento 2 (Espigão 2).


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

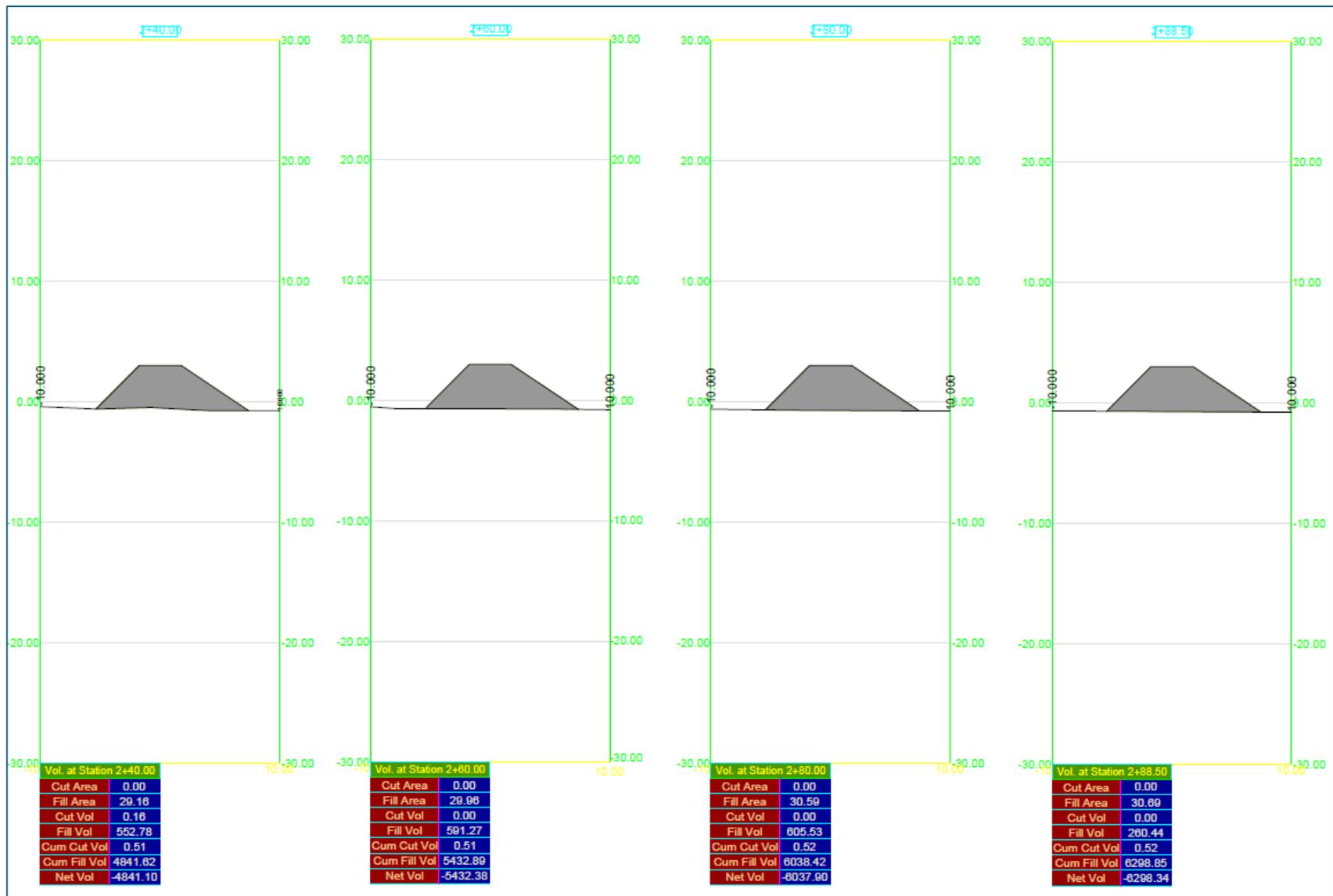


Figura 24 – Perfis transversais (Seções 2+40.00; 2+60.00; 2+80.00e 2+88.50) do Enrocamento 2 (Espigão 2).


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

Quadro 1 – Seções Transversais Implantadas nos Respectivos Espigões.

| ENROCAMENTO 1 (ESPIGÃO 1 – LADO LESTE) | | ENROCAMENTO 1 (ESPIGÃO 1 – LADO OESTE) | |
|--|--------------|--|--------------|
| SEÇÕES | EXTENSÃO (M) | SEÇÕES | EXTENSÃO (M) |
| Seção (Perfil) 0+00.00 | 0,00 | Seção (Perfil) 0+00.00 | 0,00 |
| Seção (Perfil) 0+20.00 | 20,00 | Seção (Perfil) 0+20.00 | 20,00 |
| Seção (Perfil) 0+40.00 | 40,00 | Seção (Perfil) 0+40.00 | 40,00 |
| Seção (Perfil) 0+60.00 | 60,00 | Seção (Perfil) 0+60.00 | 60,00 |
| Seção (Perfil) 0+80.00 | 80,00 | Seção (Perfil) 0+80.00 | 80,00 |
| Seção (Perfil) 1+00.00 | 100,00 | Seção (Perfil) 1+00.00 | 100,00 |
| Seção (Perfil) 1+20.00 | 120,00 | Seção (Perfil) 1+20.00 | 120,00 |
| Seção (Perfil) 1+40.00 | 140,00 | Seção (Perfil) 1+40.00 | 140,00 |
| Seção (Perfil) 1+60.00 | 160,00 | Seção (Perfil) 1+60.00 | 160,00 |
| Seção (Perfil) 1+80.00 | 180,00 | Seção (Perfil) 1+80.00 | 180,00 |
| Seção (Perfil) 2+00.00 | 200,00 | Seção (Perfil) 2+00.00 | 200,00 |
| Seção (Perfil) 2+20.00 | 220,00 | Seção (Perfil) 2+20.00 | 220,00 |
| Seção (Perfil) 2+40.00 | 240,00 | Seção (Perfil) 2+40.00 | 240,00 |
| Seção (Perfil) 2+60.00 | 260,00 | Seção (Perfil) 2+60.00 | 260,00 |
| Seção (Perfil) 2+80.00 | 280,00 | Seção (Perfil) 2+80.00 | 280,00 |
| Seção (Perfil) 3+00.00 | 300,00 | Seção (Perfil) 2+88.50 | 288,50 |

5.4. VOLUME DE ROCHAS DAS ESTRUTURAS DOS ESPIGÕES

Estabelecidas as seções das estruturas, assim como as suas respectivas extensões, tomando como base a seção transversal estabelecida para ambas as estruturas, foi possível estabelecer o volume de rochas que compõe cada uma das estruturas dos espigões (Quadros 2 e 3).

Quadro 2 – Volume inicial dos blocos rochosos do enrocamento do espigão 1.

| Total Volume ENROCAMENTO - ESPIGÃO 01 | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------|-----------|---------|----------|-------------|--------------|----------|
| Station | Cut Area | Fill Area | Cut Vol | Fill Vol | Cum Cut Vol | Cum Fill Vol | Net Vol |
| 0+00.09 | 0.00 | 5.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0+20.00 | 0.00 | 8.05 | 0.00 | 134.72 | 0.00 | 134.72 | -134.72 |
| 0+40.00 | 0.00 | 11.17 | 0.00 | 192.21 | 0.00 | 326.93 | -326.93 |
| 0+60.00 | 0.00 | 13.55 | 0.00 | 247.22 | 0.00 | 574.16 | -574.16 |
| 0+80.00 | 0.00 | 15.61 | 0.00 | 291.60 | 0.01 | 865.75 | -865.75 |
| 1+00.00 | 0.00 | 17.74 | 0.00 | 333.45 | 0.01 | 1199.21 | -1199.20 |
| 1+20.00 | 0.00 | 19.96 | 0.00 | 376.97 | 0.01 | 1576.18 | -1576.17 |
| 1+40.00 | 0.00 | 22.29 | 0.00 | 422.47 | 0.01 | 1998.65 | -1998.64 |
| 1+60.00 | 0.00 | 24.74 | 0.00 | 470.28 | 0.01 | 2468.94 | -2468.93 |
| 1+80.00 | 0.00 | 26.40 | 0.00 | 511.43 | 0.01 | 2980.37 | -2980.36 |
| 2+00.00 | 0.00 | 27.65 | 0.00 | 540.55 | 0.01 | 3520.92 | -3520.91 |
| 2+20.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 276.50 | 0.01 | 3797.42 | -3797.41 |
| 2+40.00 | 0.00 | 28.37 | 0.00 | 283.69 | 0.01 | 4081.11 | -4081.10 |
| 2+60.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 283.69 | 0.01 | 4364.79 | -4364.78 |
| 2+80.00 | 0.00 | 26.46 | 0.00 | 284.56 | 0.01 | 4629.35 | -4629.34 |
| 3+00.00 | 0.00 | 24.11 | 0.00 | 505.66 | 0.01 | 5135.01 | -5135.00 |

Quadro 3 – Volume inicial dos blocos rochosos do enrocamento do espigão 2.

| Total Volume ENROCAMENTO - ESPIGÃO 02 | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------|-----------|---------|----------|-------------|--------------|----------|
| Station | Cut Area | Fill Area | Cut Vol | Fill Vol | Cum Cut Vol | Cum Fill Vol | Net Vol |
| 0+00.09 | 0.00 | 12.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0+20.00 | 0.00 | 15.06 | 0.00 | 272.54 | 0.00 | 272.54 | -272.54 |
| 0+40.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 150.58 | 0.00 | 423.12 | -423.12 |
| 0+60.00 | 0.00 | 17.50 | 0.00 | 175.02 | 0.00 | 598.14 | -598.14 |
| 0+80.00 | 0.00 | 18.83 | 0.00 | 363.34 | 0.00 | 961.47 | -961.47 |
| 1+00.00 | 0.00 | 20.20 | 0.00 | 390.35 | 0.00 | 1351.82 | -1351.82 |
| 1+20.00 | 0.00 | 21.62 | 0.00 | 418.22 | 0.00 | 1770.04 | -1770.04 |
| 1+40.00 | 0.00 | 23.00 | 0.00 | 446.20 | 0.00 | 2216.24 | -2216.24 |
| 1+60.00 | 0.01 | 24.13 | 0.09 | 471.33 | 0.09 | 2687.57 | -2687.48 |
| 1+80.00 | 0.00 | 27.12 | 0.09 | 512.48 | 0.19 | 3200.05 | -3199.86 |
| 2+00.00 | 0.00 | 27.82 | 0.00 | 549.40 | 0.19 | 3749.45 | -3749.26 |
| 2+20.00 | 0.02 | 26.12 | 0.16 | 539.38 | 0.35 | 4288.83 | -4288.48 |
| 2+40.00 | 0.00 | 29.16 | 0.16 | 552.78 | 0.51 | 4841.62 | -4841.10 |
| 2+60.00 | 0.00 | 29.96 | 0.00 | 591.27 | 0.51 | 5432.89 | -5432.38 |
| 2+80.00 | 0.00 | 30.59 | 0.00 | 605.53 | 0.52 | 6038.42 | -6037.90 |
| 2+88.50 | 0.00 | 30.69 | 0.00 | 260.44 | 0.52 | 6298.85 | -6298.34 |

5.4.1. Prolongamento da Estrutura

Porém, tendo em vista que as estruturas dos espigões, tal como foram implantadas (Figura 14), tiveram seus enraizamentos dispostos na praia submersa (cota 1.000), e que essa condição deixaria a praia mais suscetível e exposta à energia e, conseqüentemente, favoreceria a perda de sedimentos, foi necessário estender as estruturas – sem que houvesse, conquanto, qualquer alteração em seus posicionamentos – até a berma da praia (pós-praia) (Figura 25).

5.4.1.1. Prolongamento da Estrutura do Espigão 1

Considerando que as estruturas dos espigões têm seus enraizamentos dispostos obliquamente, o prolongamento de suas extensões implicará em acréscimos diferentes para cada uma de suas faces.

No caso específico do Espigão 1, a face voltada para o mar (sentido Nordeste) necessitou de um acréscimo de 31,80 metros, enquanto a face voltada para o continente (sentido Sudoeste) foi acrescida em 27,60 metros (Figuras 26 e 27).

5.4.1.2. Prolongamento da Estrutura do Espigão 2

O Espigão 2, por sua vez, teve na face voltada para o mar (lado Nordeste) um acréscimo de 47,0 metros, enquanto a face voltada para o continente (lado Sudoeste) – sofreu um acréscimo de 40,70 metros (Figuras 28 e 29).

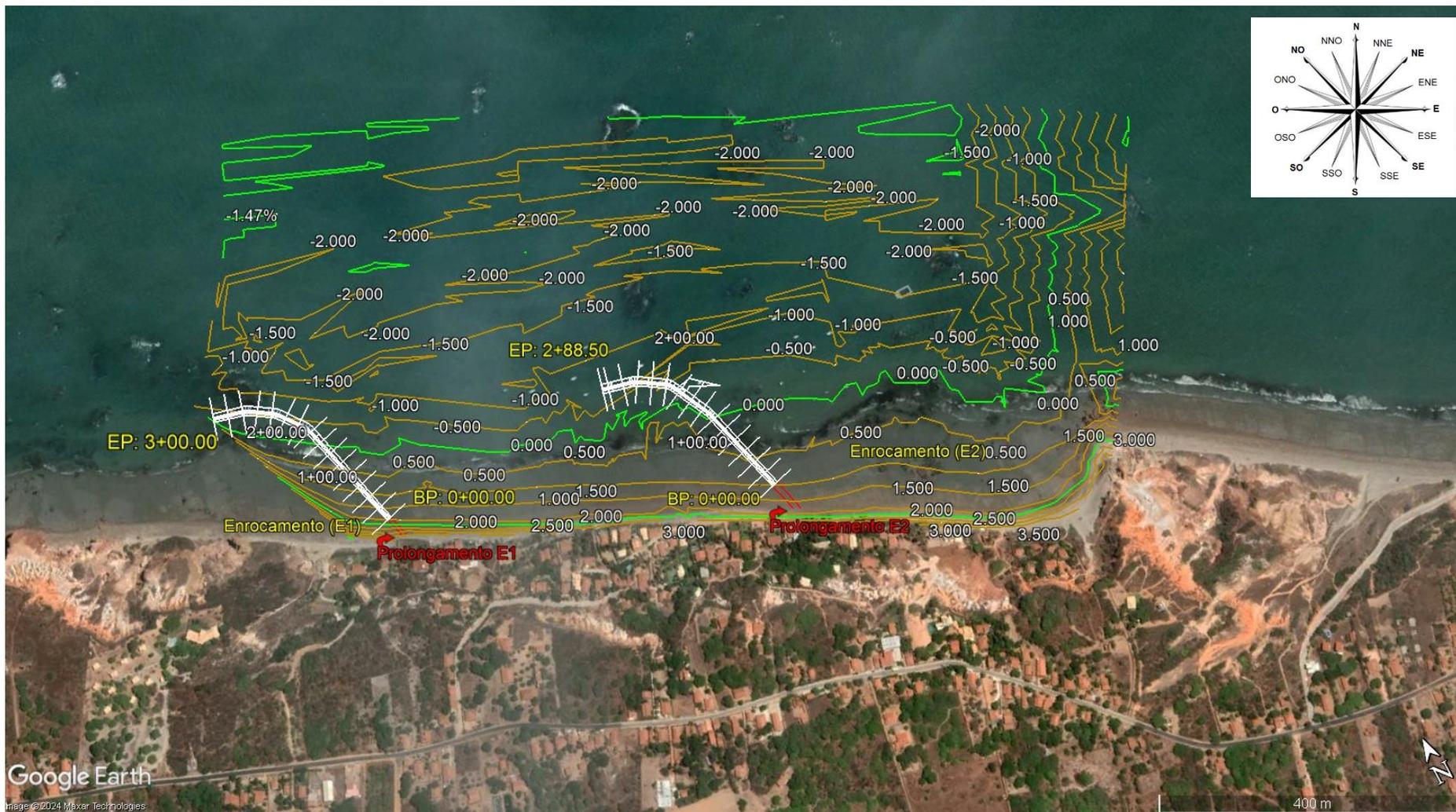


Figura 25 – Representação esquemática do prolongamento das estruturas dos espigões 1 e 2, da praia submersa até a berm de praia (setor de pós-praia). Praia da Peroba, Icapuí-CE.


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

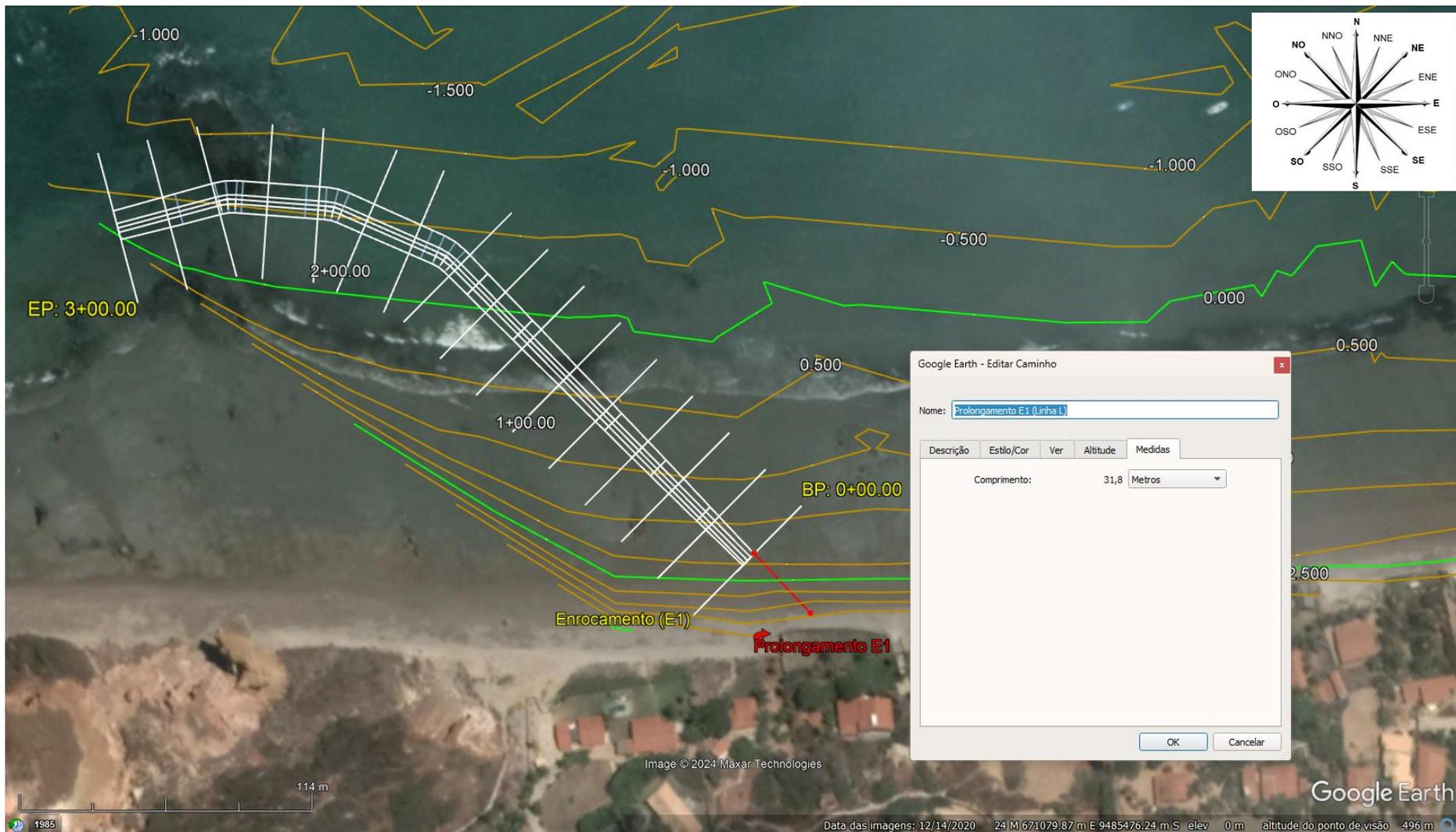


Figura 26 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 1, extensão do prolongamento (Lado Nordeste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.

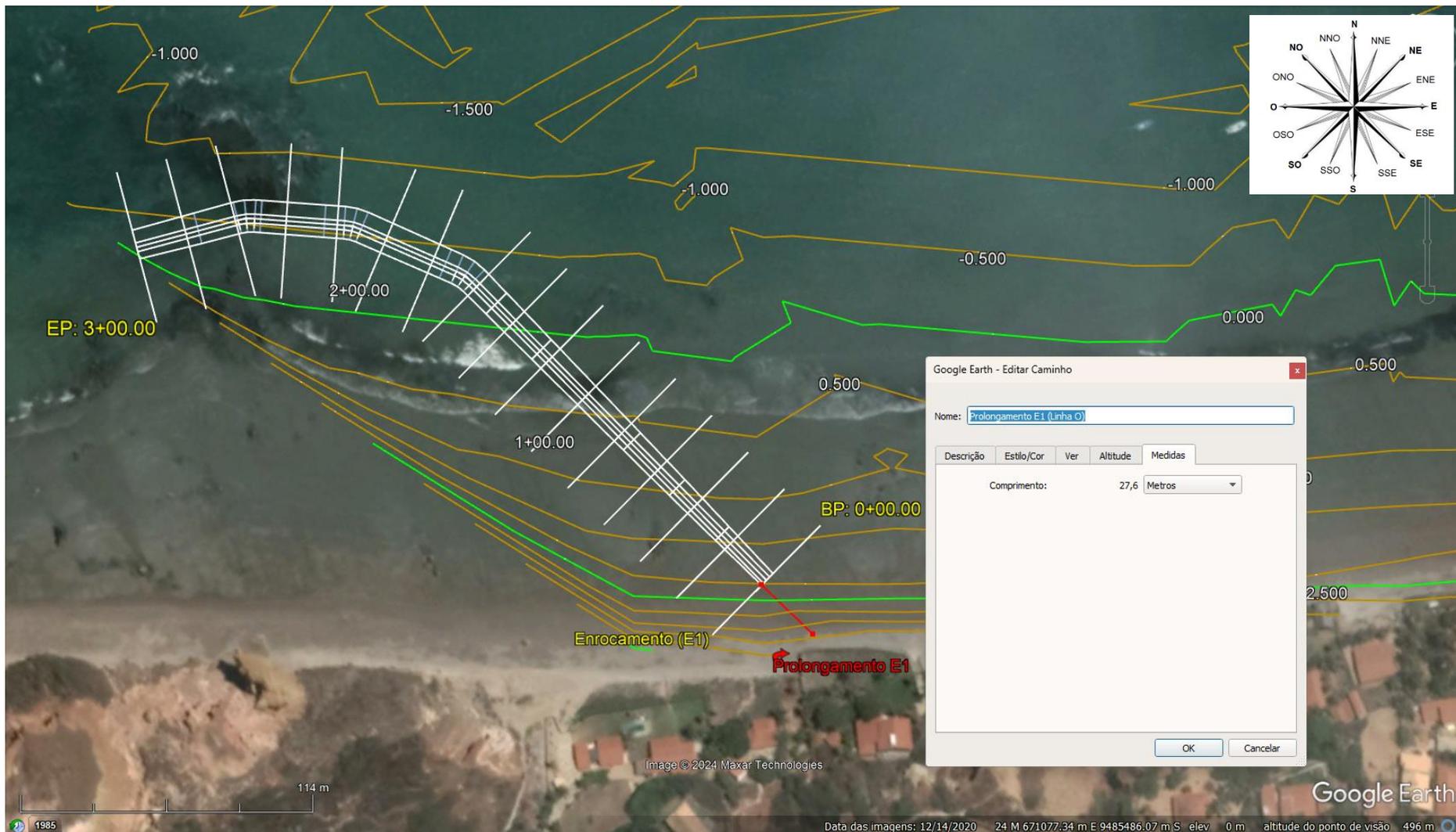


Figura 27 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 1, extensão do prolongamento (Lado Sudoeste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

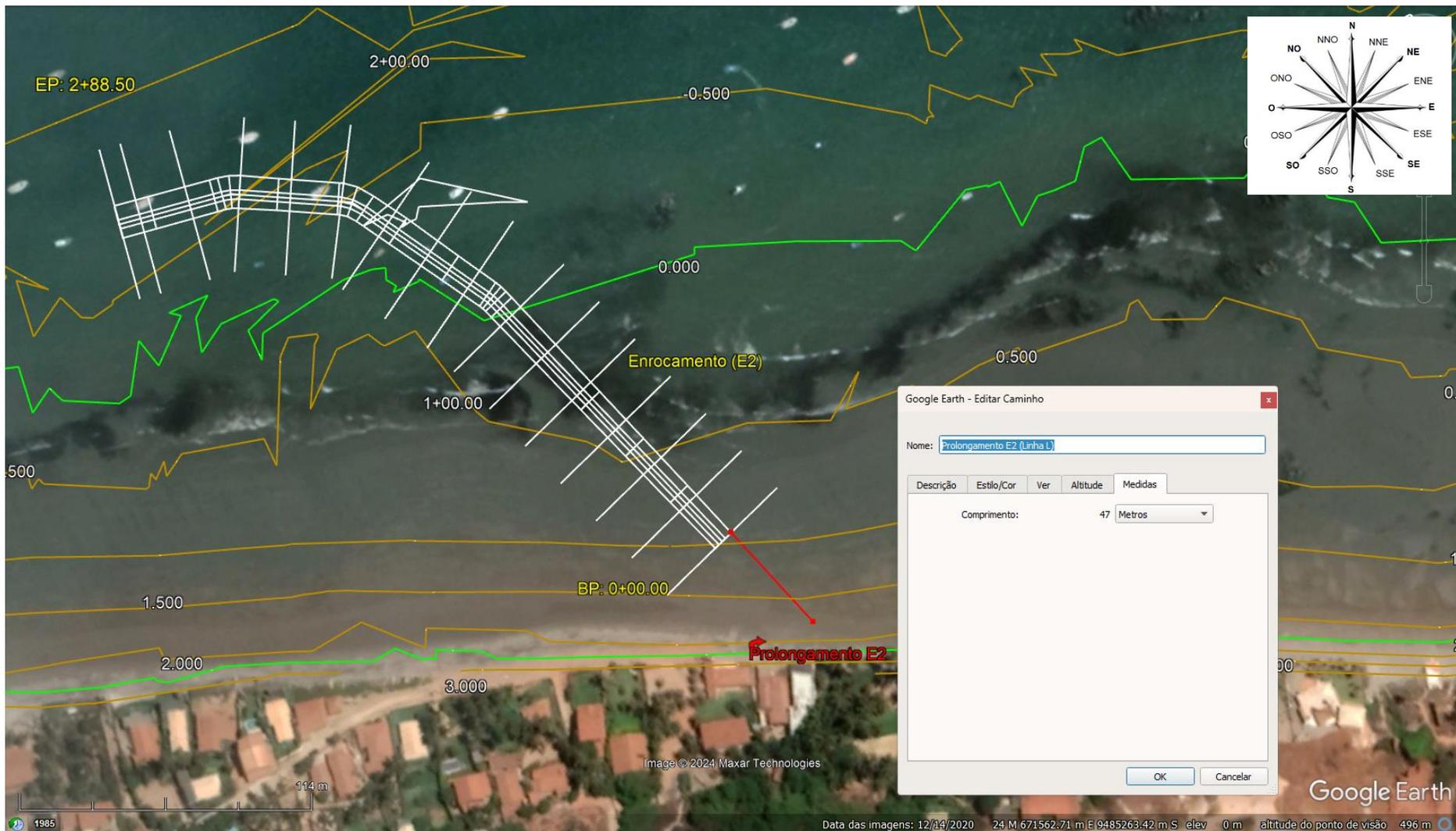


Figura 28 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 2, extensão do prolongamento (Lado Nordeste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.



Figura 29 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 2, extensão do prolongamento (Lado Sudoeste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.

5.4.2. Volume de Rochas dos Espigões (Estruturas Prolongadas)

5.4.2.1. Volume de Rochas do Espigão 1 – Estrutura Prolongada

Tomando por referência a área na Seção 0+00.00 (5,48m²), e o prolongamento médio da extensão com 29,70 metros, o volume de rochas no Espigão 1, devido ao acréscimo de 162,76m³, passou a ser de **5.297,74m³** (Quadro 4).

Quadro 4 – Seções Transversais do Espigão 1, inclusive o prolongamento.

| ENROCAMENTO 1 | |
|------------------------|-----------------|
| SEÇÕES | VOLUME (M³) |
| Seção (Perfil) 0+00.00 | 0,00 |
| Seção (Perfil) 0+20.00 | 134,72 |
| Seção (Perfil) 0+40.00 | 192,21 |
| Seção (Perfil) 0+60.00 | 247,22 |
| Seção (Perfil) 0+80.00 | 291,60 |
| Seção (Perfil) 1+00.00 | 333,45 |
| Seção (Perfil) 1+20.00 | 376,97 |
| Seção (Perfil) 1+40.00 | 422,47 |
| Seção (Perfil) 1+60.00 | 470,26 |
| Seção (Perfil) 1+80.00 | 511,43 |
| Seção (Perfil) 2+00.00 | 540,55 |
| Seção (Perfil) 2+20.00 | 276,50 |
| Seção (Perfil) 2+40.00 | 283,69 |
| Seção (Perfil) 2+60.00 | 283,69 |
| Seção (Perfil) 2+80.00 | 264,56 |
| Seção (Perfil) 3+00.00 | 505,66 |
| Prolongamento E1 | 162,76 |
| TOTAL: | 5.297,74 |

5.4.2.2. Volume de Rochas do Espigão 2 – Estrutura Prolongada

No caso do Espigão 2, considerando a área na Seção 0+00.00 (12,32m²), e o prolongamento médio da extensão de 43,85m, o volume de rochas no Espigão 2, devido ao acréscimo de 540,23m³, passou a ser de **6.839,09m³**.

Quadro 5 – Seções Transversais do Espigão 2, inclusive o prolongamento.

| ENROCAMENTO 2 | |
|------------------------|-----------------|
| SEÇÕES | VOLUME (M³) |
| Seção (Perfil) 0+00.00 | 0,00 |
| Seção (Perfil) 0+20.00 | 272,54 |
| Seção (Perfil) 0+40.00 | 150,58 |
| Seção (Perfil) 0+60.00 | 175,02 |
| Seção (Perfil) 0+80.00 | 363,34 |
| Seção (Perfil) 1+00.00 | 390,35 |
| Seção (Perfil) 1+20.00 | 418,22 |
| Seção (Perfil) 1+40.00 | 446,20 |
| Seção (Perfil) 1+60.00 | 471,33 |
| Seção (Perfil) 1+80.00 | 512,48 |
| Seção (Perfil) 2+00.00 | 549,40 |
| Seção (Perfil) 2+20.00 | 539,38 |
| Seção (Perfil) 2+40.00 | 552,78 |
| Seção (Perfil) 2+60.00 | 591,27 |
| Seção (Perfil) 2+80.00 | 605,53 |
| Seção (Perfil) 3+00.00 | 260,44 |
| Prolongamento E2 | 540,23 |
| TOTAL: | 6.839,09 |

5.4.2.3. Efeito de Agulhamento de Estruturas de Defesa Costeira

O efeito de agulhamento em estruturas de defesa costeira consiste no processo de acomodação dos blocos dentro da seção, fazendo com que o perímetro que envolve o maciço, calculado com base na densidade aparente, se torne maior do que o realmente formado. Esse empilhamento do maciço (das rochas) conduz a acomodação das arestas pelos vazios. Nesse caso, para o cálculo final do volume de rochas para a seção que irá compor o enrocamento do espigão, é comumente adotado um acréscimo correspondente a 10,0% do total de rochas encontrado.

5.4.3. Volume Total de Rochas dos Espigões (Estruturas Prolongadas)

Prolongadas as estruturas, e calculado o efeito de agulhamento sobre essas, o volume total de rochas para o **Espigão 1** passará a ser de **5.827,51m³**, enquanto para o **Espigão 2**, o volume total passará a ser de **7.523,00m³** (Quadro 6).

Quadro 6 – Volume total de blocos rochosos para os enrocamentos dos espigões 1 e 2.

| ENROCAMENTO 1 | | ENROCAMENTO 2 | |
|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| SEÇÕES | VOLUME (M ³) | SEÇÕES | VOLUME (M ³) |
| Seção (Perfil) 0+00.00 | 0,00 | Seção (Perfil) 0+00.00 | 0,00 |
| Seção (Perfil) 0+20.00 | 134,72 | Seção (Perfil) 0+20.00 | 272,54 |
| Seção (Perfil) 0+40.00 | 192,21 | Seção (Perfil) 0+40.00 | 150,58 |
| Seção (Perfil) 0+60.00 | 247,22 | Seção (Perfil) 0+60.00 | 175,02 |
| Seção (Perfil) 0+80.00 | 291,60 | Seção (Perfil) 0+80.00 | 363,34 |
| Seção (Perfil) 1+00.00 | 333,45 | Seção (Perfil) 1+00.00 | 390,35 |
| Seção (Perfil) 1+20.00 | 376,97 | Seção (Perfil) 1+20.00 | 418,22 |
| Seção (Perfil) 1+40.00 | 422,47 | Seção (Perfil) 1+40.00 | 446,20 |
| Seção (Perfil) 1+60.00 | 470,26 | Seção (Perfil) 1+60.00 | 471,33 |
| Seção (Perfil) 1+80.00 | 511,43 | Seção (Perfil) 1+80.00 | 512,48 |
| Seção (Perfil) 2+00.00 | 540,55 | Seção (Perfil) 2+00.00 | 549,40 |
| Seção (Perfil) 2+20.00 | 276,50 | Seção (Perfil) 2+20.00 | 539,38 |
| Seção (Perfil) 2+40.00 | 283,69 | Seção (Perfil) 2+40.00 | 552,78 |
| Seção (Perfil) 2+60.00 | 283,69 | Seção (Perfil) 2+60.00 | 591,27 |
| Seção (Perfil) 2+80.00 | 264,56 | Seção (Perfil) 2+80.00 | 605,53 |
| Seção (Perfil) 3+00.00 | 505,66 | Seção (Perfil) 3+00.00 | 260,44 |
| Prolongamento E1 | 162,76 | Prolongamento E2 | 540,23 |
| SOMATÓRIO: | 5.297,74 | SOMATÓRIO: | 6.839,09 |
| Agulhamento (10,0%) | 529,77 | Agulhamento (10,0%) | 683,91 |
| TOTAL: | 5.827,51 | TOTAL: | 7.523,00 |

DEFESA COSTEIRA DA PRAIA DA PEROBA
PROJETO EXECUTIVO
TOMO I

**1ª ETAPA DE IMPLANTAÇÃO DAS
ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA
(ESPIGÕES)
DA PRAIA DA PEROBA, ICAPUÍ/CE**

I. MEMORIAL DESCRITIVO DA ESTRUTURA

Este memorial contém o detalhamento e especificação das intervenções propostas, detalhando os serviços e respectivos materiais e equipamentos a serem empregados, assim como a metodologia de trabalho que será adotada para a obra de implantação das estruturas de contenção do avanço do mar na Praia da Peroba, em Icapuí – CE.

I.I. OBJETIVO

A obra de implantação das estruturas de contenção do avanço do mar na Praia da Peroba, a ser executada com recursos advindos através de convênio estabelecido entre o município de Icapuí e a Superintendência de Obras Públicas – SOP, do Governo do Estado do Ceará, tem como objetivo intervir no ambiente praial por meio da execução de uma obra de engenharia costeira que, além de atuar como defesa costeira, seja capaz de induzir o ambiente a se recuperar e reconstituir a praia arenosa.

II. SÍNTESE DA ESTRUTURA PROPOSTA

A intervenção proposta é composta por um sistema de 02 (dois) espigões – estruturas de proteção costeira do tipo dura (“hard”), que são posicionadas desde a faixa de pós-praia e estendendo-se até a primeira linha de arrebentação das ondas.

Os espigões caracterizam-se por algumas peculiaridades, tais como, por exemplo, o fato de se tratar de uma intervenção litorânea, cujo propósito de estabilizar a linha de costa, que é posicionada, em relação à praia, perpendicularmente ou, em alguns casos específicos, obliquamente, e que tem por finalidade reter os sedimentos que transitam paralelamente à costa, e que em condições normais são transportados pela deriva litorânea. Esse tipo de obra costeira, que pode ser adotado individualmente, ou em conjunto – denominado de bateria, sistema, campo ou, ainda, sucessão de espigões –, também é frequentemente utilizado associada a outro tipo de intervenção como, por exemplo, obras de engordamento artificial da praia.

Como obra de defesa costeira, a aplicação do espigão está diretamente relacionada à recomposição e/ou manutenção do perfil de praia. Porém, para a recomposição do perfil praial, o espigão tem a finalidade de interceptar os sedimentos transportados pelas correntes de deriva. Nesses casos, a inserção de espigões na costa proporciona, geralmente, o efeito de acúmulo sedimentar a barlar (“updrift”) e de erosão a sotamar (“downdrift”). Este processo, porém, é minimizado quando o transporte de sedimento longitudinal da costa ocorre nos dois sentidos, ou mesmo quando o preenchimento de areia supera a altura dos espigões e devolve à costa o transporte litorâneo em volumes iguais, ou muito próximos aos volumes existentes anteriormente.

Nos casos de manutenção do perfil praial, quando há a constatação de interferência das correntes de deriva nos processos erosivos da costa, em razão da sua capacidade de reter sedimentos, os espigões são frequentemente utilizados em conjunto com as intervenções de engordamento artificial da praia (engordamento), ou mesmo quando se tem o propósito de preservar os sedimentos já existentes.

Os espigões ainda podem ser recomendados nos casos em que se deseja aprisionar os sedimentos da deriva com a finalidade de evitar o assoreamento de áreas a sotamar. Essas estruturas, comumente compostas por rochas graníticas, também se utilizam de outros materiais, tais como madeira, chapas de aço, blocos de concreto pré-moldado (p. ex. tetrápodes).

III. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

A área total de implantação da intervenção proposta neste projeto corresponde às seguintes coordenadas geográficas (UTM):

Enrocamento 01:

↳ **Inicial:** 671536.00 | 9485224.00

↳ **Final:** 671390.00 | 9485446.00

Enrocamento 02

↳ **Inicial:** 671058.00 | 9485426.00

↳ **Final:** 671904.00 | 9484971.00

III.I. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO – TOMO I

A área correspondente à estrutura proposta no **TOMO I** deste projeto, cujo objeto é a Implantação das Estruturas de Defesa Costeira (Espigões) da Praia da Peroba, no município de Icapuí, está georreferenciada pelas seguintes coordenadas geográficas (UTM): 671068.24 m E | 9485396.21 m S, equivalente ao ponto prolongado do enraizamento do Espigão 1 (Carapaça Nordeste).

IV. QUANTITATIVO DE MATERIAIS – TOMO I

A partir das seções transversais implantadas no espigão 1, com proporções de talude definidas pela “Seção-Tipo”, e limitado pelos recursos disponibilizados pelo convênio firmado entre a Prefeitura Municipal do Icapuí e a SOP-CE (Secretaria de Obras Públicas do Governo do estado do Ceará), foi possível estabelecer o quantitativo de materiais e serviços a serem empregados nesta etapa.

IV.I. VOLUME DE ROCHAS

O volume de rochas a ser destinado para esta etapa da obra (Tomo I) equivale a 5.778,80m³, que corresponde à 99,16% da execução do enrocamento do Espigão 1, ou seja, a execução vai partir desde o enraizamento sem prolongamento – Seção (Perfil) 0+00.00 – até o enraizamento com prolongamento – Seção (Perfil) 0-29,70m – que, em termos de estaqueamento, corresponde ao intervalo compreendido entre a Estaca E0-29,70m à Estaca E14+18,248m.

IV.II. VOLUME DE AREIA

O volume de areia a ser destinado para esta etapa da obra (Tomo I) corresponde a um volume de 8.063,50m³ de areia, o que equivale à 23,89% do volume total de 33.750,00m³ de areia, previsto pelo Dr. Luis Parente Maia, quando da **“Perícia Realizada na Praia da Peroba – Icapuí – CE, Referente as Medidas mais Adequadas de Contenção da Erosão Costeira”**.

IV.III. SERVIÇOS TÉCNICOS COMPLEMENTARES

O Manual do uso de rochas em costas e em engenharia costeira (CIRIA/CUR, 1991) chama a atenção para o fato de que *“obras de engenharia costeira podem afetar (ou serem afetadas) diante do ambiente natural e social em que estão”*.

Nesse sentido, dada à complexidade da inserção de obras estruturais no ambiente costeiro, assim como pelo caráter emergencial em que estas serão implantadas as estruturas de defesa costeira da praia da Peroba, impondo a necessidade de avaliar possíveis medidas complementares e/ou corretivas, bem

como nortear possíveis intervenções de mitigação e/ou de recuperação do ambiente, é de fundamental importância que, associadamente à implantação das estruturas, sejam realizados os “Serviços Técnicos de Monitoramento Ambiental”.

Esses serviços técnicos têm se constituído em uma ferramenta de extrema importância para a gestão e controle do ambiente costeiro, uma vez que a maior parte dos conhecimentos utilizados no dimensionamento de estruturas costeiras se baseia na experiência adquirida em construções anteriores, sobretudo através da observação do comportamento do ambiente diante da inserção de elementos estranhos ao litoral. Por outro lado, esse controle e monitoramento das estruturas existentes, também pode prever e planejar eventuais ações de manutenção, evitando assim, que a estrutura atinja um nível de degradação tal, que a reparação se torne difícil e de elevado custo.

Os dados a serem obtidos terão papel importantíssimo quando estabelecido o confronto com os dados pretéritos e atuais, uma vez que, ao serem medidos durante, e posteriormente, às intervenções, nos diversos setores estabelecidos, servirão de parâmetros para a identificação e o acompanhamento, no caso de ocorrência de qualquer variação no comportamento do ambiente, bem como, para subsidiar com o banco de dados criado a elaboração de uma possível solução definitiva.

Portanto, visando estabelecer o monitoramento e o controle ambiental das áreas envolvidas diante da intervenção proposta, bem como, de oferecer subsídios para o prolongamento da vida útil da obra e, conseqüentemente, da preservação dos patrimônios resguardados, é recomendável a realização dos estudos e levantamentos – abaixo relacionados e especificados – que deverão ser implantados concomitantemente com a execução da obra.

IV.III.I. Controle da Morfologia Praial (Morfodinâmica Praial)

O monitoramento da morfodinâmica da praia, e a relação estabelecida desse ambiente com as estruturas, durante e após a implantação das estruturas, representa o estabelecimento de parâmetros comparativos que apontarão o êxito obtido, assim como a avaliação de qualquer impacto existente, quando da execução dos trabalhos.

Esse serviço consiste na obtenção de perfis morfodinâmicos da praia, permitindo identificar o comportamento da morfologia praial em resposta aos processos hidrodinâmicos (ventos, ondas e correntes), assim como das estruturas a serem inseridas, e da própria execução da obra, norteadando o estado da praia em relação à existência de processos erosivos ou de acreção.

Para esta obra foi definida a realização de 01 (hum) levantamento mensal, através do qual serão implantadas 13 seções georreferenciadas de até 40,0 metros de extensão, a cada 100,0 metros, ao longo de toda a praia da Peroba, durante os 02 (dois) meses de execução.

Total: 02 unidades.

IV.III.II. Levantamento Batimétrico da Plataforma Adjacente À Praia

O levantamento batimétrico é um dos métodos de investigação das áreas de plataforma continental rasa, que tem a capacidade de definir com precisão a conformação morfológica de fundo que, por sua

vez, reflete a configuração do tipo de substrato existente, traduzindo suas características sedimentares e hidrodinâmicas.

Dado ao fato de que os espigões são estruturas que interferem diretamente na plataforma adjacente à praia, quer seja pelo processo de acreção, ou mesmo de erosão, e que dependem dessa diretamente para a determinação da altura necessária das estruturas e, conseqüentemente, para a determinação do volume de rochas a ser utilizado, é de fundamental importância para o sucesso das intervenções a realização de 02 levantamentos batimétricos, sendo 01 quando do início das atividades – de forma a confirmar o dimensionamento das estruturas – e o outro ao final da implantação das estruturas dos dois espigões, de forma a avaliar o quanto e aonde se dão os processos de acreção e/ou erosão. Como resultado desses levantamentos batimétricos, deverão ser apresentados os balanços sedimentares, resultantes da sobreposição do 1º mapa batimétrico, obtido no 1º Levantamento de obra, em relação ao mapa batimétrico de projeto, assim como da sobreposição do 2º mapa batimétrico, obtido no 2º Levantamento de obra, em relação ao mapa batimétrico de projeto, e em relação ao 1º mapa batimétrico, obtido no 1º Levantamento de obra. Desta forma, no caso específico deste TOMO I, deverá ser realizado o Levantamento durante o primeiro mês de implantação do enrocamento do Espigão 1.

Total = 1,0 unidade.

IV.III.III. Aerofotogrametria – Mapeamento Aéreo Com VANT

O objetivo deste Mapeamento Aéreo é realizar, por meio de um Veículo Aéreo Não Tripulável – VANT, um diagnóstico pontual, em alta resolução espacial, visando à geração de um mapa base para delimitação dos processos erosivos e deposicionais ao longo de toda a área de intervenção, assim como das áreas adjacentes (Praia da Redonda e Praia de Picos), de forma que se possa estabelecer parâmetros antes e após a implantação das obras no que se refere ao comportamento sedimentar nesses segmentos litorâneos.

Dessa forma, assim como ocorre com a batimetria, é recomendável a realização de 02 levantamentos, sendo 01 no primeiro mês de implantação da estrutura e o 2º levantamento após a conclusão do enrocamento. No caso específico deste TOMO I, deverá ser realizado o 1º Levantamento durante o primeiro mês de implantação do enrocamento do Espigão 1.

Total = 1,0 unidade.

V. PARTILHAMENTO DE QUANTITATIVOS – TOMO I

Tendo em vista que o referido convênio, estabelecido entre a Prefeitura de Icapuí e a Superintendência de Obras Públicas – SOP, do Governo do Estado do Ceará, é complementar ao convênio estabelecido entre a Prefeitura de Icapuí e o MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional, os volumes de serviços/materiais estabelecidos em planilhas se apresentam em quantitativos inferiores aos totais definidos no projeto básico.

Portanto, apresenta-se a seguir a memória de cálculos referente exclusivamente ao convênio com a SOP/CE (Quadro 7).


Anderson da Silva Pereira
Engenheiro Civil
CREA - CE 061510131 - 3

Quadro 7– Quadro de quantitativo dos itens – Convênio SOP/CE.

| | | |
|--|----------------------------------|--------------|
| ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA | 01 Un. X 2,0 Meses | 1,000 Un |
| FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PLACA DE OBRA COM CHAPA GALVANIZADA E ESTRUTURA DE MADEIRA. AF_03/2022_PS | 01 Un. x (3,00 x 4,00) = | 12,000 M² |
| TAPUME DE ESTRUTURA DE MADEIRA C/ FECHAMENTO EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO DE 0,3 mm e ALTURA DE 2 M | (12,50m x 8,00m) = | 100,000 M² |
| ISOLAMENTO E SINALIZAÇÃO PARA 400,0 METROS DE INTERVENÇÃO, COM TELA DE COR LARANJA E SUPORTE A CADA 2M(REUSO DE 4X) | 1,0 Unidade | 1,000 Un |
| ENROCAMENTO DE PEDRA "RACHÃO", COM TAMANHOS VARIADOS COMPREENDENDO CARGA E ARRUMAÇÃO DE PEDRAS ATÉ 6,00 T, INCLUSIVE LANÇAMENTO.(SEM TRANSPORTE)- ESPIGÃO 1 | VER QUADRO 01 | 5.778,800 M³ |
| ATERRO DE FAIXA PRAIAL - COMPARTIMENTO COMPREENDIDO ENTRE OS ESPIGÕES 1 E 2 | PARCIAL (7,77% x 33.750,00m³) | 2.621,960 M³ |
| CONTROLE DA MORFOLOGIA PRAIAL, COM REALIZAÇÃO DE PERFIS TOPOGRÁFICOS A CADA 100M, COM INFLEXÕES DO TERRENO, NAS MARÉS DE SIZÍGIA (DO PÉ DO ENROCAMENTO ATÉ A ISÓBATA DE 1M), EQUIPE COMPOSTA DE 01 GEÓLOGO, 01 TÉCNICO, 02 AUXILIARES, NÍVEL ÓTICO, ETC. | 01 Un./Mês x 2,0 Meses = | 2,000 Un |
| LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO | Término da Obra: 01 Levantamento | 1,000 Un |
| LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO DA ÁREA (CONTINENTAL E MARÍTIMA) DE INFLUÊNCIA DIRETA | Término da Obra: 01 Levantamento | 1,000 Un |


 Anderson da Silva Pereira
 Engenheiro Civil
 CREA - CE 061510131 - 3

REFERÊNCIAS

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.

CIRIA/CUR – Construction Industry Research and Information Association (1991). **Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering.** Special Publication 83, 1991. Center for Civil Engineering Research and Codes. Report 154.

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. **Initials spreading of a mega feeder nourishment: observations of 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 sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable 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.