

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/237

Projeto de contenção da orla de João Pessoa/PB

Davi B. Prates

Engenheiro Civil: Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil, davi@maffeiengenharia.com.br

Paulo E. Maffei

Engenheiro Civil: Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil, paulo.maffei@maffeiengenharia.com.br

RESUMO: A variação de maré e efeitos decorrentes de erosão progressiva levou à ruptura parcial do muro de gabião existente, para substituição da contenção, garantindo a segurança da calçada da orla do bairro de Cabo Branco em João Pessoa-PB, foram projetadas contenções em estacas prancha com tirantes passivos de estacas helicoidais metálicas permitindo reduzir a ficha da contenção e reduzindo os níveis de deslocamentos. Serão discutidas as características do solo local arenoso e do fenômeno da erosão causada pela variação de maré no local. As hipóteses de cálculo, modelos estáticos e resultados serão apresentados, será apresentado o dimensionamento das estacas helicoidais metálicas cravadas por torque, considerando as metodologias clássicas considerando a resistência como o mínimo dado pelo método de cone e método da capacidade individual.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto de contenções; Estaca prancha; Estaca Helicoidal

ABSTRACT: The tidal variation and the effects resulting from progressive erosion have led to the partial rupture of the gabion wall. The replacement of the containment system was required to ensure the safety of the Cabo Branco avenue in João Pessoa, Paraíba. The new retaining wall was designed using sheet pile walls with passive tiebacks made of screw piles, allowing for a reduction in the footprint of the containment structure and minimizing displacement levels. We will discuss the characteristics of the local sandy soil and the erosion phenomenon caused by tidal fluctuations. Additionally, we will present the calculation hypotheses, static models, and results. The sizing of the screw piles, driven by torque, will be considered using classical methodologies, with resistance determined as the minimum value based on the cone method and individual capacity

KEYWORDS: Retaining wall design; Sheet pile; Screw pile

1 INTRODUÇÃO

As condições ambientais de variação de maré local de até 3,0 m ocasionaram a erosão progressiva da orla do bairro de Cabo Branco na cidade João Pessoa no estado da Paraíba, na região já havia contenção existente em gabião, porém a erosão levou ao descalçamento dessas estruturas, ocasionando deslizamentos localizados das calçadas da Avenida Cabo Branco (Figura 1).



Figura 1. Condição das estruturas existentes, fonte: SEINFRA



Figura 2. Locação de implantação das novas contenções, fonte: SEINFRA

O Projeto de recuperação proposto inicialmente considerava estaca prancha em balanço, para contenção de 3,0 m de solo, com 12 m de comprimento.

Foi elaborado estudo alternativo com estacas prancha associadas a estacas helicoidais, que permitiu reduzir a ficha necessária e o comprimento das estacas prancha para 6 m.

2 CONTENÇÃO PROPOSTA

A solução de estaca prancha metálica associada a estacas metálicas helicoidais permitiu economia de materiais e acelerar a execução da obra, reduzindo o comprimento a cravar de estacas prancha.

Esta solução também reduziu os esforços na parede já que parte destes é transmitida para as estacas helicoidais que funcionariam como tirantes passivos, isto é, ao ocorrer os carregamentos decorrentes do empuxo de água e solo na parede, parte do esforço é resistido pela estaca helicoidal que sofre tração.

A ligação entre as estacas prancha e a estacas helicoidais é feita por meio de viga de coroamento de concreto armado, conforme apresentado na Figura 3, as estacas helicoidais apresentam um cabeçote no topo que é ligado a um tubo metálico por meio de parafusos, este elemento é responsável por participar da transmissão dos esforços entre a estaca helicoidal e viga de coroamento de concreto.

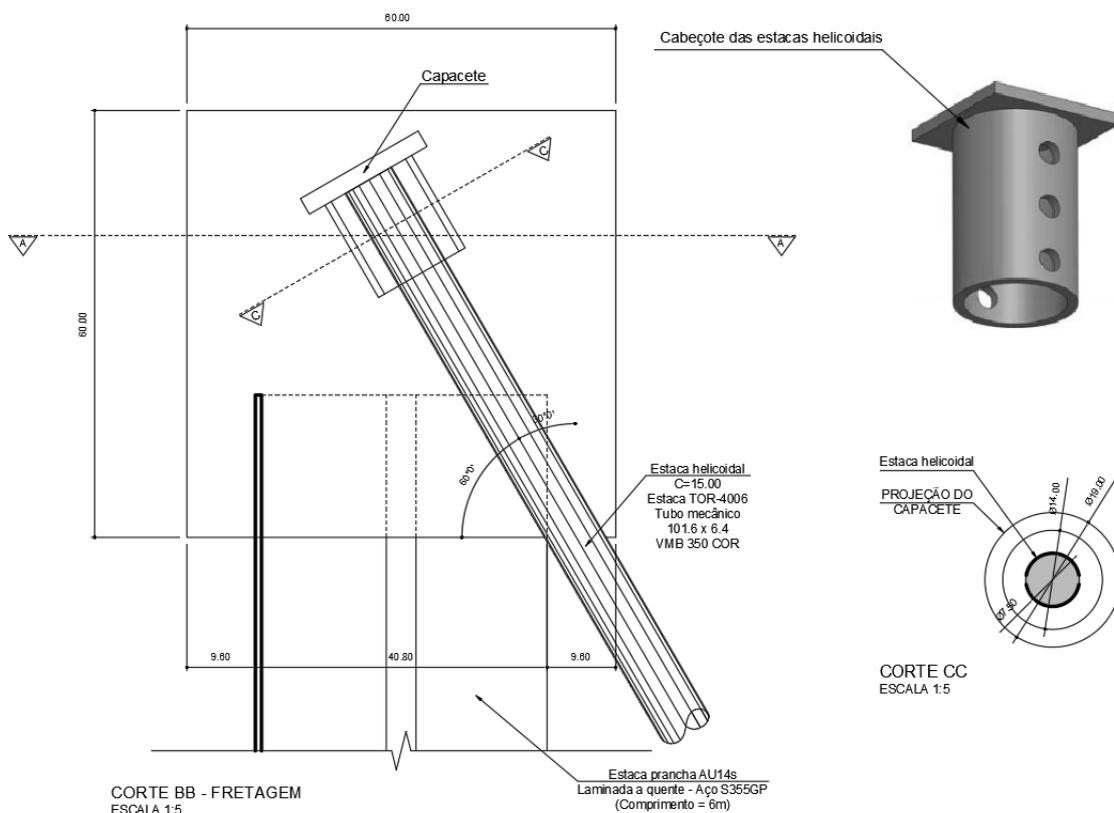


Figura 3. Detalhe da ligação entre estaca prancha e estacas helicoidais.

O subsolo local foi investigado com duas sondagens a percussão, sendo uma delas reproduzida na Figura 4, é típico da orla local, constituído de areias siltosas com surgimento de parcela pouco argilosa em profundidade, os cinco metros iniciais apresentam areias fofas seguida de medianamente compactas com número médio de golpes NSPT de 12. O nível d'água estava no topo do terreno no início da sondagem, lembrando que a região sofre com variação de maré significativa de até 3 m, causa da erosão nas estruturas existentes.

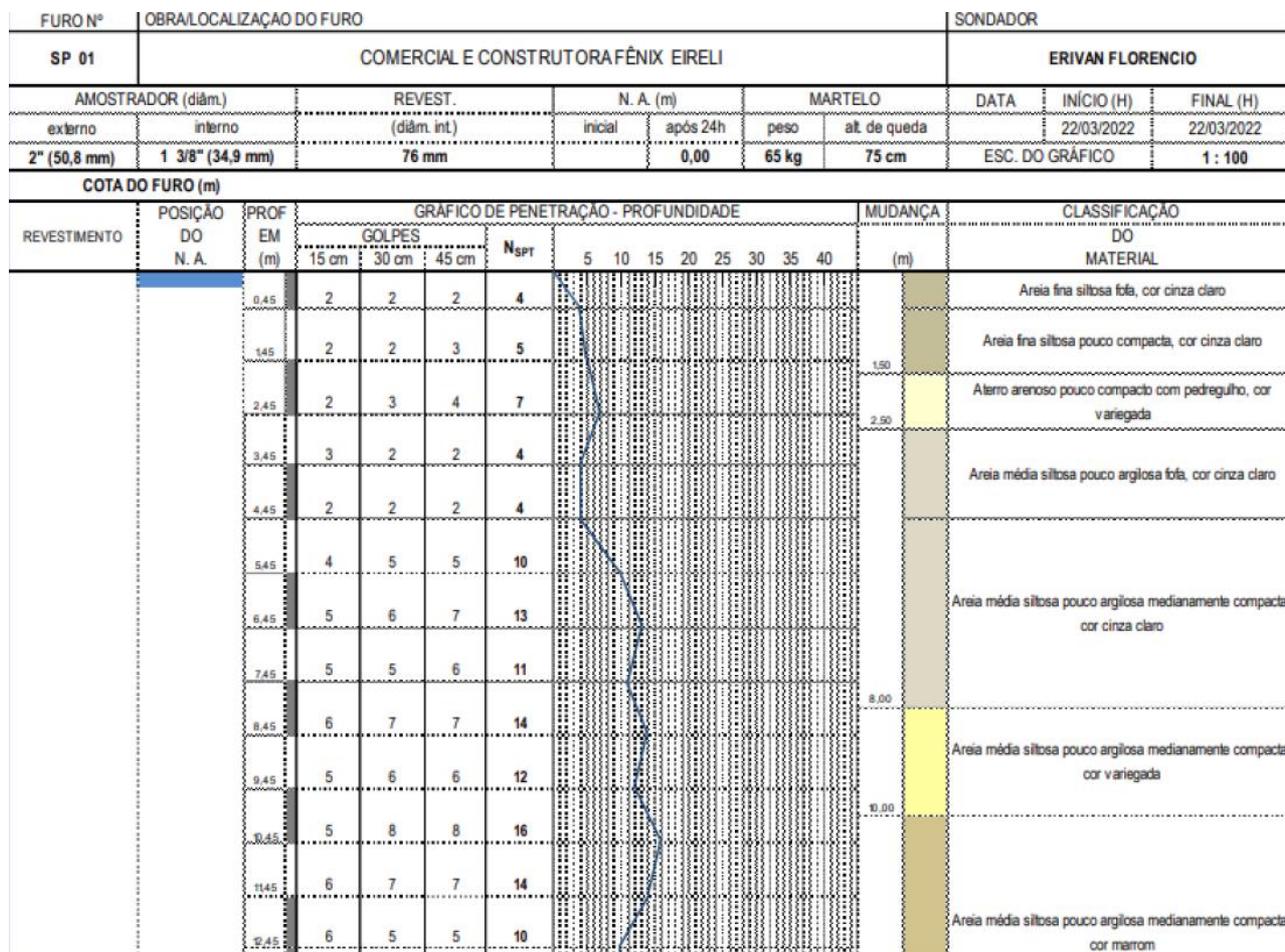


Figura 4. Boletim de sondagem SP01

Com base nas sondagens, foram elaborados modelos de cálculo para o sistema de estaca prancha utilizando o programa AMRetain™ de propriedade da ArcelorMittal, sendo projetado para cálculo de contenções com uso de estacas prancha por meio de modelo elasto-plástico perfeito com possibilidade de definição de empuxos de solo e água, além de outras funcionalidades como adicionar estruturas de suporte e verificação de passivo que foram utilizadas para otimizar as soluções de projeto.

As fases adotadas para análise são apresentada na Figura 5, sendo a fase inicial reproduzindo a cravação da estaca prancha, na segunda fase a execução das estacas helicoidais e viga de coroamento, na terceira fase a execução do aterro com nível d'água máximo e na última fase o nível d'água mínimo, de modo a simular a variação de maré.

A envoltória dos resultados do modelo são apresentados nas Figura 6 e Figura 7, sendo deslocamento máximo de 7mm no centro da estaca, momento fletor máximo de 55 kNm/m e cortante máxima de 52 kN/m na ligação da estaca prancha com a estaca helicoidal, estes esforços foram utilizados para a verificação das estacas prancha, resultando no tipo AU14s e para a armação da viga de coroamento, junto com a reação máxima nas estacas helicoidais de 110 kN/m, utilizadas para o dimensionamento estrutural e geotécnico das estacas helicoidais.

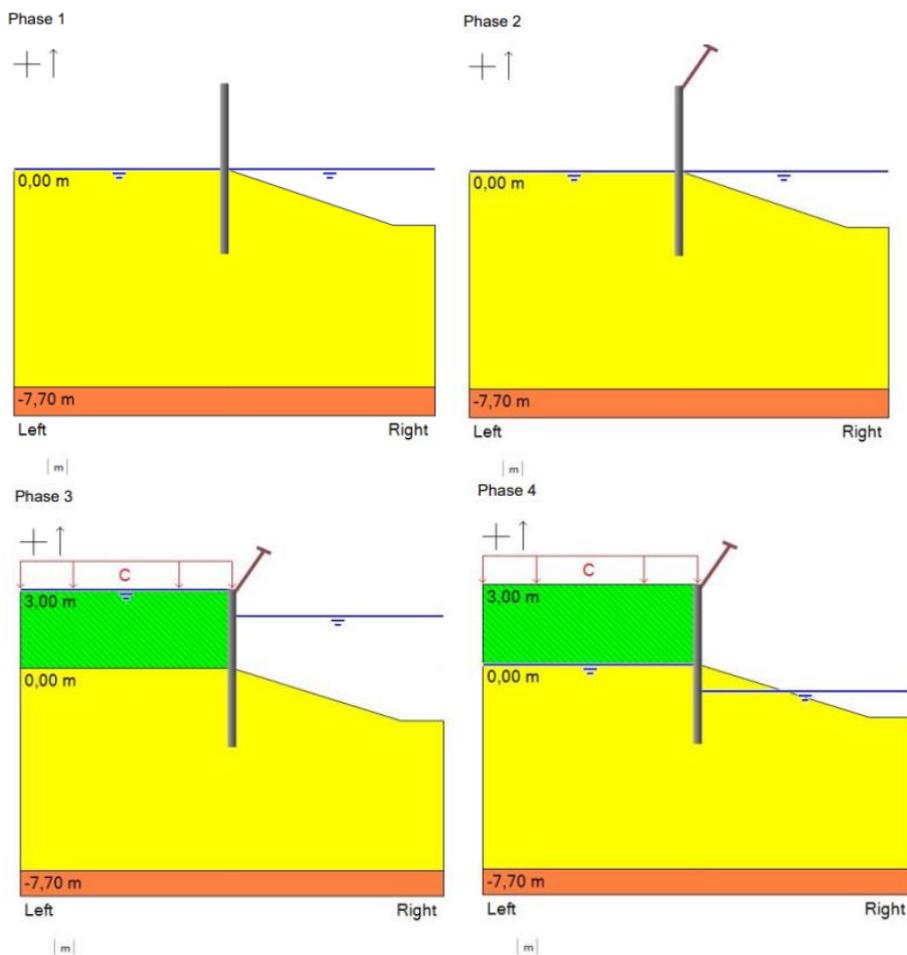


Figura 5. Fases de análise inseridas no programa

RESULTS (Synthesis)

PHASE	Displac. Head mm	Displac. max mm	Moment max t.m/m	Shear force max t/m	Ratio Earth res.	Strut 1 t/m
1	-0,30	0,31	0,00	0,00	7,788	-
2	-0,30	0,31	0,00	0,00	7,788	0,00
3	2,67	6,27	-5,42	-5,17	1,244	11,03
4	2,48	6,59	-5,43	-4,92	1,165	10,56
Extrema	2,67	6,59	-5,43	-5,17	1,165	11,03

Figura 6. Resultados do modelo - tabelado

RESULTS (Envelope phases 1 to 4)

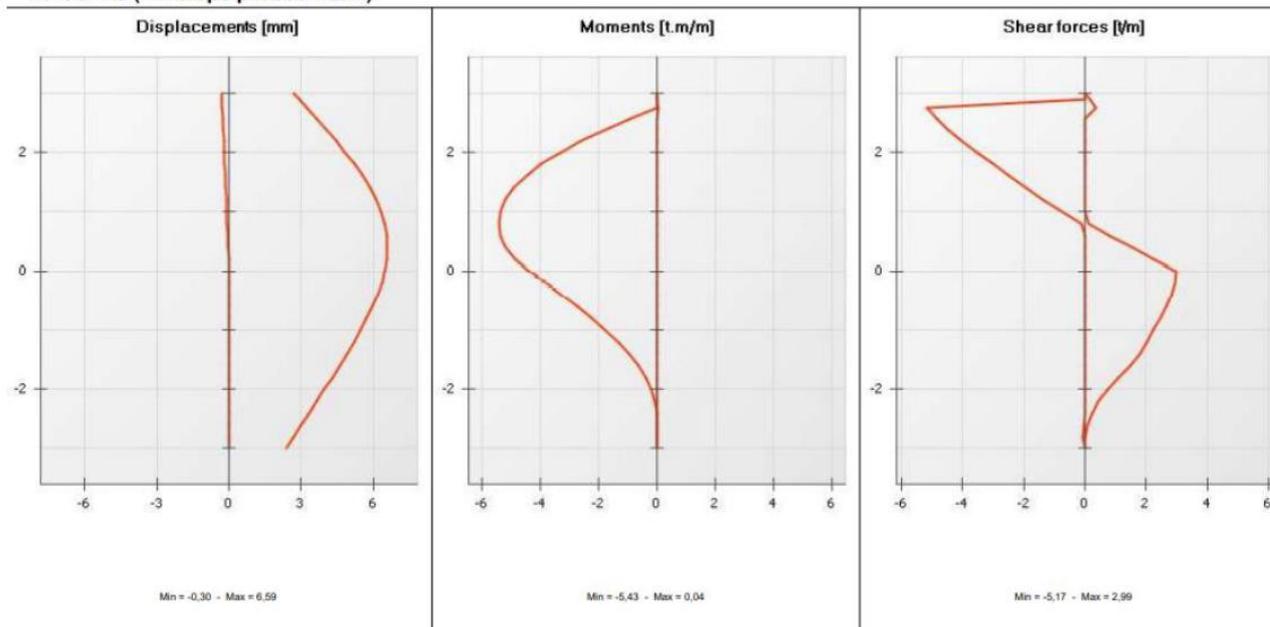


Figura 7. Resultados do modelo - gráfico

O dimensionamento das estacas helicoidais à tração foi feito considerando o mínimo entre a resistência do solo entre as hélices, a capacidade resistente da hélice superior somada à resistência do tubo liso e a resistência ao arrancamento do tubo, conforme apresentado na Figura 8.

As diversas formulações para cálculo são apresentadas, por exemplo, em Mohajerani et al. (2016) no qual consta revisão bibliográfica específica das metodologias disponíveis, em Costa (2017) que trata especificamente da questão de tração de estacas helicoidais em areia com carregamento cíclico; no *Practice Note 28* da IPENZ (2015) são apresentadas considerações construtivas para aplicação e dimensionamento.

Dada resistência média do solo arenoso na camada de apoio da estaca helicoidal de N_{spt} 12, foi considerado ângulo de atrito de 30° para o solo, peso específico de 17 kN/m^3 . Os dois critérios e formulações a calcular são apresentados abaixo

Individual bearing method – método da resistência individual

Dado pela soma da capacidade resistente de cada uma das hélices individualmente, sendo:

$$Q_t = \Sigma Q_{bearing} + Q_{shaft} = \Sigma A_h \gamma' H N_q + \alpha H_{eff} (\pi d) \quad (1)$$

Cylindrical shear method – método da resistência do cilindro

$$Q_t = Q_{helix} + Q_{bearing} + Q_{shaft} \quad (2)$$

$$Q_{helix} = \frac{1}{2} \pi D_a \gamma' (H_b^2 - H_t^2) K_s \tan \phi \quad (3)$$

Adotando estaca helicoidal com quatro hélices, sendo de 10"; 12"; 14" e 14" a cada 90cm, com tubo de 3,5 m de extensão e dois tubo prolongadores de 4,5 m resultando em estaca com 12,5m de comprimento, leva a capacidade de carga de 508 kN para o método da resistência individual e 196 kN para o método da resistência do cilindro, sendo superior ao esforço considerado que é de 165 kN (estacas a cada 1,5 m).

Além do dimensionamento geotécnico deve ser verificada estabilidade global da contenção, o que foi verificado por meio de método de equilíbrio limite com FS superior a 1,8 para a pior situação de nível freático, conforme reproduzido na Figura 9.

O dimensionamento estrutural (Figura 10) da viga de coroamento levou em conta a geometria entre estacas prancha e a necessidade de reforços específicos para introdução das forças concentradas por meio de fretagem (Figura 11), a armação longitudinal segue como de uma viga retangular acima da estaca prancha, com aplicação de ganchos e armaduras complementares entre estacas pranchas, o dimensionamento foi feito conforme NBR6118:2014.

Figure 6.3: Cone Pull Out

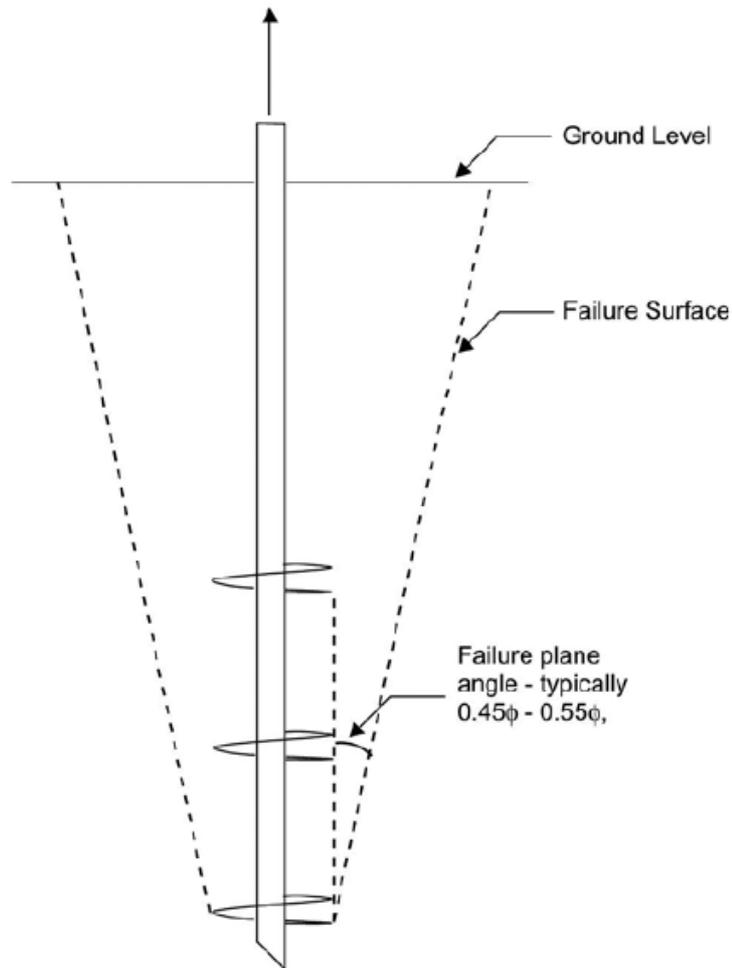


Figura 8. Superfícies de ruptura a considerar para cálculo de estaca helicoidal à tração, fonte: IPENZ:2015

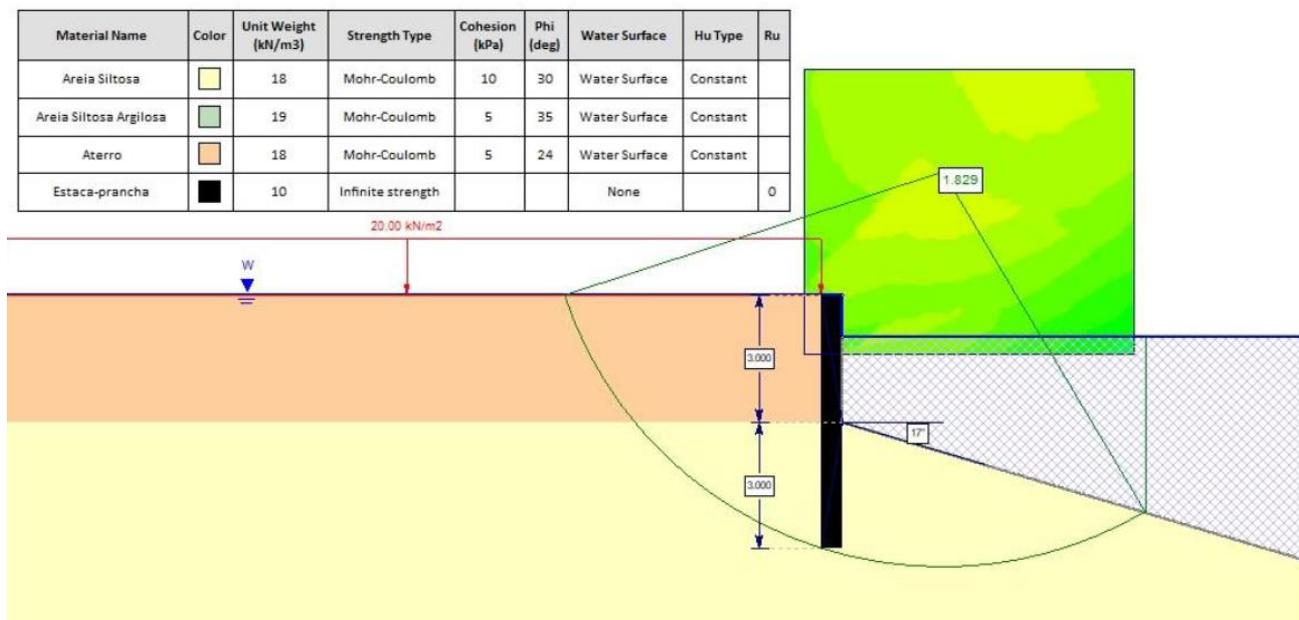


Figura 9. Verificação de estabilidade global FS=1,829

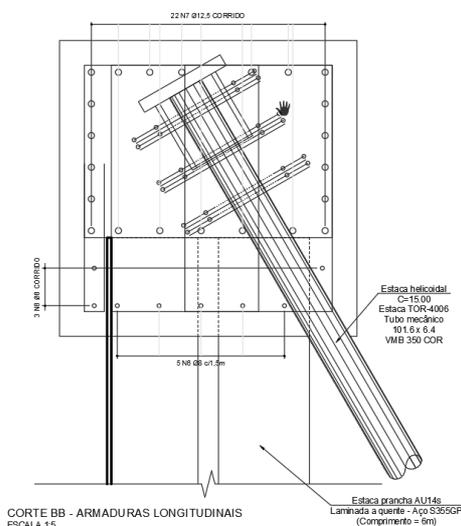


Figura 10. Projeto estrutural da viga de coroamento – armaduras totais em um corte.

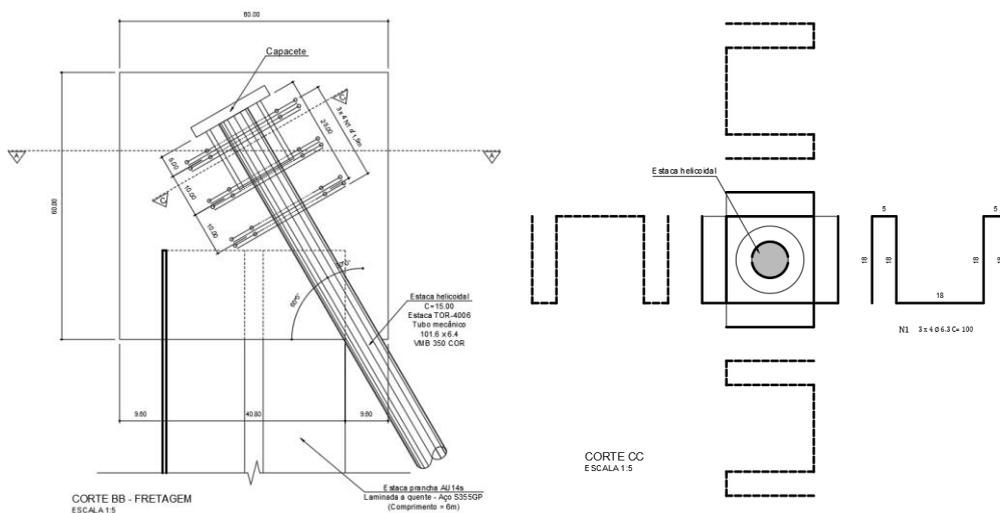


Figura 11. Projeto estrutural da viga de coroamento, detalhe da fretagem

2 QUESTÕES EXECUTIVAS E APRENDIZADOS

A execução de cojntenções lineares para proteção costeira é uma realidade que será enfrentada com a elevação do nível dos mares e conseqüente avanço nas regiões costeiras, a solução em questão trouxe economia à obra pela redução significativa na ficha necessária para estabilidade.

O uso de estacas helicoidais como tirantes passivos gerou algumas questões executivas e dificuldades que merecem ser mencionadas quanto à metodologia de controle de cravação:

A forma usual de verificação da capacidade de carga in loco para estacas helicoidais é baseada no torque necessário para cravação, o que funciona para a maioria dos casos, porém na obra em questão, a ocorrência de camadas de areia com conchas e detritos marinhos leva a acréscimos de torque não condizentes com os valores de resistência do maciço usuais.

Por decisão do executor as estacas tiveram sua cravação paralisada pela metodologia do torque não atingindo os comprimentos conforme calculados, sendo comprovado por meio de ensaio de arrancamento que a capacidade resistente foi inferior àquela correlacionada por essa metodologia.

A experiência do executor é um fator importante para a obra, mas não deve negar especificações de projeto, especialmente na falta de conhecimentos do local por parte do executor. Ao seguir as diretrizes de projeto, cravando as estacas com profundidade adequada foi possível atingir as cargas de trabalho esperadas e garantir a segurança da obra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos responsáveis por viabilizar essa intervenção nas estruturas da orla da Avenida Cabo Branco, resultando em mais segurança para a região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa, J. P. da S. (2017) *Uplift Behaviour of helical piles in sand subjected to cyclic loading* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN. Natal, RN, 126 p.
- IPENZ Engineers New Zealand (2015). *Practice Note 28 Screw Piles: Guidelines for Design, Construction & Installation*.
- Mohajerani, A.; Bosnjak, D.; Bromwich, D. (2016) Analysis and design methods of screw piles: A review. *Soils and Foundations*, p. 115-128.
- Secretaria Municipal de Infraestrutura – SEINFRA de João Pessoa/PB (2022) *Edital de licitação N°11.032/2022SEINFRA*. Disponível em <https://transparencia.joaopessoa.pb.gov.br:8080/licitacoes/visualizar-arquivo?id=54477>