



EROSÃO COSTEIRA DA PRAIA DA PEROBA, ICAPUÍ-CE

DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

&

MEMÓRIA DE CÁLCULOS DOS ITENS ORÇADOS

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

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, γ_S 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;
- $H = H_5 \Rightarrow$ Altura da onda significativa do projeto, considerada como 2,3m, 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);

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUI
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

- $K_D \Rightarrow$ Coeficiente de danos, para blocos de rochas angulosos e colocados de forma aleatória em duas seções, tem o valor igual a 3,0 (Tabela 1).

Table 7-8. Suggested K_D Values for use in determining armor unit weight¹.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head		Slope
			K _D ²		K _D		
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarystone							
Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random ⁴	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	
Rough angular	1	Random		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	>3	Random ⁶	2.2	4.5	2.1	4.2	5
Rough angular ⁷	2	Special ¹	5.8	7.0	5.3	6.4	5
Parallelepiped ⁷	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	16.0	2.0 ⁹
					7.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	---	5.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Toskane	2	Random	11.0	22.0	---	---	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	5
Quarystone (K _{PR})							
Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--	

Tabela 1 – Extraída do “Shore Protection Manual – SPM”, Manual de Proteção Costeira elaborado pelo Centro de Pesquisa de Engenharia Costeira do Corpo de Engenheiros das Forças Armadas dos EUA.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUI
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

Portanto, de acordo com os elementos anteriores, temos os seguintes dados:

$$H_s = 2,30 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_a = 1,03 \text{ t/m}^3$$

$$\cotg \alpha = 1,5$$

$$K_D = 3,00$$

Logo:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{\gamma_s \times H^3}{K_D \times ((\gamma_s / \gamma_a) - 1)^3 \times \cotg \alpha} = \frac{2,65 \times 2,3^3}{3,00 \times ((2,65 \div 1,03) - 1,0)^3 \times 1,5} = \\
 &= \frac{2,65 \times 12,167}{3,0 \times ((2,57) - 1,00)^3 \times 1,5} = \frac{32,24}{3,0 \times (1,57)^3 \times 1,5} = \\
 &= \frac{32,24}{3,0 \times 3,87 \times 1,5} = \frac{32,24}{17,42} = 1,85
 \end{aligned}$$

$$= 1,85 \text{ Toneladas} = 1.850,0 \text{ Kg}$$

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

A aplicação dos parâmetros definidores na equação resulta em um peso dos blocos de $W = 1,85$ Tonelada = 1.850 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 1,39 a 2,31 toneladas.

O valor encontrado para a faixa de pesos que irá compor a carapaça de proteção será, portanto, de $W = 1,84$ Toneladas, sendo 30% no máximo com blocos de 1,39 a 2,31 toneladas para o topo, e os 70 % restantes, formados por blocos de rochas graníticas com peso de 1,85 a 2,31 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 1,85 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 1,85 a 2,3 toneladas para toda a estrutura.

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

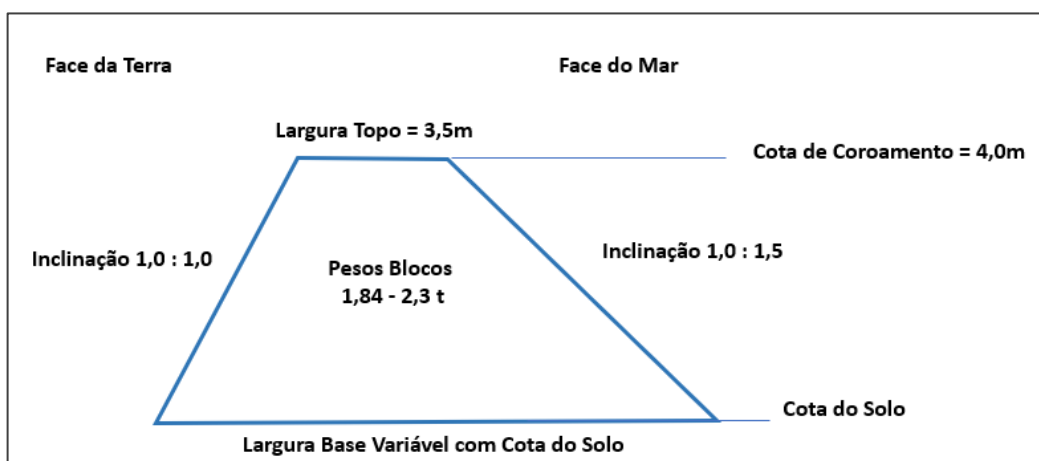


Figura 1 – Caracterização geral da Seção Transversal do Espigão.

A partir do posicionamento dos espigões na Praia da Peroba, tomando por referência as curvas de nível obtidas pelo levantamento batimétrico – integrado com a topoalimetria do estirâncio –, foram implantadas as seções (perfis) transversais, dispostas por estaqueamentos – a cada 20,0 metros – em cada um dos espigões (Figura 2).



Figura 2 – 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.

Das seções implantadas, nos espigões 1 e 2, foram obtidos os respectivos perfis transversais (Figuras 3 a 12), a partir dos quais foram determinadas as áreas de cada seção e, consequentemente, o Mapa de Volume de cada estrutura (Quadro 1).

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

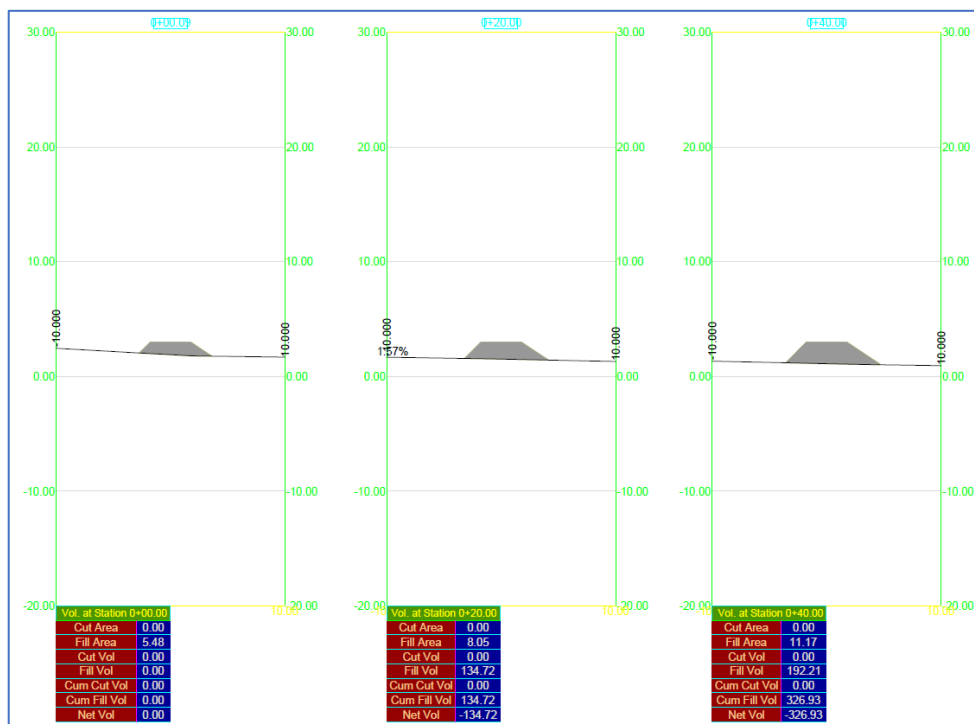


Figura 3 – Perfis transversais (Seções 0+00.00; 0+20.00; e 0+40.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

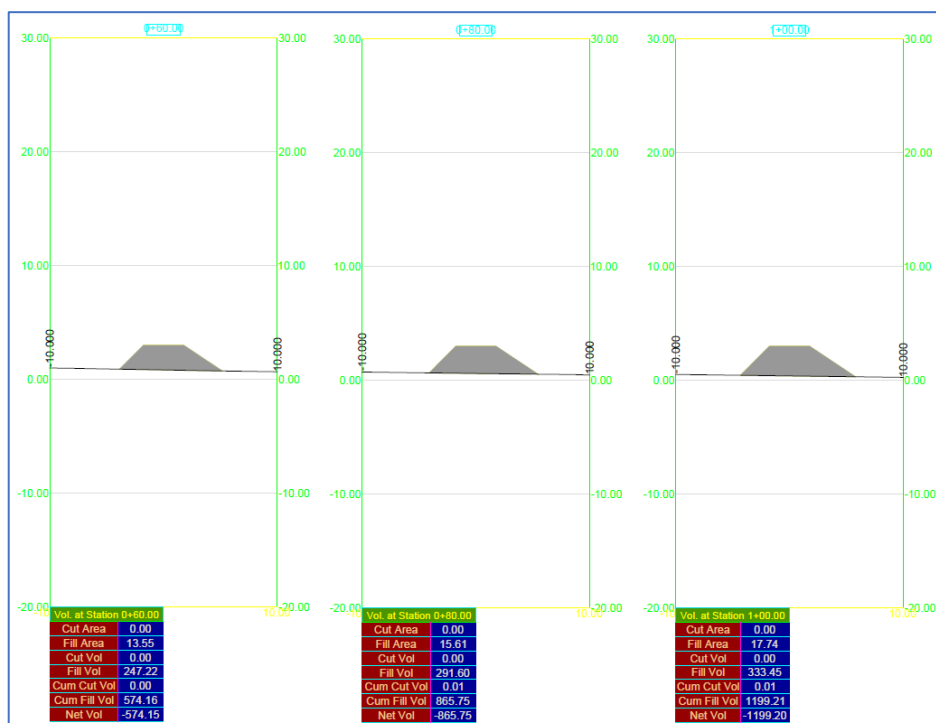


Figura 4 – Perfis transversais (Seções 0+60.00; 0+80.00; e 1+00.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

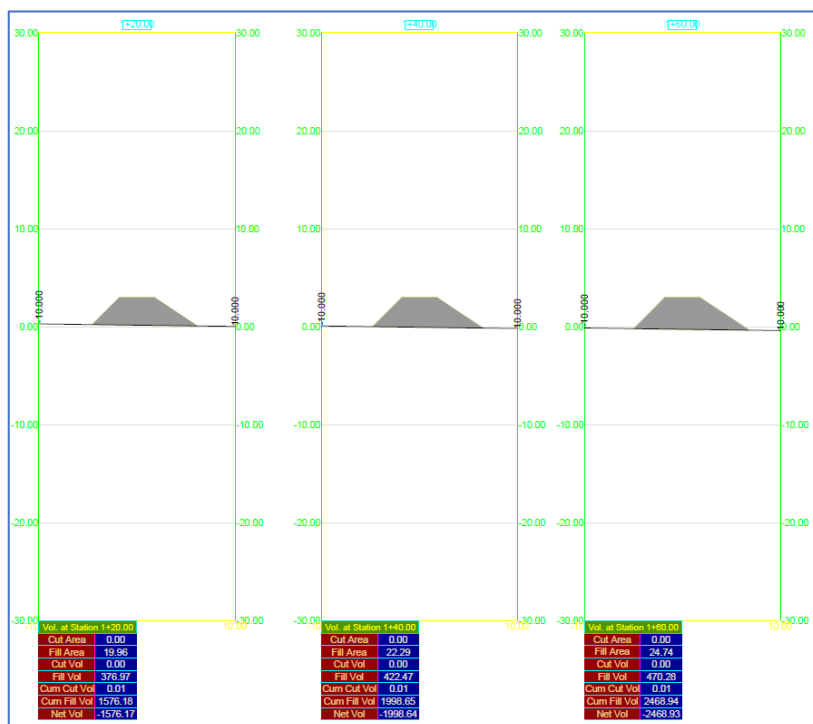


Figura 5 – Perfis transversais (Seções 1+20.00; 1+40.00; e 1+60.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

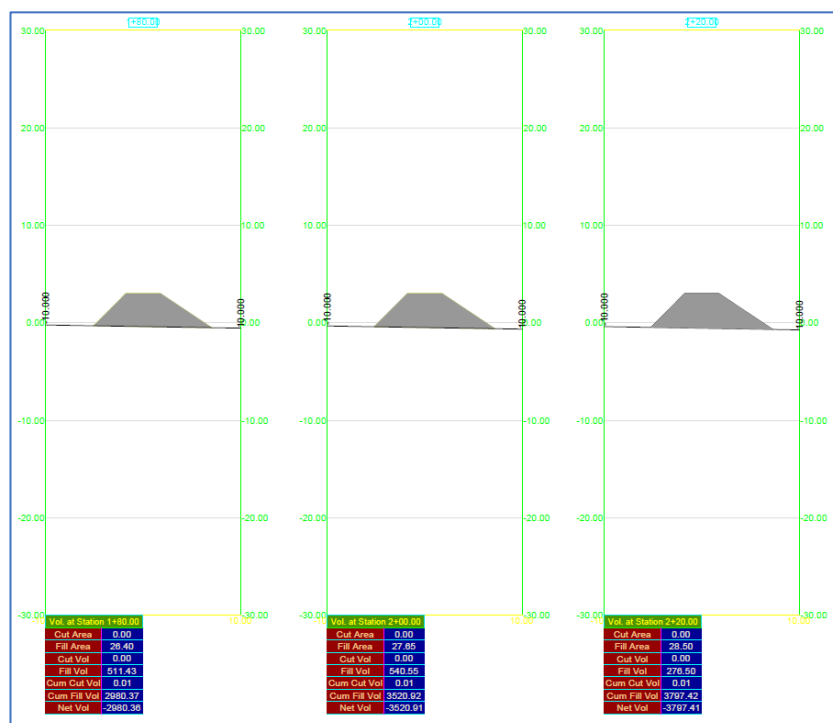


Figura 6 – Perfis transversais (Seções 1+80.00; 2+00.00; e 2+20.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

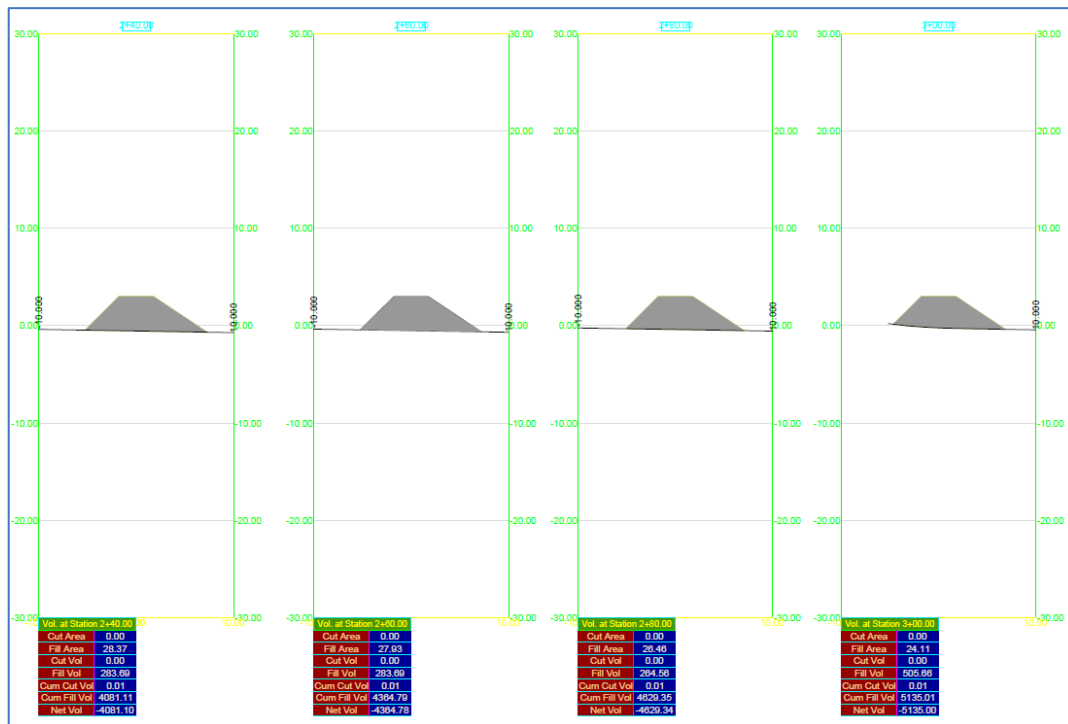


Figura 7 – Perfis transversais (Seções 2+40.00; 2+60.00; 2+80.00; e 3+00.00) do Enrocamento 1 (Espigão 1).

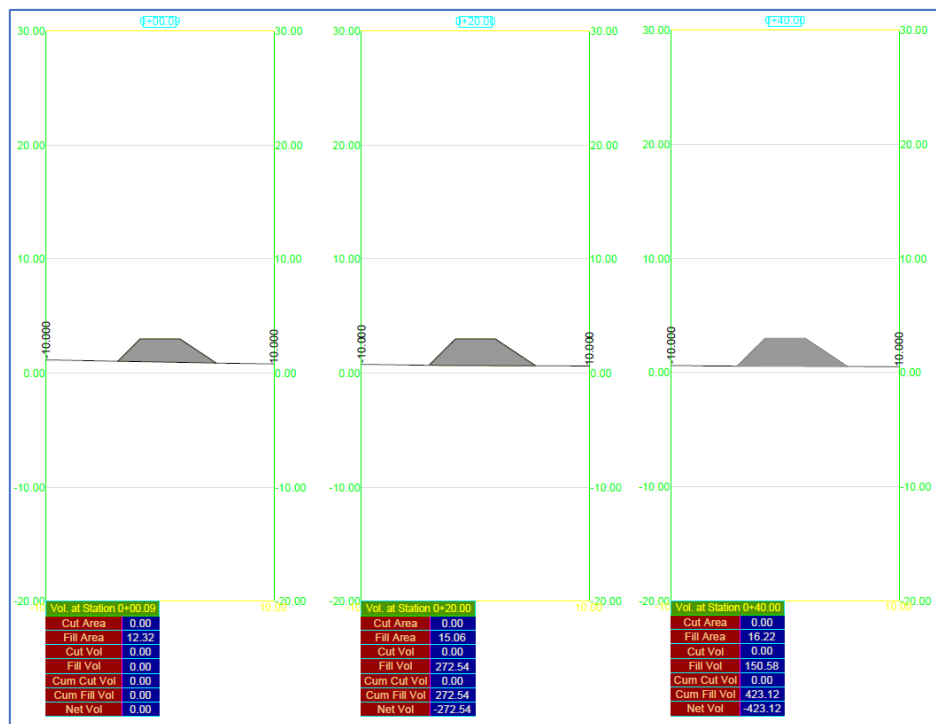


Figura 8 – Perfis transversais (Seções 0+00.00; 0+20.00; e 0+40.00) do Enrocamento 2 (Espigão 2).

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

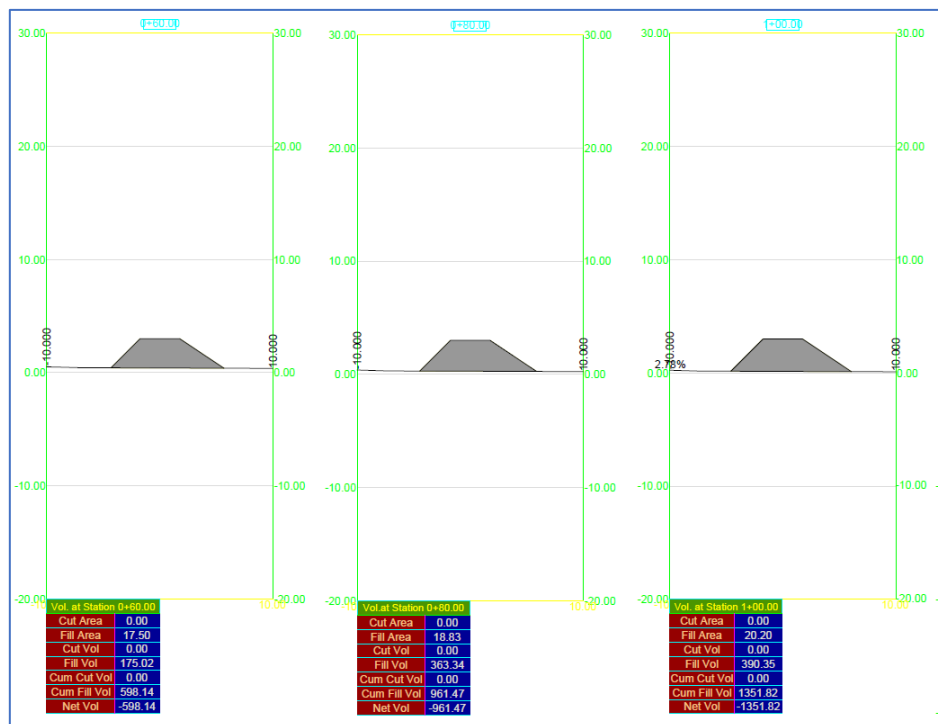


Figura 9 – Perfis transversais (Seções 0+60.00; 0+80.00; e 1+00.00) do Enrocamento 2 (Espigão 2).

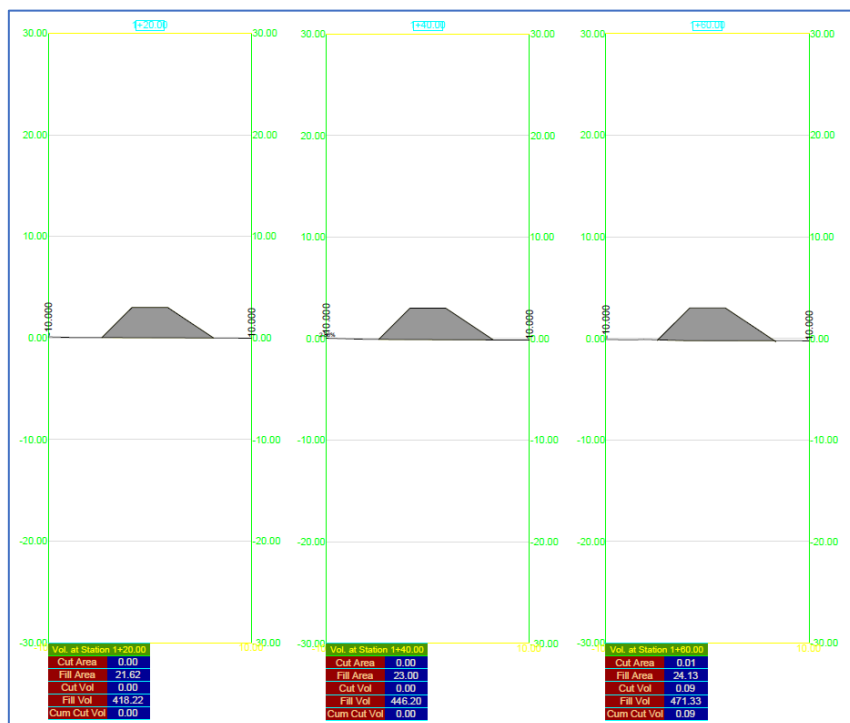


Figura 10 – Perfis transversais (Seções 1+20.00; 1+40.00; e 1+60.00) do Enrocamento 2 (Espigão 2)

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

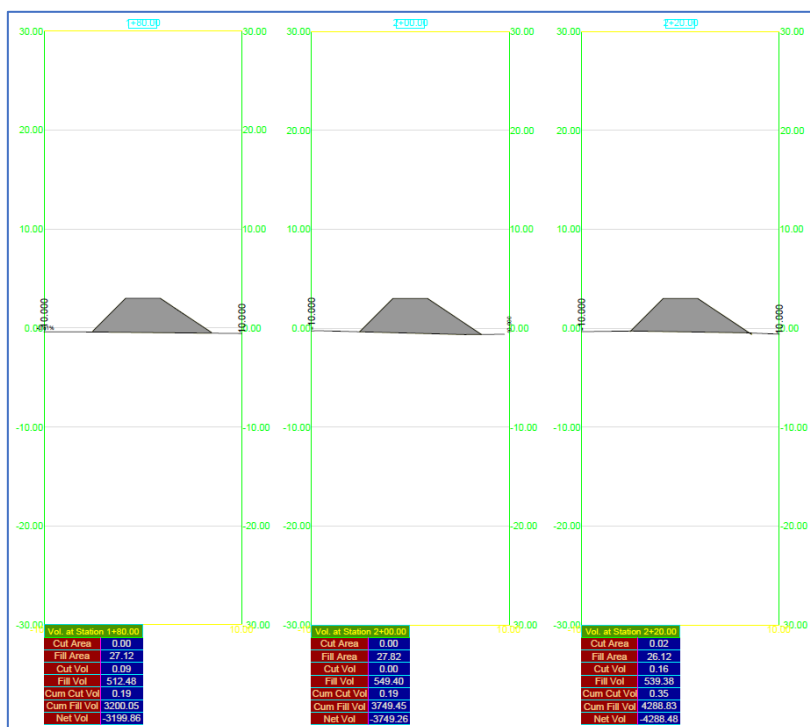


Figura 11 – Perfis transversais (Seções 1+80.00; 2+00.00; e 2+20.00) do Enrocamento 2 (Espigão 2)

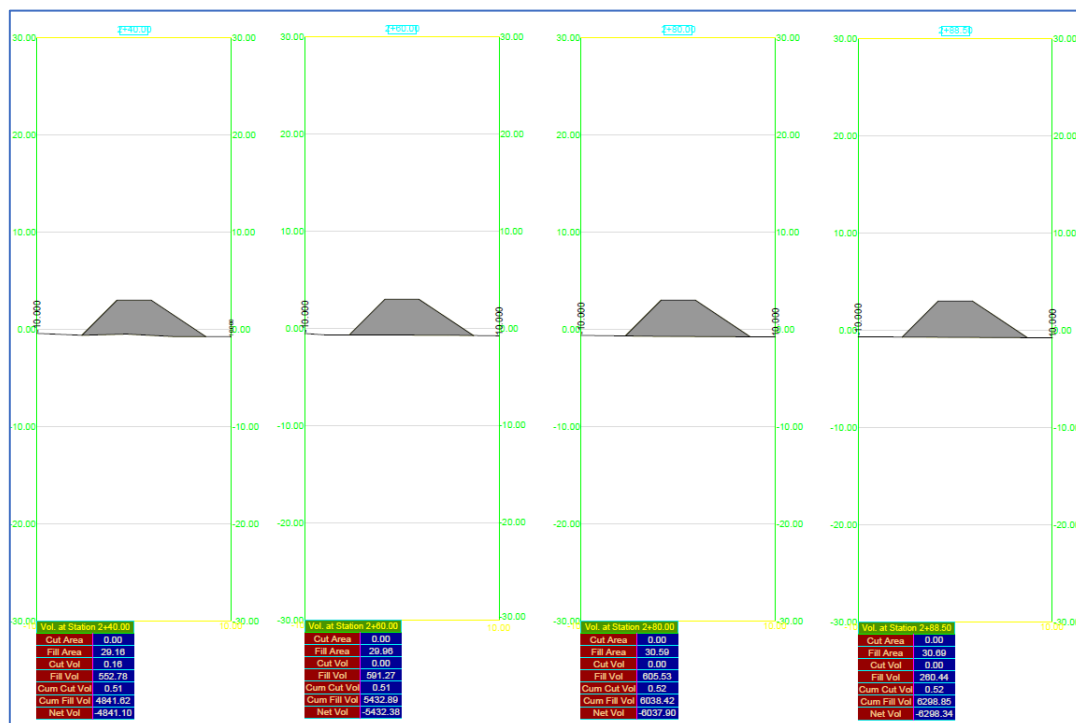


Figura 12 – Perfis transversais (Seções 2+40.00; 2+60.00; 2+80.00e 2+88.50) do Enrocamento 2 (Espigão 2).

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

Quadro 1 – Caracterização geral da Seção Transversal do Espigão.

ENROCAMENTO 1 (ESPIGÃO 1 – LADO OESTE)		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) 3+00.00	300,00

1.2. VOLUME DE ROCHAS DAS ESTRUTURAS

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 estrutura (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	15.81	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	264.56	0.01	4629.35	-4629.34
3+00.00	0.00	24.11	0.00	505.66	0.01	5135.01	-5135.00

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

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

1.2.1. Prolongamento da Estrutura

Tendo em vista que as estruturas dos espigões, tal como foram implantadas inicialmente teriam seus enraizamentos na praia submersa, deixando a praia suscetível à perda de sedimentos, fez-se necessário estender a estrutura até a berma da praia (Figura 13 a 17).

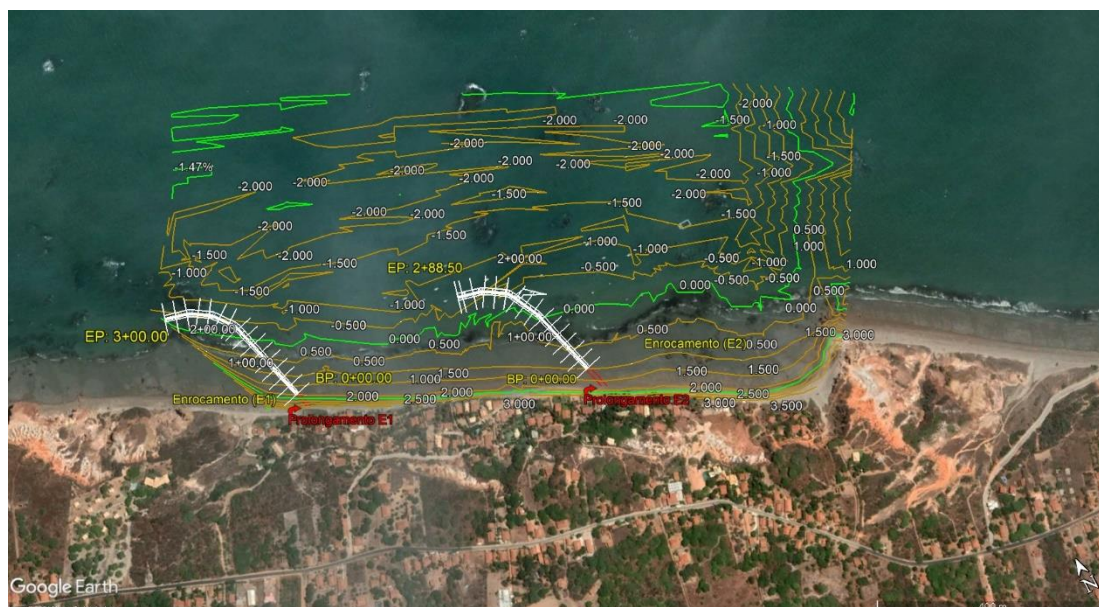


Figura 13 – Representação esquemática do prolongamento das estruturas dos espigões 1 e 2, da praia submersa até a berma de praia (setor de pós-praia). Praia da Peroba, Icapuí-CE.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

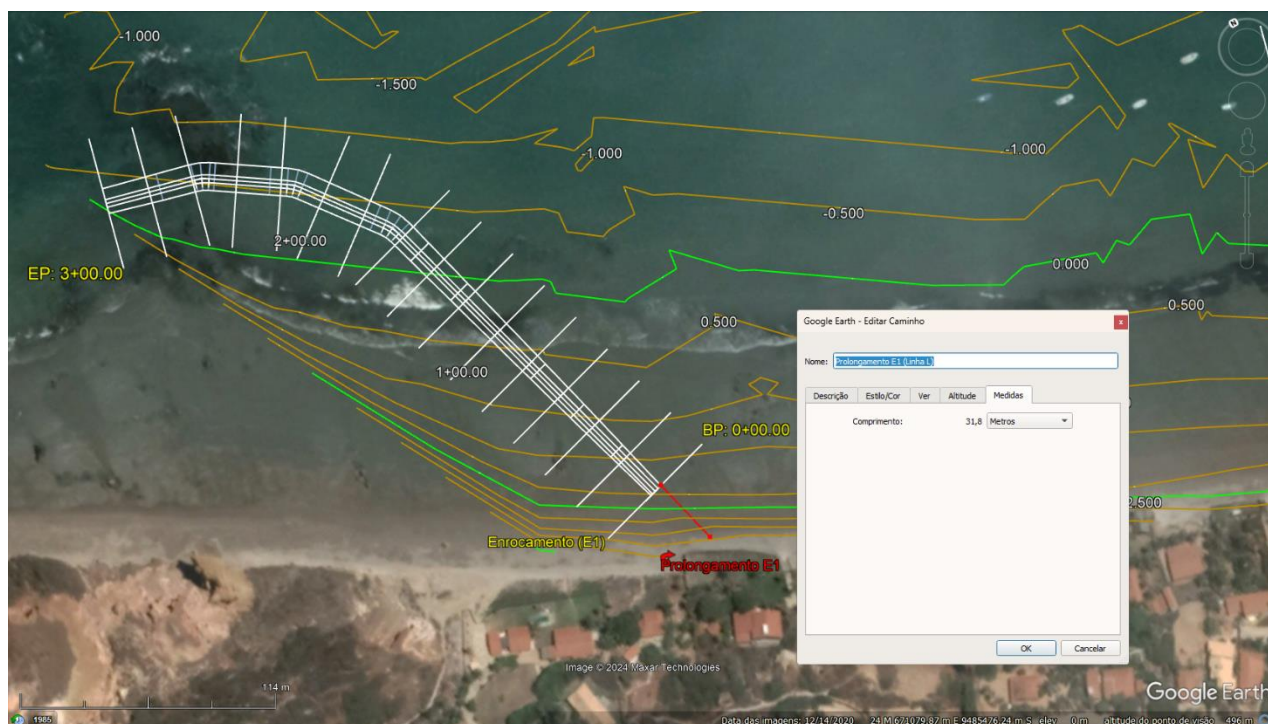


Figura 14 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 1, extensão do prolongamento (Lado Leste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.

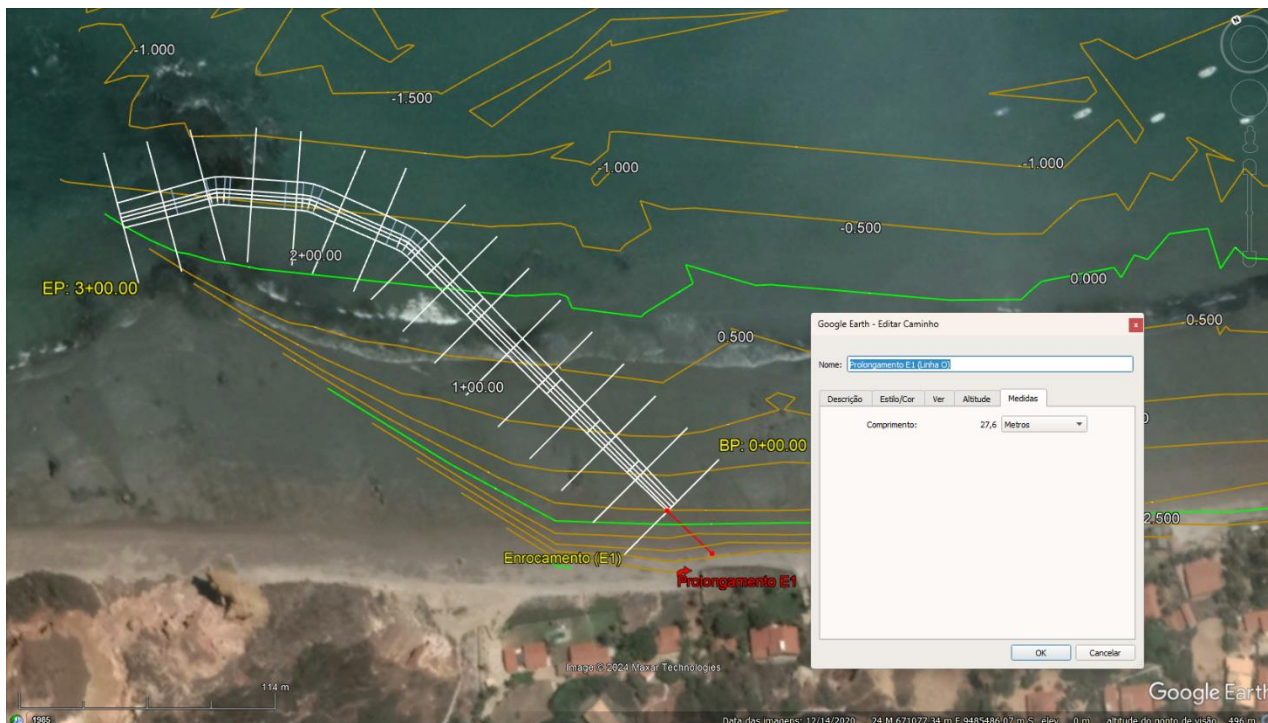


Figura 15 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 1, extensão do prolongamento (Lado Oeste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

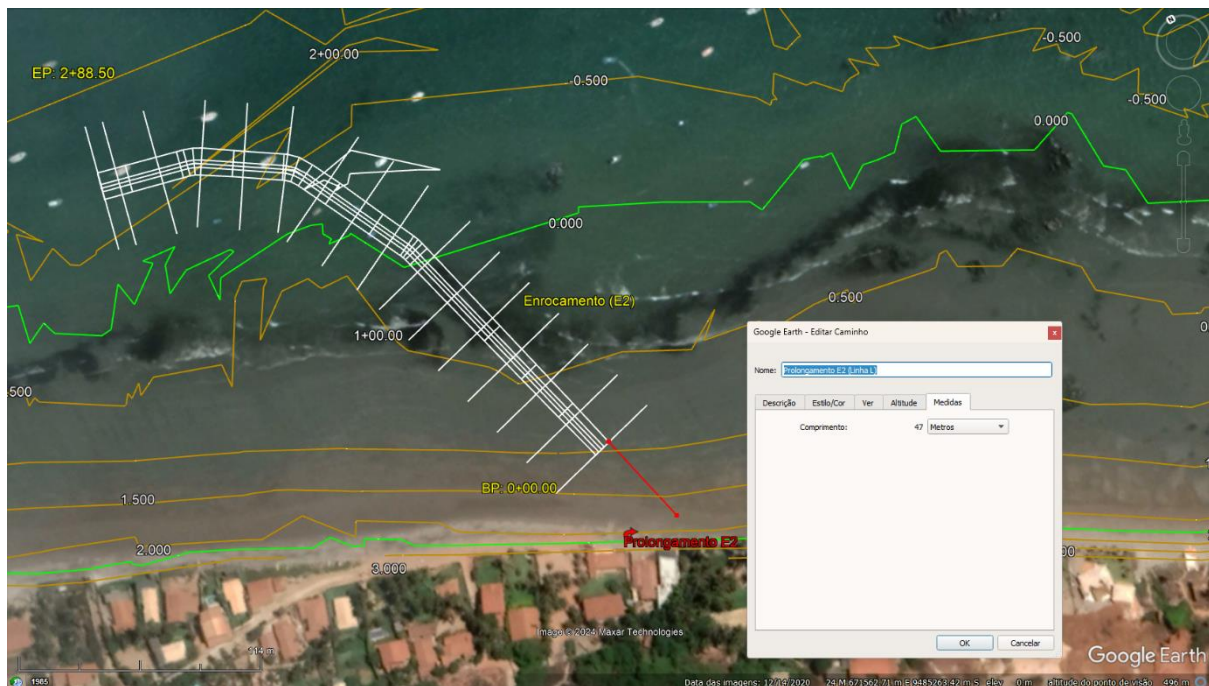


Figura 16 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 2, extensão do prolongamento (Lado Leste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.

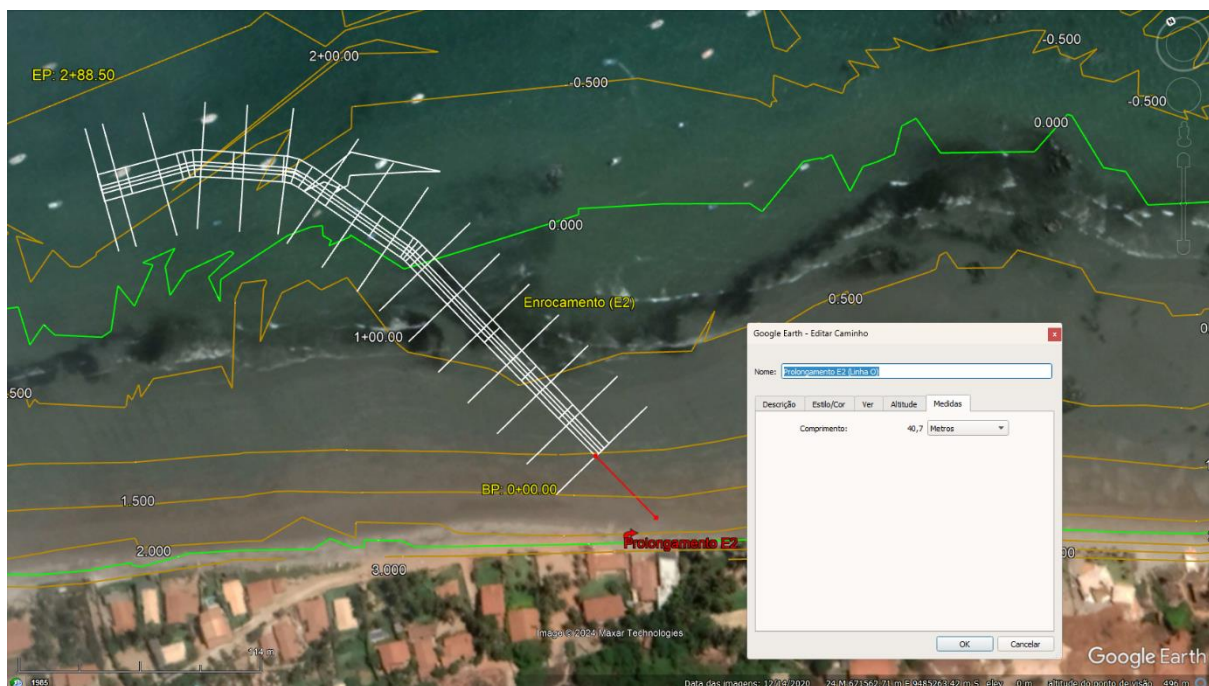


Figura 17 – Representação esquemática do prolongamento da estrutura do espigão 2, extensão do prolongamento (Lado Oeste). Praia da Peroba, Icapuí-CE.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

1.2.2. Estrutura Prolongada – Volume de Rochas

1.2.2.1. Volume de Rochas – Prolongamento do Enrocamento do Espigão 1

Tomando por referência a área na Seção 0+00.00 (5,48m²) e a extensão média de 29,70m, o volume de rochas acrescida à estrutura do espigão 1 corresponde ao total de **162,76m³**.

1.2.2.2. Volume de Rochas – Prolongamento do Enrocamento do Espigão 2

Tomando por referência a área na Seção 0+00.00 (12,32m²) e a extensão média de 43,85m, o volume de rochas acrescida à estrutura do espigão 1 corresponde ao total de **540,23m³**.

1.2.2.3. Volume Total de Rochas

Para o cálculo do volume total de rochas, no entanto, deve-se considerar o efeito de agulhamento. Esse efeito consiste na acomodação dos blocos, tornando o perímetro que envolve o maciço, calculado com base na densidade aparente, maior do que o realmente formado. O empilhamento do maciço conduz a acomodação das arestas pelos vazios. Nesse caso, adota-se um valor correspondente a 10%.

Considerando, portanto, o volume de rochas para a apresentação inicial das estruturas, o volume de rochas acrescido em razão do prolongamento das estruturas, bem como o efeito de agulhamento, o volume total de rochas a ser empregado na implantação das 02 estruturas de enrocamento corresponde a: $5.827,51 + 7.523,00 = \mathbf{13.350,51m^3}$ (Quadro 4).

1.2.3. Estrutura Prolongada – Volume de Areia

Em consonância com a recomendação feita pelo perito judicial, quando da ***“Perícia Realizada na Praia da Peroba – Icapuí – CE, Referente as Medidas mais Adequadas de Contenção da Erosão Costeira”*** no que se refere à colocação “emergencial” de areia na faixa praial do compartimento a ser formado entre os dois espigões, está sendo considerado o volume apresentado pelo perito de **33.750,00m³** de areia.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

Quadro 4 – Volume total de blocos rochosos para os enrocamentos dos espigões 1 e 2.

ENROCAMENTO 1		ENROCAMENTO 2	
SEÇÕES	VOLUME (M³)	SEÇÕES	VOLUME (M³)
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

2. SERVIÇOS TÉCNICOS COMPLEMENTARES

2.1. Controle da Morfologia Praia (Morfodinâmica Praia)

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 04 (quatro) meses de execução.

Total de Levantamentos: **06 unidades.**

PREFEITURA MUNICIPAL DE ICAPUÍ
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO

2.2. Análise dos Sedimentos da Praia

Considerando o total 03 amostras para cada um das 13 seções a serem implantadas em 03 meses alternados.

Total de Amostras = **117,0 unidades.**

2.3. Levantamento Batimétrico da Plataforma Adjacente à Praia

Deverá ser realizado 01 levantamento batimétrico após o término das atividades, de forma a avaliar o quanto e onde se darão os processos de acreção e/ou erosão.

Total de Levantamentos = **1,0 unidade** .

2.4. Levantamento Aerofotogramétrico da Área de Influência Direta

Deverá ser realizado 01 levantamento aerofotogramétrico após a implantação das obras, de forma a se permitir avaliar o comportamento sedimentar após a implantação das estruturas, inclusive no que refere às áreas adjacentes.

Total de Levantamentos = **1,0 unidade.**