



CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENEU
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Renan Moreira Nogueira
Jovane Prado Lemes
Francisco Nilson da Silva Filho

**ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE ESTACAS-PRANCHA METÁLICAS
FRODINGHAM PARA CONTENÇÕES DE SOLO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

FORTALEZA
2022

Ficha catalográfica da obra elaborada pelo autor através do programa de geração automática da Biblioteca da UniAteneu.

Moreira Nogueira, Renan.

ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE ESTACAS-PRANCHA METÁLICAS FRODINGHAM PARA CONTENÇÕES DE SOLO EM CONSTRUÇÃO CIVIL: / Renan Moreira Nogueira, Jovane Prado Lemes, Francisco Nilson da Silva Filho. - 2022
22 f.

Trabalho de Conclusão de Curso de (Graduação) - Centro Universitário Ateneu. Curso de Engenharia Civil. Fortaleza, 2022.

Orientação: Francisco Carlos Castro .

1. Contenção. 2. Estaca. 3. Frodingham.. I. Prado Lemes, Jovane. II. Nilson da Silva Filho, Francisco. III. Carlos Castro , Francisco. IV. Título.

**ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE ESTACAS-PRANCHA METÁLICAS
FRODINGHAM PARA CONTENÇÕES DE SOLO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**
(*CASE STUDY: APPLICATION OF METALLIC SHEET PILING
FRODINGHAM FOR SOIL CONTAINERS UNDER CIVIL CONSTRUCTION*)

Renan Moreira Nogueira¹

Jovane Prado Lemes²

Francisco Nilson da Silva Filho³

Francisco Carlos Castro (Orientador)⁴

RESUMO

O presente artigo visa apresentar conhecimentos adquiridos sobre contenção em estacas prancha metálica, para isso foram analisadas normas técnicas, pesquisas científicas e o estudo de caso da obra executada no estacionamento do Palácio da Abolição, localizada na sede de despachos do Governador do Estado do Ceará. Nosso principal objetivo consiste em entender por que, apesar das vantagens como velocidade de execução, pouca geração de resíduos sólidos e acabamento final, as estacas-prancha metálicas são pouco utilizadas no mercado regional em relação aos demais modelos de contenção. Chegamos à conclusão de que a principal desvantagem verificada em Fortaleza foi o alto custo e a falta de empresas que realizem esse tipo de sistema construtivo. Isso faz com que a técnica seja pouco utilizada e difundida, sendo substituída por outros sistemas tradicionais.

Palavras-chave: Contenção. Estaca. Frodingham.

ABSTRACT

This paper aims to present the knowledge acquired about sheet pile containment, where technical standards were analyzed, scientific research and the case study of the work executed in the parking lot of the Abolition Palace, located in the dispatching headquarters of the Governor of Ceará State. Our main objective was to understand why despite the advantages such as speed of execution, low generation of solid waste and final finish, the steel sheet piles are little used in the regional market in relation to other containment models. We concluded that the main disadvantage verified in Fortaleza was the high cost and the lack of companies that perform this type of constructive system make the technique little used and widespread, being replaced by other traditional systems.

Keywords: Containment. Stake. Frodingham.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: renan1nog@gmail.com

² Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: jovaneprado@gmail.com

³ Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: fnilsonfilho2@hotmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Civil. Docente do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: carlos.castro@professor.uniateneu.edu.br

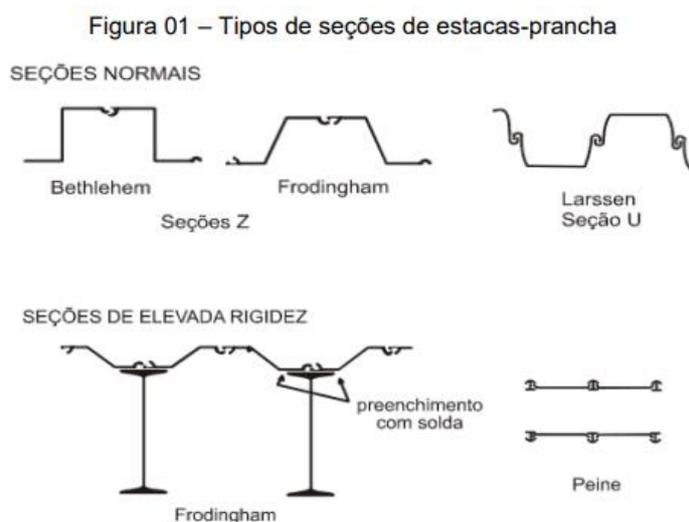
1 INTRODUÇÃO

Conforme Luiz (2014), durante o processo de planejamento e execução de uma edificação ou obras de engenharia o qual demande serviços de escavação e trabalho abaixo do solo existente, encontra-se a necessidade de construir uma estrutura de contenção dimensionada para equalizar as forças de pressões laterais (empuxo) de determinado maciço de solo ou rocha alterada contido para estabilidade do aterro e edificações adjacentes.

Segundo Calejo (2015), as paredes de estacas-prancha metálicas é um sistema de contenção de solo ou de água utiliza hastes ancoradas para propagar tensões horizontais no solo para a parede das placas, desse modo as hastes de ancoragem garantem a estabilidade das paredes de contenção, bem como transferem as cargas.

O presente caso em estudo analisa o sistema de contenção de solo que utiliza as paredes de estaca-prancha metálicas em formato comercial *frodingham* que, segundo Ferreira (2017), se baseiam em uma combinação de tirante e resistência passiva do solo, e suas estruturas em balanço consistem da resistência do empuxo e coeficiente passivo do solo.

Para melhor exemplificar, a Figura 01 nomeia determinados tipos de estacas-prancha e dá exemplos de suas seções.



Fonte: TACITANO (*apud* Clayton *et al.* 1993, p. 109.)

O presente artigo tem como referência e exemplo a aplicação de estacas-prancha na obra do Estacionamento do Palácio da Abolição, sede de despachos do

Governador do Estado do Ceará, situado no bairro Meireles. O referido empreendimento teve sua construção iniciada em 2020 e entregue em março 2022 ao órgão. Nesse caso, o projetista empregou estacas-prancha metálicas em formato comercial *frodingham* fornecidas pela ArcelorMittal (2019) como solução de contenção do solo do empreendimento.

Durante a pesquisa, viu-se como delimitação as seguintes dificuldades: limitações de espaços físicos do terreno, edificações vizinhas, ruídos e resistência elevada de diferentes tipos de solos, os quais são fatores que determinam a definição do sistema, conforme Cunha (2009). Diante de tais informações, utilizou normas técnicas, composição de custo e bibliografias para fundamentar os principais procedimentos do estudo de caso.

Identificou-se no estudo e na execução que, ao optar pelo método de contenção com estacas pranchas metálicas, a obra obtém maior agilidade na execução, acabamento final estético e estanqueidade de solo, dessa forma reduz-se o custo em alguns aspectos, em concordância com Falconi (2014) e com o sistema nacional de preços e índices para a construção civil (SINAPI) (CAIXA, 2020).

A pesquisa também objetiva adquirir conhecimento sobre as necessidades da contenção do solo e identificar dados que demonstrem os custos do sistema construtivo, além de aferir a influência dos mesmos para escolha do método. Esta análise buscou, ainda, descrever os procedimentos construtivos, de forma gradual e técnica, usando a base de composições de preço regional em conjunto com a da SINAPI, utilizando os dados referentes ao Estado do Ceará no mês de janeiro de 2020, para quantificar o coeficiente do custo e produtividade, bem como utilizou referências bibliográficas sobre métodos de contenção de solo que utiliza cortinas de estacas-prancha metálicas em edificações.

O presente artigo está dividido em cinco seções. Na primeira, a Introdução, apresenta-se o tema abordado, assim como os objetivos gerais e específicos. Na segunda, são descritos conceitos teóricos relativos à execução das estacas prancha na terceira, descreve-se o método de pesquisa e a situação da obra em estudo; na quarta, tem-se os resultados e a discussão e, finalmente, na quinta seção, as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6122 (ABNT, 2010), estaca é definida como elemento de fundação profunda utilizado somente por equipamentos ou ferramentas, sem a necessidade de descida de pessoas em qualquer momento da execução. Pode ser de madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in loco* ou por combinação dos citados anteriormente.

De acordo com Luiz (2014), a estaca é um elemento importante para manter o estado de equilíbrio natural de um maciço de solo ou rocha alterado por solicitações, ocasionando deformações que pode vir a colapsar.

2.1 Contenção do solo

Seguindo o raciocínio de Luiz (*idem*), na execução de obras de engenharia, pode ocorrer a necessidade de estabilizar determinado maciço de solo, decorrente, por exemplo, da realização de cortes e aterros. Nesse caso, estruturas de contenção podem ser concebidas. Tal estrutura consistem em elementos estruturais necessários para garantir o equilíbrio de um maciço de solo ou de rocha alterada que podem ocasionar deformações excessivas e até mesmo o colapso, então a estrutura deve suportar as pressões laterais (empuxo) do material a ser contido de forma a garantir segurança ao talude.

Empuxos de terra e as solicitações são forças que o solo provoca na área da estrutura que ele está em contato, conforme Dan e Sobhan (2014). A grandeza desses empuxos varia de acordo com diversos aspectos, tais como a resistência ao cisalhamento do solo retido, a inclinação da superfície do aterro, a altura e a inclinação do muro de arrimo na interface muro aterro, a natureza do movimento do muro sob as solicitações e a adesão do ângulo de atrito na interface parede-aterro.

2.2 Estaca-prancha

Para Caputo (2015), as cortinas de estacas-prancha são estruturas cravadas verticalmente no solo, com a função de suportar as pressões laterais inerentes ao maciço de terra e a água. Em caráter provisório, estas podem ser metálicas ou de madeira, contínuas ou descontínuas, com um formato plano ou curvo.

As estacas-prancha podem ser formadas por perfis metálicos ou de madeira. Segundo Cunha (2009), a grande desvantagem da madeira é sua pequena longevidade e o fato de ser inapropriada para grandes profundidades, enquanto as metálicas têm maior resistência e durabilidade, mas sua cravação é muito mais difícil devido ao seu peso, por isso necessita de máquinas para realizar içamento e cravação por meio de impacto do martelo vibratório.

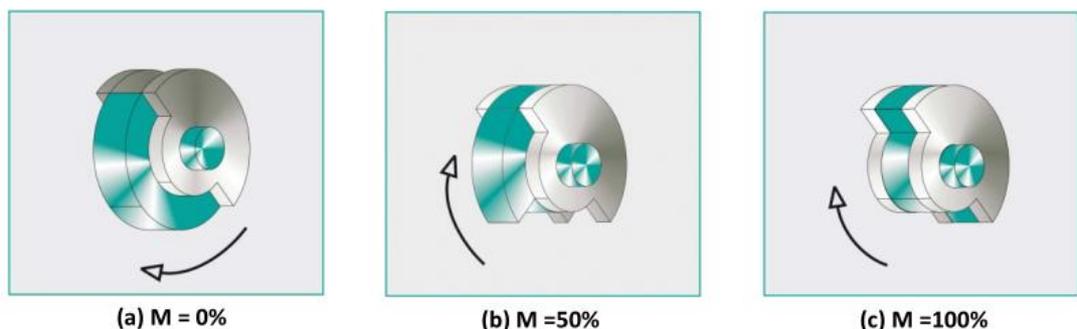
Apesar da vantagem de ser reutilizáveis, a espessura real mínima das peças precisa ser verificada, sendo admissível 20% para o desgaste natural ou mecânico em relação a uma nova peça. A fixação da carga admissível do solo após análise dos aspectos geotécnicos de transferência de carga para o solo é outro ponto fundamental, conforme a NBR 6123 (ABNT, 2010).

Assim, as estacas-prancha metálicas são as mais utilizadas, pois permitem maiores profundidades, são reutilizáveis, possuem fácil instalação e ótima estanqueidade, segundo Luiz (2014).

2.3 Instalação das estacas-prancha

De acordo Falconi e Selders (2015), para cravação da estaca prancha é muito comum a utilização de martelos vibratórios. Eles funcionam com momento excêntrico variável, geralmente causado por uma peça em formato de meia lua, que, durante o giro em eixos dentro do vibrador, faz com que o martelo emita vibrações, conforme ilustrado na Figura 02:

Figura 2 – Martelos Giratórios



Fonte: Falconi e Selders (2015).

Ainda segundo Falconi *et al* (2015), independente da estaca, do solo ou aplicação, é princípio chave e constante que, neste tipo de martelo vibratório, existem duas massas excêntricas girando no mesmo eixo, em sentido contrário:

Sendo a massa excêntrica uma meia lua, as duas massas excêntricas podem ser ajustadas de tal maneira que eles formem (a) uma lua cheia (b) três quartos de lua e (c) uma meia lua. No caso (a), as massas excêntricas se anulam e o momento excêntrico é zero. No caso (c), as duas massas excêntricas são sincronizadas para emitir a mesma vibração, e o momento excêntrico atinge 100%. Com este mecanismo pode-se gradualmente variar o momento excêntrico, como por exemplo, a 50% como no caso (b). (FALCONI *et al*, 2015, p. 4).

Geralmente, areia grossa (saibro), areia com grãos arredondados ou solos moles com baixa plasticidade são ideais para a cravação das estacas. Os solos argilosos duros, areias finas e argilas rijas não saturadas são bem menos adequados, pois absorvem a energia da vibração, conforme Falconi *et al* (2015).

Ainda de acordo com Falconi (*apud* GRABE e PICHLER, 2012, p. 64), o *pull-down* é uma ferramenta do martelo vibratório que fornece um peso complementar que intensifica a cravação, quando a velocidade se mantém acima de 0,5 m/min, e permite que a estaca alcance maiores profundidades, tendo em vista que a vibração não empurra a estaca, e sim ajuda a vencer o atrito lateral.

Segundo Grabe *et al* (2012), o peso do martelo vibratório empurra a estaca para dentro do solo. Esta força deve ser aplicada sobre toda a secção transversal da betonilha no eixo de gravidade, a fim de evitar que a carga seja deslocada, resultando uma carga excêntrica. Em geral, quando se conduzem a cravação das estacas, a posição, a orientação e o estado dos elementos que as conduzem deve ser constante, considerando as medidas adequadas para verificar que a posição é a desejada.

Conforme conclusão de Falconi (2014), a instalação de estacas metálicas utilizando a tecnologia do martelo vibratório propicia maior conforto acústico e de vibração, além de maior rapidez na execução das fundações, visto que cada elemento é introduzido muito rapidamente no solo.

2.4 Características das estacas metálicas

Conforme Caputo (2015), e o catálogo fornecido pela empresa ArcelorMittal (2019), a estaca-prancha metálica se sobressai diante da de madeira, tendo em vista

que aquela dispõe um bom módulo de secção elástica em relação ao elevado momento de inércia e ao peso. Devido à sua rigidez, as metálicas apresentam maior facilidade na cravação e na recuperação, possuindo grandes comprimentos e tempo de vida útil maior que as de madeira, podendo ser mais econômicas quando reutilizadas em uma considerável quantidade de obras.

São amplas as características que determinam o emprego de estacas em fundações profundas:

- Pode-se reutilizar os perfis caso sejam cortados, por ser uma estrutura metálica;
- Tem-se maior velocidade do equipamento para cravação, segundo Falconi (2014).
- Tem-se um maior limite de profundidade, tendo em vista seu material possibilitar a solda de várias peças (YAZIGI, 2009).
- Quando enterradas por inteiro em solo natural, dispensam tratamento especial mesmo submersas no lençol freático (YAZIGI, 2009).
- Facilidade para manusear, descarregar e estocar do material.

2.4.1 Desvantagens

Gomes (2013) destaca que, para as estacas-prancha, a principal preocupação quanto à sua durabilidade é a ocorrência de corrosão. Estas taxas serão mais elevadas quanto mais próximas as estacas forem instaladas do mar. Assim como os outros tipos de fundação, esta também possui motivos que a fazem ser menos utilizadas, a saber:

- Existência de solo sedimentar com muitas rochas, segundo Caputo (2015);
- Elevado custo do material (HACHICH *et al*, 1998); e
- Conhecimento técnico insuficiente sobre a tipologia e pouca difusão entre os fornecedores no mercado.

3 METODOLOGIA

Segundo Miguel *et al.* (2012), este artigo constitui-se em uma pesquisa de abordagem quantitativa, durante a qual realizamos medições de dados, análise do laudo elaborado por *software* da fornecedora (anexo em apêndice 1) e relatório de campo para justificar a adoção da estaca-prancha metálica na contenção de solo da obra do estacionamento do Palácio da Abolição, Sede Administrativa do Governo do Estado do Ceará.

3.1 Desenho da pesquisa

Segundo Gil (2002), este artigo é uma pesquisa exploratória que tem como objetivo proporcionar maior contato com a técnica de estaca-prancha metálica, com vistas a torná-la mais explícita, sendo que não é uma técnica muito aplicada na região.

Realizou-se, ainda, levantamento bibliográfico e a experiência do acompanhamento diário da execução da obra do referido estudo. Segundo Gil (2002), pesquisa bibliográfica é um estudo exploratório que tem como objetivo proporcionar entendimento e domínio com o contexto pesquisado. Também de acordo com Gil (*idem*), o acompanhamento do objeto de estudo *in loco*, conhecido como observação, consiste na estipulação assistemática do vínculo entre fatos no dia-a-dia que apresenta indícios para solução dos problemas propostos pela ciência.

Também foram adotados procedimentos, conforme Gil (2007), na coleta de dados bibliográfico e documental, utilizando fontes confiáveis e específicas, bem como as informações transmitidas por engenheiros e especialista.

3.2 Local e participantes da pesquisa

O lócus onde foram coletados os dados de pesquisa foi o estacionamento do Palácio da Abolição, localizado no cruzamento das Rua Silva Paulet com Rua Tenente Benévolo conforme Figura 03.

Figura 3 – Georreferencia do local da obra do estudo de caso.



Fonte: Google Earth Pro (GOOGLE, 2020).

Na referida obra, foi adotada a estaca-prancha metálica tipo *frodinghan* como solução para contenção de solo, conforme Figura 04, o que justifica o método escolhido para essa pesquisa.

Figura 4 – Estacas prancha metálica tipo *frodinghan* executadas *in loco*.



Fonte: Imagem produzida pelos autores (2021)

3.3 Coleta e análise de dados

A coleta de dados foi realizada em conjunto com a empresa Construtora Porto Ltda, com sede no município de Fortaleza, localizado no Estado do Ceará, inscrito no

CNPJ sob nº 03.234.418/0001-51, que nos forneceu todos os documentos necessários para realização deste estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme informações dos sujeitos, verificou que a obra necessitava de uma execução rápida e de baixo impacto, pois ao redor havia importantes edificações e ruas movimentadas, dessa forma foi escolhida pelo conselho técnico da Construtora Porto, composto por sócios, engenheiros civis, tecnólogos e técnicos, a contenção com estaca-prancha metálica AZ, pois, mesmo sendo 91,61% mais cara em comparativo com a contenção de estacas de concreto armado, possuía baixo impacto, melhor acabamento final e agilidade execução.

Para melhor entendimento do custo de execução, foi utilizada a proposta fornecida pela empresa contratante para o valor da execução de 2,64 km de contenção com estaca-prancha AZ, representado simplificadaamente na Tabela 1:

Tabela 1 – Preço estacas-prancha AZ

ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	UNID.	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL	FONTE
1	Cravação de 220 peças de Estacas Prancha AZ 12-700 dupla laminada a quente x 12m	m	2.640	R\$ 125,00	R\$ 330.000,00	MERCADO 01.2020
2	Estaca Prancha AZ 12-700 dupla laminada a quente 12m	Kg	357.456	R\$ 6.267,00	R\$ 2.240.176,75	MERCADO 01.2020
VALOR TOTAL					R\$ 2.570.176,75	

FONTE: Elaborada pelos autores (2022).

Importante ressaltar que os dados adquiridos foram emitidos no mês de janeiro de 2020, período anterior ao primeiro caso confirmado de COVID-19 no Brasil segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2020).

Para fins de comparação de preço, foi montada uma planilha de custos com ajuda dos dados da SINAPI (BRASIL, 2020), utilizando a planilha desonerada do mês de janeiro de 2020 para verificarmos os custos da execução da contenção com estacas hélices continua de 30cm de diâmetro, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Preço estacas-hélice continua

CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO ITEM	UNID.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL	FONTE
01.FUES.EHCM. 008/01 100653	Estaca hélice contínua, diâmetro de 30 cm, Incluso concreto fck=30mpa e armadura Mínima (exclusive mobilização e Desmobilização). Af_12/2019	m	2.640	R\$ 81,65	R\$ 215.556,00	SINAPI 01.2020
VALOR TOTAL ESTIMADO					R\$ 215.566,00	

FONTE: Elaborada pelos autores (2022).

Utilizando o método de estacas hélice continua, é vantajoso se considerar o preço de execução, porém o seu cronograma de execução depende de vários fatores, como disponibilidade de funcionários, maquinários, clima, usina de concreto, trânsito e canteiro de obra. Segundo os dados analíticos disposto na tabela da SINAPI (BRASIL, 2020), a execução de 2,64 km seria ideal durante 8 horas por dia e 22 dias por mês, o que levaria 3 meses e 17 dias.

O método de estacas metálicas depende de menos fatores, sendo mais simples e rápido, pois as estacas e tirantes estavam estocados no canteiro de obras, bem como o maquinário (guindaste articulado ou caminhão guindaste e martelo vibratório). A execução foi realizada em 25 dias trabalhados, conforme o relato do engenheiro encarregado da obra e o relatório diário de obra.

Em vista dos requisitos estéticos, a estaca-prancha metálica também é superior, pois somente a aplicação de pintura é o suficiente para deixar esteticamente favorável. A estaca hélice elevaria o custo para ter o mesmo acabamento, pois necessitaria de argamassa entre estacas e regularizações com reboco argamassado, bem como emassamento e pintura ou instalação de ACM.

5 CONCLUSÃO

Com a crescente demanda imobiliária, torna-se necessário optar por sistemas eficientes, de rápida execução e baixa geração de resíduos. Portanto, buscou-se,

neste artigo, identificar e conhecer as vantagens e desvantagens do sistema construtivo que foi aplicado na obra estudada.

Observou-se que especificamente em Fortaleza os contratantes optam por métodos comumente conhecidos como estacas de concreto armado, cujo fator preponderante para escolha é o custo e a vasta quantidade de empresas locais que executam tal serviço. A complexibilidade de execução de obra com o emprego de estacas-prancha – seja pela utilização de equipamentos pesados que causam ruídos e vibrações, seja pelo fato de ter poucas empresas capacitadas na região para realizar tal serviço – força as empresas locais a procurar esse serviço fora do Estado.

Com este estudo, apresentou-se dados de um método de contenção de solo pouco empregado na região a fim de maior entendimento do seu uso. Ademais, propõe-se, para futuras pesquisas, o aprofundamento no cálculo de custos atualizados, benefícios da sua utilização e rentabilidade com a sua reutilização.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL. **Foundation Solutions - Projects Central & South America Edição: Janeiro/2019**. Brasil, 2019. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/files/produtos-catalogos/049f0a39-8e48-4ebd-87d8-0e163846b62c>. Acesso em: 12 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

CALEJO, J. B. G. A. **3D modelling of sheet pile corner in difficult ground conditions**. 2015. 125 f. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. v. 1.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. v. 2.

CUNHA, J. N. V. **Projecto de contenção, escavação e estruturas de uma estação de metro**. 2009. 166 f. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

DAN, B. M.; SOBHAN, K. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

FALCONI, F. F.; SELDERS, J. Dimensionamento de martelos vibratórios para instalação de estacas metálicas, **Seminário de Engenharia de Fundações**

Especiais e Geotécnica, 2015 Disponível em:

<https://www.hammertecbrasil.com.br/files/dimensionamento-martelos-vibratorios.pdf>. Acesso em: 11 maio. 2022.

FERREIRA, G. H. do N. **Análise comparativa de métodos para dimensionamento de contenções com estacas-prancha em balanço**. 2017. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2017

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOOGLE. Imagem de satélite: Fortaleza, Ceará, Brasil – julho/2020. [S.I.]; Programa Google Earth Pro, Escala: 1:100, [S.I.].

GOMES, C. E. S. **Conceção e dimensionamento de ensecadeiras de células de estacas prancha**, 2012/2013. 133 f. Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013

GOVERNO FEDERAL (BRASIL). Ministério da Saúde. **Coronavírus: Brasil confirma primeiro caso da doença**: Ministério da Saúde confirmou o primeiro caso de coronavírus em São Paulo. O homem de 61 anos deu entrada no Hospital Israelita Albert Einstein, com histórico de viagem para Itália. Brasil: Ascom SE/UNA-SUS, 27 fev. 2020. Disponível em: <https://www.unasus.gov.br/noticia/coronavirus-brasil-confirma-primeiro-caso-da-doenca>. Acesso em: 20 maio 2022.

GRABE I. J.; PICHLER, T. EAU 2012. Die 11. Auflage der Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen". **Hamburg**, p. 59–67, 2012

HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998.

MELO, V. F. B. et al. **Mecânica dos solos, fundações e obras de terra**. São Carlos: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia, s.d. v. 2.

HACHICH, W. C.; FALCONI, F. F.; SAES, J.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

LUIZ, B. J. **Projeto geotécnico de uma estrutura de contenção em concreto**. 2014. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MIGUEL, P. A. C. *et al.* **Metodologia de pesquisa para engenharia de produção de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SISTEMA Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil. SINAPI PCI.817.01 - custo de composições - sintético. Brasil: IBGE, Caixa Econômica Federal, 2020.

TACITANO, M. **Análise de paredes de contenção Através de método unidimensional evolutivo** 2006. 268 f. Tese de Doutorado (Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas 2006

YAZIGI, W. **A Técnica de edificar**. 10. ed. São Paulo: Pini, 2009.

APÊNDICE 1 – PROPOSTA DE PROJETO COM LAUDO E MEMÓRIA DE CÁLCULO



ArcelorMittal
Projects Central & South America






PROPOSTA DE PROJETO PRELIMINAR

Destino:	CE - Brasil
Núm. de referência:	0349-1547-17 rev01
Projeto:	UCP PALACIO DA ABOLIÇÃO
Cliente:	CASA CIVIL DO GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Data:	09/01/2019 MRG

A ArcelorMittal não se responsabiliza por qualquer erro, defeito ou falha de qualquer forma ou espécie quanto aos cálculos, desenhos ou aplicação do produto indicados no presente estudo, sendo de exclusiva responsabilidade do cliente a verificação de todas as informações relacionadas, restanta a ArcelorMittal sendo responsável tão somente pela qualidade do produto, em que o cliente desde já concorda e se coloca ciente.



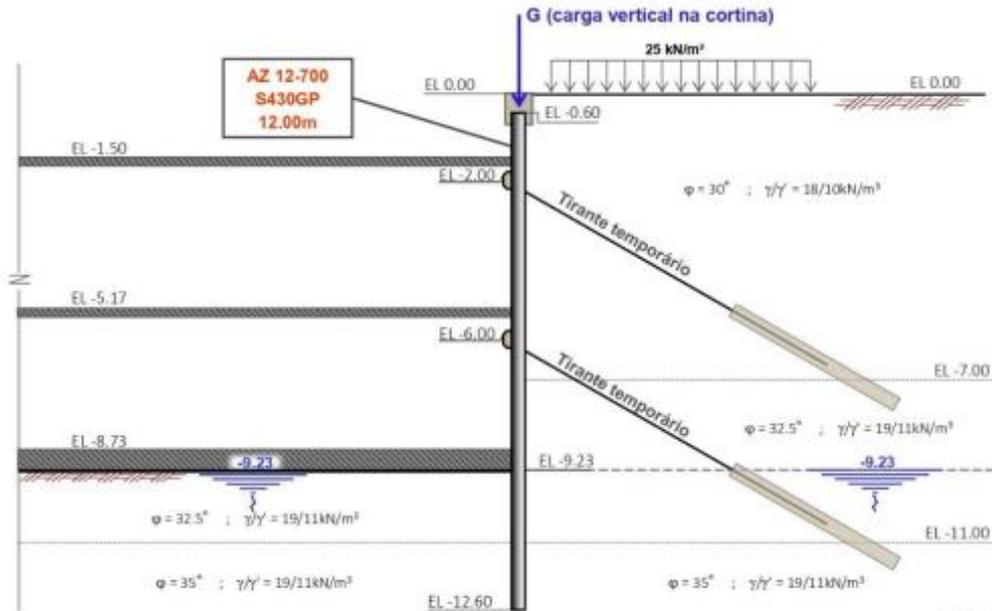
Premissas adotadas – Estrutura Definitiva

- Contenção definitiva em estaca prancha.
- Parâmetros de solo considerados conforme sondagem SP-01 ("19140716 Casa Civil Sondagens Construtec.pdf");
- **Altura de escavação de 9.23 m, com dois níveis de travamento temporário, a ser desativado após construção da lajes definitivas.**
- Sobrecarga considerada:
 - Temporária: 10 kN/m²;
 - Definitiva: 25 kN/m²;
- Carga vertical incidindo diretamente na cortina de acordo com planta de cargas enviada pelo cliente. Para verificação, foi considerado o pior caso (cortina de contenção do alinhamento superior), com cargas de 157 kN/m (laje EL -1.50) e 52 kN/m (laje EL -5.17).

Seção Transversal

Estrutura definitiva

G = 157 kN/m (laje EL -1.50) + 52 kN/m (laje EL -5.17) + 50 kN/m (viga de coroamento) = 259 kN/m

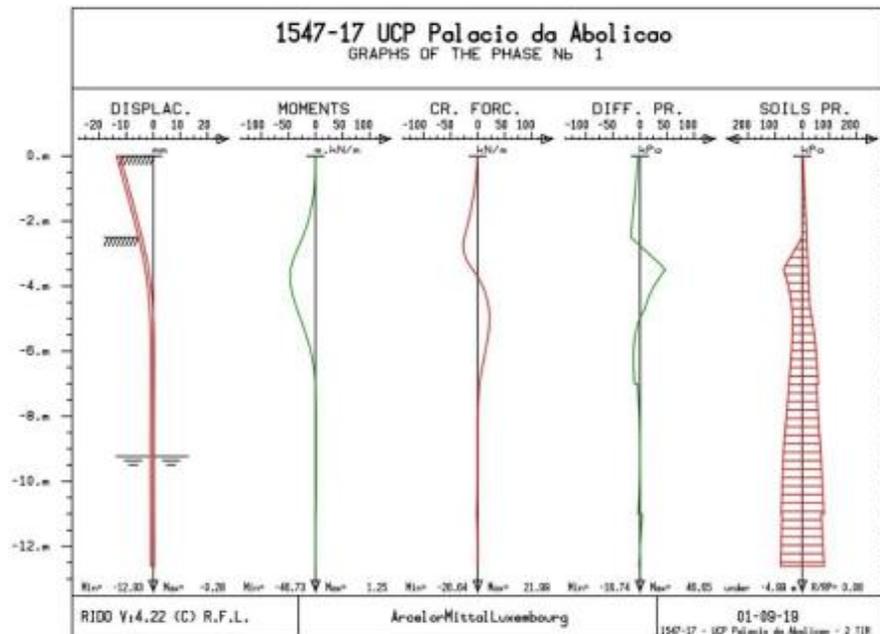


• Elevações em metros.
• Todas as informações deverão ser verificadas pelo cliente.

Resultados de Cálculo (RIDO)

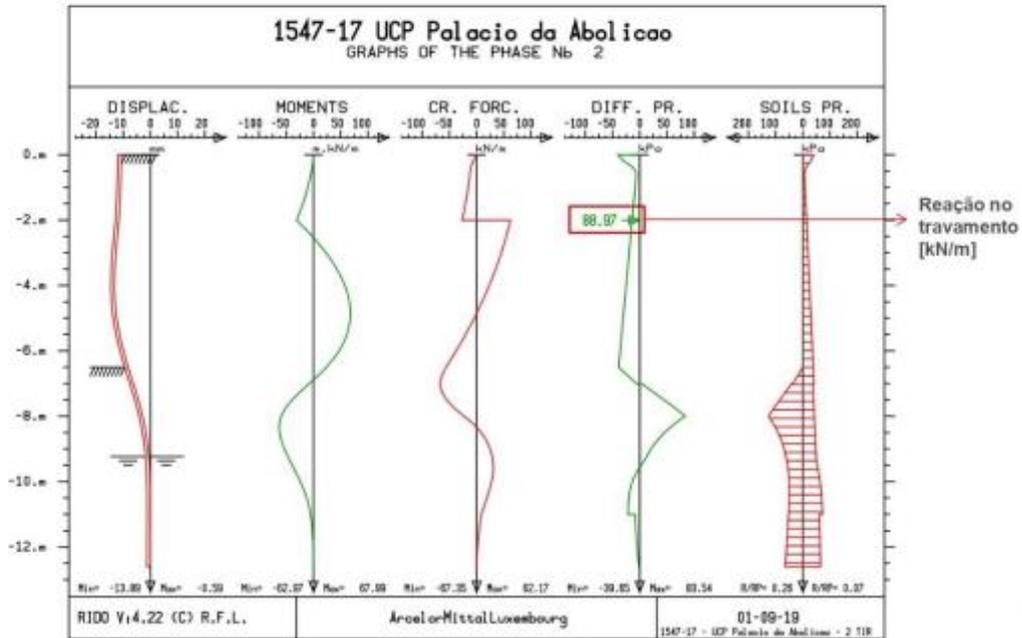
1ª Fase:

- Instalação das estacas em EL -0.60;
- Sobrecarga de 10 kN/m² atrás da cortina (fase temporária);
- Escavação em frente à cortina até EL -2.50.



Resultados de Cálculo (RIDO)

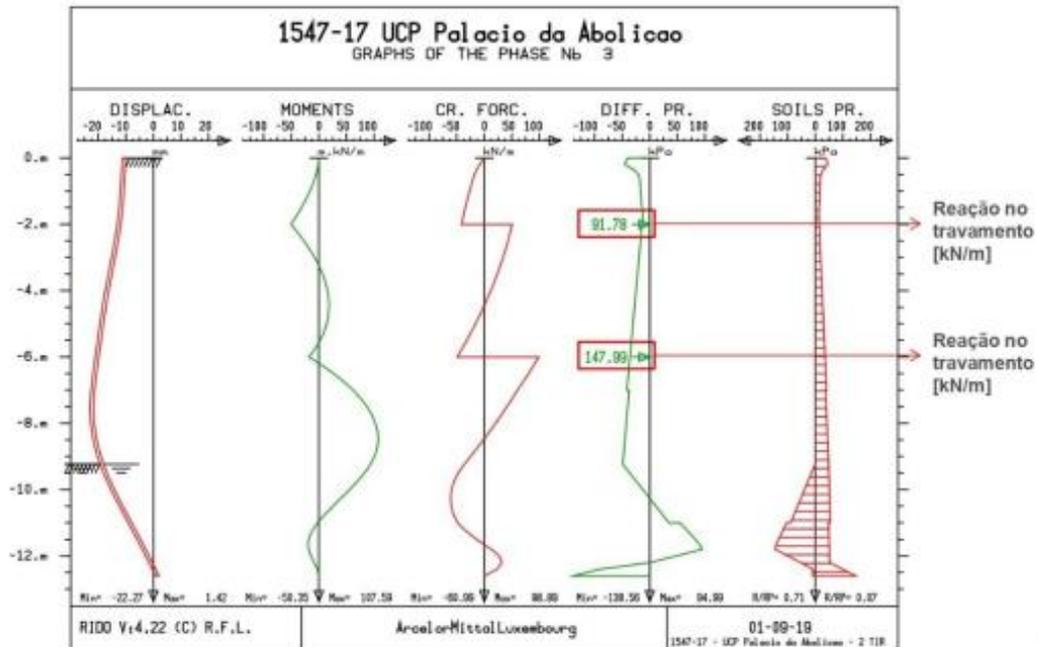
- 2ª Fase:
 • Instalação de travamento temporário em EL -2.00;
 • Escavação em frente à cortina até EL -6.50.



4

Resultados de Cálculo (RIDO)

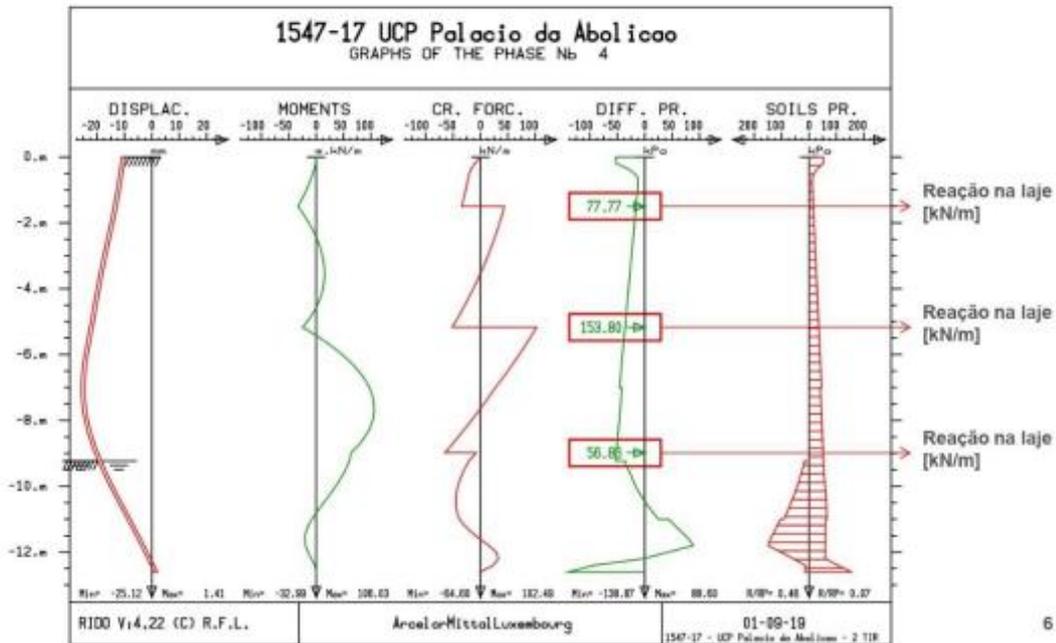
- 3ª Fase:
 • Instalação de travamento temporário em EL -6.00;
 • Escavação em frente à cortina até EL -9.23.



5

Resultados de Cálculo (RIDO)

- 4ª Fase:
- Instalação das lajes intermédias e de fundo;
 - Desativar os travamentos temporários;
 - Sobrecarga de 25 kN/m² atrás da cortina.



6

VERIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL EM CASO DE CORROSÃO
Tempo de vida útil considerado para a estrutura: 50 anos

Valores de perda de espessura por corrosão em conformidade com a norma EN 1993-5: 2007, tabelas 4.1 e 4.2:

- 0.60 mm na parte em contato com o solo natural
- 1.00 mm na parte em contato com o ar atmosférico em local próximo ao mar



Carga vertical = N = G = 157 kN/m (laje EL -1.50) + 52 kN/m (laje EL -5.17) + 50 kN/m (viga de coroamento) = 259 kN/m

<p>⚙️ Actions: M=108 N=259 e=26</p> <p>M = Bending moment: 108 kNm/m</p> <p>N = Compression load: 259 kN/m</p> <p>e = Deflection (max): 26 mm</p> <p>BMC = 518 kNm/m</p>	<p>AZ 12-700</p>	<p>Classification EC 3-5</p> <p>s: 0.739</p> <p>(b/t_f) / s: 57</p> <p>Class inl.: 3</p> <p>(b/t_{f,red}) / s: 70</p> <p>Class red.: 4</p> <p><i>For information only. Not used in the calculation.</i></p>																																													
<p>⚙️ Sheet pile section: AZ 12-700</p> <p>⚙️ Steel grade: S 430 GP f_y = 430 MPa</p> <p>⚙️ Safety factor min.: 1.50</p> <p>⚙️ Service life: 50 years Loss of steel: 1.60 mm</p> <p>⚙️ Steel quantities ...</p>	<p>Section properties</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>inl.</th> <th>red.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>W_{el}</td><td>1205</td><td>1030 cm³/m</td></tr> <tr><td>W_{pl}</td><td>-</td><td>- cm³/m</td></tr> <tr><td>I</td><td>18880</td><td>16080 cm⁴/m</td></tr> <tr><td>A</td><td>123.2</td><td>103.9 cm²/m</td></tr> <tr><td>t_f</td><td>8.50</td><td>6.90 mm</td></tr> <tr><td>t_w</td><td>8.50</td><td>6.90 mm</td></tr> <tr><td>h</td><td>314.0</td><td>312.4 mm</td></tr> <tr><td>alpha</td><td>42.8</td><td>- °</td></tr> <tr><td>b</td><td>356.4</td><td>- mm</td></tr> <tr><td>c</td><td>449.6</td><td>- mm</td></tr> <tr><td>A_v</td><td>37.1</td><td>30.1 cm²/m</td></tr> <tr><td>S_y</td><td>710</td><td>- cm³/m</td></tr> <tr><td>r_{s0}</td><td>15.0</td><td>- mm</td></tr> <tr><td>mass</td><td>96.7</td><td>- kg/m²</td></tr> </tbody> </table>		inl.	red.	W _{el}	1205	1030 cm ³ /m	W _{pl}	-	- cm ³ /m	I	18880	16080 cm ⁴ /m	A	123.2	103.9 cm ² /m	t _f	8.50	6.90 mm	t _w	8.50	6.90 mm	h	314.0	312.4 mm	alpha	42.8	- °	b	356.4	- mm	c	449.6	- mm	A _v	37.1	30.1 cm ² /m	S _y	710	- cm ³ /m	r _{s0}	15.0	- mm	mass	96.7	- kg/m ²	<p>Loss of steel: 1.60 mm</p> <p>Front: 1.00 mm</p> <p>Locations close to the Sea</p> <p>Back: 0.60 mm</p> <p>Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist,...)</p>
	inl.	red.																																													
W _{el}	1205	1030 cm ³ /m																																													
W _{pl}	-	- cm ³ /m																																													
I	18880	16080 cm ⁴ /m																																													
A	123.2	103.9 cm ² /m																																													
t _f	8.50	6.90 mm																																													
t _w	8.50	6.90 mm																																													
h	314.0	312.4 mm																																													
alpha	42.8	- °																																													
b	356.4	- mm																																													
c	449.6	- mm																																													
A _v	37.1	30.1 cm ² /m																																													
S _y	710	- cm ³ /m																																													
r _{s0}	15.0	- mm																																													
mass	96.7	- kg/m ²																																													
<p>Notes</p> <p>Results</p> <p>S_{el} = 3.70 ≥ 1.50</p> <p>S_{red} = 3.15 ≥ 1.50</p> <p>Good choice. ✓</p>																																															

7

VERIFICAÇÃO DE CAPACIDADE DE CARGA VERTICAL



VERIFICATION OF BEARING CAPACITY

Method: Pressure meter Ménard (acc. to French Fascicle 62 - Title V)

Notes:

Carga total = G = 157 kN/m (laje EL -1.50) + 62 kN/m (laje EL -5.17) + 60 kN/m (laje de enrocamento)
G = 259 kN/m

Section	King pile	AZ 12.700 - D	Type	Double pile	Classification acc. Fasc. 62	Sheet pile	-
	Intern. Pile	-					

System width: b = 1.400 m

Characteristics of King pile element

Point section (main section)	A = 0.167 m ² / elem.
Steel section (main section)	A' = 0.017 m ² / elem.
Lateral surface (main section)	P = 3.420 m ² / elem.
Steel grade	S 430 GP (for sheet piles only)
Yield point	σ_{py} = 430 N/mm ²

VERTICAL LOADS

$$F_{EL,5} = G_{dead} + G_{live} + Q_{sd} + Q_{pe} + Q_{ps} + F_{sd} + Q_{1k} + Q_{2k} + Q_{3k}$$

$$F_{EL,5} = 1.35 \cdot G_{dead} + G_{live} + 1.25 \cdot (Q_{sd} + Q_{pe} + Q_{ps} + Q_{1k} + \gamma_{pe} \cdot Q_{pe} + \gamma_{ps} \cdot Q_{ps} + F_{sd}) + \gamma_{D1} \cdot Q_{1k} + 1.3 \cdot \gamma_{D2} \cdot Q_{2k}$$

with	γ_{pe}	γ_{ps}	γ_{D1}	γ_{D2}	γ_{D3}	γ_{D4}
	1.00	1.20	1.20	1.50	0.77	0.77

LOAD SITUATIONS

LOAD SITUATIONS	Given loads per m ² of wall	kN/m	kN/Elem	MN/Elem
loads are multiplied by the system width				
Permanent	Permanent load, unfavourable	$G_{dead} =$	259	363
	Permanent load, favourable	$G_{dead} =$	0	0
	Static water pressure	$G_{pe} =$	0	0
	Negative soil friction	$G_{ps} =$	0	0
	Horizontal soil pressure	$Q_{sd} =$	0	0
	Hydrodynamic water pressure	$F_{sd} =$	0	0
Variable	Main load	$Q_{1k} =$	0	0
	Additional load	$Q_{2k} =$	0	0
	Other	$Q_{3k} =$	0	0
Service stage :		$F_{EL,5} =$	259	363
Ultimate load :		$F_{EL,5} =$	350	490

POINTE RESISTANCE :

Soil classification at pile toe:	Nature	Sand - Gravel, med dense	Class = B
Reduction coefficient	$q_{ps} = k_p \cdot s$		
Bearing capacity factor	$\rho_{ps} =$	0.30	
Point cross section	$k_p =$	3.70	
Considered section:	A =	0.167 m ²	
	$A_{red} =$	100 %	= 0.167 m ²
Limit pressure	$p_{ps} =$	2.00 MN/m ²	

$$Q_{ps} = p_{ps} \cdot A \cdot q_{ps}$$

Point resistance (per elem.) :	$Q_{ps} =$	0.370 MN
--------------------------------	------------	----------

SKIN FRICTION:

Reduction coefficient:	$\rho_{ps} =$	var.
Lateral surface:	P =	3.420 m ² /m
Embedment:	L =	var. m
Point resistance:	$p_{ps} =$	var. MN/m ²
Soil coefficient:	$q_{ps} =$	var. MN/m ²

$$Q_{fs} = \rho_{ps} \cdot P \cdot q_{ps}$$

Designation	Layer		Int. n	Lang. L	Rho ρ_{ps}	Lat. surf. P	Friction			
	Top [m]	Sp. [m]					Pointment s	Core [m]	q_{ps} [MN/m ²]	$q_{ps,red}$ [MN/m ²]
Sand - Gravel, med dense	-0.25	-11.00	0	1.77	0.50	100	1.20	G2	0.067	0.20
Sand - Gravel, med dense	-11.00	-12.00	0	1.00	0.50	100	2.00	G2	0.080	0.21

Considered friction length: 3.37 m Skin friction (per elem.) $Q_{fs,red} = 0.42$

Limit capacity

$$Q_{L} = Q_{ps} + Q_{fs}$$

$Q_{L} = 0.792 \text{ MN}$

Creeping load

$$Q_{C} = 0.7 \cdot Q_{ps} + 0.7 \cdot Q_{fs}$$

$Q_{C} = 0.554 \text{ MN}$

Ultimate limit state

$$Q_{max,EL,5} = Q_{L} / 1.40 \geq F_{EL,5}$$

$Q_{max,EL,5} = 0.566 \text{ MN} \geq 0.490 \text{ MN}$

Serviceability limit state

$$Q_{max,EL,5} = Q_{C} / 1.40 \geq F_{EL,5}$$

$Q_{max,EL,5} = 0.396 \text{ MN} \geq 0.363 \text{ MN}$

Lista de Materiais



Perfil	Grau de Aço	Largura	Massa	Comprimento da Estaca	Comprimento da Parede	Quantidade de Peças	Massa
--	--	mm	kg/m	m	m	unid.	ton.
AZ 12-700	S430GP	1400	135.4	12	245	175	284.34

Projetos Semelhantes



APÊNDICE 2 – FOTOS DA REFERIDA OBRA DO ESTUDO DE CASO



