

Maria de Fátima Alexandre Manjate

Avaliação da integridade das Estacas em Betão Armado
(Caso de Estudo: Reconstrução da Estrutura do Cais 6, 7 e 8 no Porto de Maputo)

Licenciatura em Engenharia de Construção Civil

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2022

Maria de Fátima Alexandre Manjate

Avaliação da integridade das Estacas em Betão Armado

(Caso de Estudo: Reconstrução da Estrutura do Cais 6, 7 e 8 no Porto de Maputo)

Licenciatura em Engenharia de Construção Civil

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia de Construção Civil da Faculdade de Engenharias e Tecnologia, Delegação de Maputo, para obtenção de grau académico de Licenciatura em Engenharia de Construção Civil Minor em Edifícios.

Supervisor:

Eng.º Eneas E. E. Arone

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2022

Índice

Lista de abreviaturas, siglas/acrónimos e símbolos	iii
Dedicatória.....	iv
Agradecimentos	v
Declaração de Honra.....	vii
Resumo	viii
Abstract.....	ix
1. Introdução	1
1.3. Justificativa.....	4
1.4. Hipóteses	6
1.5. Objectivos.....	7
1.5.1. Objectivo geral	7
1.5.2. Objectivos específicos	7
1.6. Questões científicas.....	8
1.7. Estrutura do Trabalho	9
Capítulo II.....	10
2. Fundamentação Teórica	10
2.1. Fundações.....	10
2.1.1. Classificação das Fundações	11
2.1.1.1. Fundações Superficiais (Rasas ou Directas)	11
2.1.1.2. Fundações Profundas ou Indirectas.....	11
2.2. Estacas.....	12
2.2.1. Classificação das Estacas	12
2.3. Estacas Moldadas	14
2.3.1. Tubo Molde ou Camisa Metálica	14
2.3.2. Betão.....	14
2.4. Ensaio de Integridade	15

Capítulo III.....	16
3. Metodologia	16
3.1. Método de abordagem.....	16
3.2. Método de Procedimento	17
3.3. Aspectos éticos observados durante a realização da pesquisa	18
Capítulo IV.....	19
4. Estudo de caso.....	19
4.1.1. Descrição do Local de Estudo	19
4.1.2. Área geográfica da investigação	20
4.1.3. Descrição do Projecto de Execução.....	20
4.2. Etapas do Projecto	22
4.2.1. Execução de Estacas.....	22
4.2.1.1. Fluxograma de Execução da Actividade	23
4.2.1.2. Transporte e Descarga de tubo molde	24
4.2.1.3. Cravação do tubo molde.....	25
4.2.1.4. Furação e Limpeza	26
4.2.1.5. Colocação da Armadura	26
4.2.1.6. Betonagem da Estaca	27
4.2.1.7. Corte do Tubo ascendente e Saneamento da Estaca	29
4.1.3.1. Avaliação não destrutiva das Estacas de Betão Armado (PDA e PIT)	31
4.1.4. Avaliação da Integridade das Estacas através do PIT – Ensaio Sónico	34
4.1.4.1. Histórico do Ensaio de Integridade	34
4.1.1.2. Descrição do Equipamento.....	35
4.2. Ensaio Sónico.....	35
4.2.1. Metodologia do Ensaio Sónico	36
4.2.2. Preparação da Superfície da Estaca.....	37
4.2.3. Operação de Certificação e Garantia de qualidade	38

4.2.4. Dados para Realização do Ensaio Sónico	39
4.2.5. Concepção e Realização do Ensaio	39
4.2.5.1. Velocidade de Propagação da Onda.....	40
4.2.5.2. Tempo de Propagação da Onda.....	41
4.2.5.3. Distância da anomalia ao topo da estaca.....	42
4.2.5.3.1. Reflexão das Ondas Sónicas quando há Variação da Secção das Estacas	43
4.2.6. Vantagens, Desvantagens, Aplicações e Limitações do Ensaio Sónico	44
4.2.7. Normatização	48
4.2.7.1. Conferência Técnicas do PIT	49
4.3. Interpretação dos Resultados	49
4.4.1. Características das Estacas Submetidas ao Ensaio.....	51
4.4.1.1. Localização das Estacas Submetidas ao Ensaio	52
4.4.2 Análise de Dados	53
4.4.3. Carotagem	55
4.5. Outras Técnicas de Monitorização, Controlo de Qualidade e Avaliação da Integridade das Estacas de Betão Armado	57
CAPÍTULO V	59
5. Conclusões e sugestões	59
5.1. Conclusão.....	59
5.2. Sugestões.....	60
6. Bibliografia	61

Lista de figuras

Figura 1: Localização da área de estudo (Vista satélite dos cais 6, 7 e 8 no Porto de Maputo, Fonte: Google Maps 2018)	20
Figura 2: Projecto de Construção (Fonte: MEECA, 2020).....	22
Figura 3: Resumo do cronograma de actividade (Fonte: MEECA, 2020).....	22
Figura 4: Utilização dos acessórios de elevação para movimentação dos tubos	24
Figura 5: Transporte, descarga e colocação na guia da cravação de tubo molde ou camisa metálica (Fonte: MEECA e Autor deste trabalho, 2020).....	24
Figura 6: Cravação de tubo molde ou camisa metálica perdida (Fonte: Autor deste trabalho)	25
Figura 7: Furação e limpeza da estaca com equipamento da Soilmec SR70 (Fonte: MEECA, 2020)	26
Figura 8: Colocação da armadura na estaca (Fonte: Autor deste trabalho, 2020)	27
Figura 9: Espaçadores na armadura (Fonte: Autor deste trabalho).....	27
Figura 10: Betonagem submersa de estaca e janela feita na estaca betonada (Fonte: MEECA / Autor deste trabalho, 2019-2020)	28
Figura 11: Corte do tubo/Camisa metálica da estaca (Fonte: Autor deste trabalho, 2020)	29
Figura 12: Saneamento da Estaca (Fonte: Autor deste trabalho).....	30
Figura 13: Representação esquemática do ensaio PDA, Fonte: Adaptado Hertlein e Davis (2006).....	33
Figura 14: Representação esquemática do ensaio PIT, Fonte: Adaptado Hertlein e Davis (2006)	34
Figura 15: Equipamentos PIT, (Fonte: Piletest e Pile Dynamics Inc. e Google imagens)	35
Figura 16: Metodologia de Ensaio e Equipamento, (Fonte: ECM 2019)	36
Figura 17: Preparação da Superfície da Estaca (Fonte: PDI Engenharia, acesso: 2022).....	38
Figura 18: Estaca com Superfície Preparada para o ensaio (Fonte: Autor deste trabalho).....	38
Figura 19: Dados para auxiliar na realização do ensaio sónico (Fonte: Autor deste trabalho)	39
Figura 20: Equipamento e detalhes de utilização do equipamento de ensaio sónico (Fonte: PDI à esquerda e Autor deste trabalho à direita).....	40
Figura 21: Figura 21: Registo de um ensaio sónico com execução de 3 pancadas (à esquerda) e esquema explicativo da imagem obtida no visor (à direita), (Fonte: Penteadó e Brito 2009)	41

Figura 22: Variação de secção da estaca: diminuição (à esquerda) e alargamento (à direita, (Fonte: Penteadó e Brito, 2009).....	43
Figura 23: Reflexão das ondas sónicas quando ocorre a fractura total da estaca (Fonte: Penteadó e Brito, 2009)	44
Figura 24: Defeitos detectáveis pelo ensaio de integridade (retirado de: Penteadó & Brito, 2009).	46
Figura 25: Defeitos não detetáveis pelo ensaio de integridade (Fonte: Retirado de: Da Rocha (2014/2015), Turner, 1997).....	47
Figura 26: Execução dos Ensaios de Integridade (Fonte: Autor deste trabalho).....	51
Figura 27: Projecto de fundação ilustrando parte parcial do Cais 7 à direita e do Cais 8 à esquerda, localização das 22 estacas ensaiadas nesta campanha.	52
Figura 28: Classificação de integridade das estacas submetidas ao Ensaio Sónico (Fonte: ECM, 2020)	54
Figura 29: Execução de Carotes à esquerda e amostragem de carotes à direita (Fonte: Autor deste trabalho).....	56
Figura 30: Selagem da Estaca com grout à esquerda e Colocação da Armadura à direita (Fonte: Autor deste trabalho).....	56

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação das Estacas	13
Tabela 2: Relação dos Países com as suas respectivas normas (retirado de Mucheti 2008). ..	48
Tabela 3: Conferências Internacionais realizadas, número de artigos gerais e números de artigos relacionados com o PIT (Retirado de Mucheti, 2008).	49
Tabela 4: Classificação adaptada a partir da classificação da GRL Engineering (Fonte: ECM 2019)	50
Tabela 5: Resumo das características das estacas a ensaiar (Fonte: Autor deste trabalho)	53

Lista de gráficos

Gráfico: 1 - Amostragem Percentual das Estacas Ensaaiadas, Segundo Classificação (Fonte: Autor deste trabalho).....	55
---	----

Lista de abreviaturas, siglas/acrónimos e símbolos

MEECA	Mota-Engil Engenharia e Construção África
ECM	Engenheiros Consultores de Moçambique
PIT	Pile Integrity Test
PDA	Pile Driving Analyzer
NBR	Norma Brasileira
TMR	Tubo Moldador Recuperável
TMP	Tubo Moldador Perdido
ZH	Zero Hidrográfico
mZH	Metros Zero Hidrográfico
CCTV	Closed-Circuit Television (Circuito Fechado de Televisão)
Ha	Hectare
Ton	Tonelada
mm	Milímetros
m	Metros
m/s	Metro por Segundo
un	Unidade
Km	Kilometro
A	Área da Seccção da Estaca
C	Velocidade de Propagação da Onda
ρ	Massa Volúmica do Betão
E	Módulo de Elasticidade
T	Tempo de Propagação da Onda
L	Distância do Topo da Estaca até a Ponta – Comprimento da Estaca
L'	Distância da Anomalia Encontrada
Z	Impedância
g	Gravidade
γ	Densidade do material da Estaca

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu filho, Blessed Natu!

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus que sempre me sustentou ao longo de todos estes anos com sua infinita misericórdia e graça. A Ele toda honra e glória.

Aos meus Pais Alexandre Manjate e Carolina Bahane por me permitirem ter a maior bênção e melhor presente que os pais podem proporcionar aos seus filhos, a Educação.

A minha amada Avó Maria de Fátima Alexandre Pelembe, a quem prometi alavancar o nome e fazer valer todo esforço dedicação por mim e pelos meus irmãos no processo de ensino e aprendizagem.

Á minha tia Judite e Isabel por apostar em mim mesmo em meio a tantas adversidades.

Ao meu esposo Arlindo Natu pelo apoio incondicional e suporte na minha formação académica.

Ao Eng. Eneas Arone, por me conduzir nesta aventura investigativa e pela sua contribuição e supervisão na realização deste trabalho e por me permitir aprender, trabalhar ao seu lado e por me ajudar a esclarecer minhas dúvidas aquando da concretização deste sonho.

Ao Mestre Abdul Magide, pelos incansáveis deadlines e chamadas de atenção para que eu elaborasse esse trabalho.

Aos meus irmãos: Sancho, Ester Estrela, Joana, Teresa, Augusto, Cleide, Larissa, Stela (Em memória), Joana e Joaquim, aos meus primos, tios, sobrinhos Artur e Nyelete, afilhados, por vocês procuro sempre ser e fazer o melhor para que o vosso espelho seja também motivo de orgulho.

Aos colegas da obra de Reconstrução da Estrutura do Cais 6, 7 e 8 no Porto de Maputo, em especial ao Eng. João Pedro Santos pelo suporte não só na realização deste trabalho, mas na minha carreira profissional.

Um agradecimento super especial a Nádía Gina Nhantumbo Nota, aos colegas Ana Elsa Bene, David Mazive e aos demais estudantes da primeira turma do período laboral de Engenharia de Construção Civil Minor em Edifícios.

Por fim, a todos os meus amigos que estiveram presentes nesses anos, em especial a Assucena, Jossias, Euler e todos que contribuíram directa ou indirectamente para realização deste trabalho: Muito obrigada. Sempre me lembrarei de cada um de vocês e desejo sejam muito felizes em tudo o que fizerem.

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que este trabalho é resultado da minha pesquisa pessoal e das orientações do meu docente, feita segundo os critérios em vigor na Universidade Pedagógica de Maputo. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto e na Bibliografia.

Declaro também que este trabalho não foi apresentado em nenhuma Instituição para obtenção de qualquer Grau Académico.

Maputo, 2022

(Maria de Fátima Alexandre Manjate)

Resumo

Uma das maiores preocupações e dificuldades da engenharia reside na avaliação do desempenho das fundações de forma a garantir segurança e confiabilidade na obra a realizar. Sendo a fundação uma parte essencial na funcionalidade de uma estrutura é de extrema importância realizar o controlo da qualidade e capacidade desta, de modo a assegurar uma perfeita transmissão das cargas ao solo e mitigar eventuais problemas que possam surgir durante a construção e execução da obra, evitando danos ao longo do tempo de vida útil da estrutura.

Diante deste cenário e para mitigar a ocorrência do evento acima descrito, o ensaio dinâmico de baixa deformação, PIT, é uma indispensável ferramenta para obtenção de um maior controlo de qualidade e avaliação da integridade das estacas na empreitada de Reconstrução da Estrutura do Cais 6, 7 e 8 no Porto de Maputo, pois com essa ferramenta é possível detectar danos ao longo do fuste da estaca, permitindo assim a identificação e correcção de possíveis danos ainda na fase de execução.

O estudo de caso relata a execução de ensaios PIT realizados na empreitada em epigrafe num total de 876 estacas de Betão Armado moldadas *in situ*, onde foram escolhidas 22 estacas para fundamentar o objectivo deste estudo.

Palavras-Chave: *Fundações; Estacas de Betão Armado; Avaliação da integridade através de PIT.*

Abstract

One of the biggest concerns and difficulties of engineering lies in evaluating the performance of foundations to guarantee safety and reliability in the work to be carried out. Since the foundation is an essential part of the functionality of a structure, it is extremely important to control its quality and capacity, to ensure a perfect transmission of loads to the ground and to mitigate any problems that may arise during the construction and execution of the work, avoiding damage over the lifetime of the structure.

Given this scenario and to mitigate the occurrence of the event described above, the dynamic low deformation test, PIT, is an indispensable tool to obtain greater quality control and assessment of the integrity of the piles of the contract for the Reconstruction of the Structure of Berth 6, 7 and 8 in the Port of Maputo, as with this tool it is possible to detect damage along the shaft of the pile, thus allowing the identification and correction of possible damages still in the execution phase.

The case study reports the execution of PIT tests carried out in the above-mentioned contract in a total of 876 reinforced concrete piles cast in situ, where 22 piles were chosen to support the objective of this study.

Key words: *Foundations; Reinforced Concrete Piles; Integrity assessment through PIT*

1. Introdução

O crescimento dos centros urbanos e industriais conduz a construção de obras cada vez maiores, tendo que transmitir cargas ao solo e, portanto, apresentado desafios crescentes à engenharia de fundações.

As fundações são parte fundamental de uma construção, sendo estas as responsáveis por transmitir cargas da estrutura para o solo.

De acordo com Tavares (2016), com o desenvolvimento industrial e avanço tecnológico dos últimos séculos, as soluções de fundações têm vindo a desenvolver-se, apresentando um leque diverso de metodologias. Após as construções executadas sobre estacas de madeiras para evitar que as casas fossem arrastadas pelas águas dos rios (as palafitas), os métodos evoluíram, passando para estruturas de metais e mais recentemente passaram-se a realizar estacas de betão armado.

Segundo Senhorini (2017), as estacas em betão armado são amplamente utilizadas na construção civil podendo estas serem moldadas in situ ou ainda pré-fabricadas e posteriormente cravadas no solo. Durante o processo de execução das estacas, podem surgir danos ao longo do fuste devido a falhas de execução que, se não detectados previamente, podem vir comprometer parcial ou totalmente estes elementos de fundação e consequentemente toda a edificação.

Diante disso, o ensaio dinâmico de baixa deformação, ou PIT, apresenta-se como uma valiosa ferramenta para a obtenção de um maior controle de qualidade do estaqueamento. Com este ensaio é possível detectar danos ao longo do fuste da estaca, permitindo assim a identificação e correção de possíveis danos ainda na fase de execução.

Conforme afirma Guedes et. al. (2018), esse ensaio é realizado a partir do impacto de um martelo na cabeça da estaca instrumentada com um acelerômetro. O golpe gera uma onda de tensão que se propaga por todo o fuste do elemento com uma velocidade que depende das características do material da estaca. Ao se propagar, a onda sofre reflexões em seu percurso. Essas reflexões devem ser analisadas, podendo significar variação do material da estaca (como intrusão de solo no betão ou vazios significativos no elemento).

O presente trabalho tem por objectivo estudar a fundamentação teórica do ensaio PIT (Ensaio de Integridade da Estaca), suas vantagens e exemplificar a aplicação deste ensaio através de um estudo de caso realizado na empreitada de reabilitação e reconstrução da estrutura do cais 6,7 e 8 do Porto de Maputo comparado com a bibliografia para sustentar a coerência dos resultados obtidos.

1.1. Problema

Em qualquer obra, a fundação é o item que suporta toda a carga estrutural e a transmite ao terreno. Erros na escolha, no dimensionamento ou na execução das fundações podem gerar transtornos e riscos, além do alto custo para reforços e reparos.

Segundo Sinhorini (2017), as fundações profundas, em particular as estacas de betão, são amplamente utilizadas na construção civil, sendo estas moldadas in situ ou ainda pré-fabricadas e posteriormente cravadas no solo por meio de equipamento bate estaca. Porém, durante o processo de execução da fundação em estacas, sejam as moldadas no local ou as pré-moldadas, podem ocorrer danos que, se não devidamente detectados podem vir a comprometer totalmente a construção e por consequência, todo o investimento empregado.

Após a conclusão do estaqueamento de uma obra, é necessário verificar se as estacas atendem às especificações de projecto.

Mediante este cenário levanta-se a seguinte questão:

- *Até que ponto o ensaio dinâmico de baixa deformação ou PIT, pode auxiliar ou ser aplicado na avaliação da integridade da estaca de betão armado e no controlo de qualidade da mesma.*

1.3. Justificativa

Em 2020 o autor deste trabalho teve a oportunidade de acompanhar de perto as obras de ampliação da estrutura do cais 6, 7 e 8 do porto de Maputo, onde apesar de ter estudado sobre fundações por estacas nas cadeiras de Betão I e II, deparou com uma situação em particular que despertou sua atenção, o processo de execução de estaca de betão armado com tubo molde não recuperável, vulgarmente chamado de cofragem com camisas metálica protectora perdida que antes não conhecia.

Para a garantia da obediência aos padrões de qualidade exigidos, neste processo de execução de estacas, foi utilizado o ensaio dinâmico de baixa deformação conhecido como PIT (Pile Integrity Test) para avaliar a sua integridade.

A norma NBR 6122:2010, sugere que sejam executados ensaios para a verificação do desempenho das fundações, como a capacidade de carga bem como a integridade das estacas. A capacidade de carga é verificada pelos ensaios de carregamento estático e dinâmico de alta deformação (PDA), porém, além destes ensaios possuem um custo elevado, costumam causar dificuldade de movimentação dos equipamentos dentro do estaleiro de obra.

Diferentemente, o ensaio dinâmico de baixa deformação, ou PIT, apresenta-se como uma boa alternativa, principalmente pela facilidade de execução e custo inferior aos ensaios estáticos ou até mesmo dos dinâmicos de alta deformação, sendo que o PIT fornece apenas a verificação da integridade do fuste da estaca, não excluindo a necessidade de execução de ensaios que verifiquem a capacidade de carga.

De acordo com Sinhorini (2017), O PIT além de ser um ensaio não destrutivo, ou seja, não danifica a estrutura durante a execução de ensaio, permite que uma grande quantidade de estacas seja ensaiada e verificada no mesmo dia, e caso haja alguma suspeita maior quanto a determinada estaca, aplica-se o ensaio estático ou dinâmico de alta deformação.

Por esse motivo, o estudo do ensaio PIT como ensaio para avaliação de estacas torna-se de grande importância uma vez que o mesmo torna possível a identificação e a correção de possíveis danos ou defeitos ainda na fase de execução das fundações da obra.

Este trabalho justifica-se também pela vontade do autor de compreender as limitações e as simplificações que são adoptadas durante processo de modelagem do solo-estaca, através dos conhecimentos adquiridos durante a formação e na participação do projecto de reconstrução e

ampliação do Cais 6,7 e 8 do Porto de Maputo, onde foram ensaiadas mais de 600 estacas de betão armado.

1.4. Hipóteses

Tendo em conta os problemas em questão, consideram-se as seguintes hipóteses:

H1: A aplicação do ensaio dinâmico de baixa deformação será viável para avaliação da integridade das estacas de betão armado.

H2: O ensaio de integridade é determinante para melhoria e controlo de qualidade das estacas de betão armado.

H3: O correcto preparo das estacas de betão armado tem influência na determinação do resultado do ensaio de integridade.

1.5. Objectivos

1.5.1. Objectivo Geral

- Estudar a avaliação da integridade das estacas em betão armado na reabilitação da estrutura do cais 6, 7 e 8 do Porto de Maputo.

1.5.2. Objectivos Específicos

- Compreender os fundamentos teóricos do ensaio de integridades das estacas;
- Mostrar resultados obtidos das estacas submetidas ao ensaio de integridade, no caso de estudo – Cais 6,7 e 8 do Porto de Maputo;
- Citar as vantagens, desvantagens e limitações do ensaio de integridade nas estacas;
- Comparar com base na teoria o ensaio dinâmico de baixa deformação com o ensaio dinâmico de alta deformação.

1.6. Questões Científicas

Q1. Será viável a aplicação do ensaio PIT para avaliar a integridade das estacas?

Q2. Que influências trará a aplicação do ensaio de integridade na determinação do controlo e melhoria de qualidade das estacas de betão armado do Cais 6, 7 e 8 do Porto de Maputo?

Q3. Que influências o correcto preparo da estaca tem no resultado final do teste de integridade das estacas de betão armado?

1.7. Estrutura do Trabalho

Capítulo I: **Introdução** – Páginas 1 a 8

Capítulo II: **Fundamentação Teórica** – Páginas 10 a 14

Capítulo III: **Metodologia** – Páginas 15 a 16

Capítulo IV: **Estudo do caso e Análise de Resultados** – Páginas 17 a 59

Capítulo V: **Conclusão e Recomendações** – Página 60 a 61

Capítulo II

2. Fundamentação Teórica

Para sustentar a pesquisa e o estudo feito e compreender melhor o tema em causa, foram consultados livros, artigos e sites electrónicos, onde se pautou pelos autores que mais se destacaram na abordagem do tema Avaliação de integridade das estacas de betão armado e suas componentes.

2.1. Fundações

As fundações são um conjunto de elementos estruturais essenciais em qualquer projecto de Engenharia Civil, com objetivo de transferir com segurança ao exterior as cargas procedentes da construção e garantir a estabilidade global do conjunto, (Martinho 2017).

Fundações são os elementos estruturais com função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apoia” (AZEREDO, 1977, p. 29). Dessa forma, os elementos das fundações devem ser escolhidos e dimensionados para suportar as cargas geradas pelos esforços solicitantes da edificação.

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2005), "fundações são a base sólida de toda construção civil". Os cuidados com sua execução são de primordial importância para obter-se uma obra segura, estável e de qualidade. Desde os estágios iniciais da construção civil, as fundações atuam como o alicerce para que o restante da obra possa se desenrolar sem demais complicações.

Estas definições fundamentam a importância do estudo das fundações, pois elas são o equilíbrio que precisamos ter para manter nossa estrutura resiliente devido a sua principal função que é de dissipar toda a carga proveniente da edificação em uma camada resistente do solo, trabalhando em conjunto.

Martinho (2017), ainda salienta que, A selecção do tipo de fundação a adoptar para uma dada construção depende essencialmente:

- Da grandeza das cargas a transmitir ao terreno;
- Da profundidade a que se encontra o estrato rígido do solo com adequada resistência e deformabilidade;
- Das dimensões das sapatas compatíveis com o carregamento;

- Da capacidade de carga do terreno;
- Da homogeneidade do solo.
- Do tipo de superestrutura e dos assentamentos admissíveis (totais e diferenciais);
- Das estruturas vizinhas;
- Dos prazos e custos de execução.

A qualidade das fundações deve iniciar-se com a escolha da melhor solução, passando pelo projecto executivo e finalizando com o controle da execução desse projecto.

2.1.1. Classificação das Fundações

Os tipos de fundações existentes são classificados como directas ou superficiais e indirectas ou profundas.

2.1.1.1. Fundações Superficiais (Rasas ou Directas)

De acordo com norma NBR 6122:2010, as fundações rasas são aquelas nas quais a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão em planta da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.

2.1.2.2. Fundações Profundas ou Indirectas

Ainda de acordo com a norma NBR 6122:2010, as fundações profundas são aquelas que transmitem as cargas ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou pela superfície lateral (resistência de fuste) ou ainda por uma combinação das duas. Ainda segundo a norma NBR 6122:2010, este tipo de fundação deve ainda estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo a 3 m em relação do nível do terreno. Incluem-se neste tipo de fundação as estacas e os tubulões.

Segundo Pereira e Lopes, Rebello (2008), para profundidades superiores a dois metros, são consideradas fundações profundas, onde são utilizadas peças chamadas estacas para a realização da fundação. As cargas desse tipo de fundação são transmitidas ao solo principalmente por atrito lateral à estaca e deve ter profundidade maior que três metros. Também são caracterizadas por terem grande comprimento em relação à seção transversal.

As fundações profundas são muito utilizadas em obras de grande porte por possuírem uma maior capacidade de carga e funcionarem também em solos de baixa resistência. A opção mais utilizada neste tipo de fundações são as estacas.

2.2. Estacas

De acordo com a NBR 6122/2010, Estaca é um elemento de fundação profunda executado com o auxílio de ferramentas ou equipamentos sem que haja descida de operário em qualquer fase de execução (cravação a percussão, prensagem, vibração, ou por escavação, etc), podendo ser constituído de madeira, aço, betão, etc. Senhorini (2017), salienta que são caracterizadas pela solicitação tanto da resistência lateral quanto de ponta. Estes elementos podem ainda ser fabricados com diferentes materiais, tais como o aço, madeira, betão ou ainda de forma mista entre os materiais citados.

De acordo com Francisco (2007), as estacas são em geral elementos com secção circular, que transmitem as cargas vindas da superestrutura através de atrito lateral ou através da sua ponta. Podem ser moldadas ou cravadas, conforme o seu método de execução. As estacas moldadas são em betão e executadas *in-situ*, enquanto as cravadas são pré-fabricadas, sendo depois levadas para estaleiro e então inseridas no terreno. Neste momento as estacas moldadas são as mais utilizadas, dadas as suas vantagens ao nível do processo construtivo, como as menores vibrações e ruídos.

2.2.1. Classificação das Estacas

As estacas podem ser classificadas considerando o comportamento e o modo de funcionamento; o efeito no solo envolvente, processo de execução e o material de que são constituídas, conforme o disposto na tabela a seguir:

Tabela 1: Classificação das Estacas

Efeito no solo envolvente	Processo de execução	Material usado
Grande deslocamento (sem extracção de solo)	Pré-fabricada e cravada	Peça sólida: <ul style="list-style-type: none"> • Madeira • Betão armado
		Peça tubular obturada na ponta: <ul style="list-style-type: none"> • Tubos metálicos • Tubos em betão
	Moldada “in-situ”	<ul style="list-style-type: none"> • Betão - Tubo moldador recuperável (TMR) obturado na ponta - Tubo moldador perdido (TMP)
Pequeno deslocamento (sem extracção do solo)	Pré-fabricada e cravada	Perfis metálicos: <ul style="list-style-type: none"> • Secções H, I; • Tubos metálicos abertos na ponta
		Estacas helicoidais com elementos metálicos
Sem deslocamento (com extracção de solo)	Moldada “in-situ” com sustimento provisório	Betão com tubo moldador perdido (TMP) não obturado na ponta
		Betão com: <ul style="list-style-type: none"> • Molde recuperável (TMR) não obturado na ponta; • Lamas bentoníticas ou polímeros
	Moldada “in-situ” sem sustimento provisório	Betão (trado contínuo)

2.3. Estacas Moldadas

De acordo com a norma NBR 6122:2010, estacas moldadas de betão *in situ* são estacas executadas preenchendo-se, com betão ou argamassa, perfurações previamente executadas no terreno.

As estacas moldadas executadas com tubo moldador podem ser de dois tipos, com extração de terreno e sem extração de terreno.

Segundo Martinho (2017), as estacas moldadas com extração do terreno o tubo moldador é cravado no terreno e efetuada a remoção do solo existente no interior do referido tubo. A estaca moldada sem extração do terreno é executada a obturação na parte inferior do tubo moldador através da aplicação de um “rolhão” de betão ou recorrendo a outro qualquer artifício.

Existem ainda duas alternativas para cada um dos casos atrás descritos, com o tubo moldador a ser retirado do terreno ou considerado como um elemento perdido.

Este tipo de metodologia é aplicado essencialmente em solos muito pouco coesivos, com nível freático elevado e onde existe a possibilidade de percolação, mas também é adequada para solos pedregosos. O comprimento da estaca pode variar entre 40 e 80 m.

2.3.1. Tubo Molde ou Camisa Metálica

São fabricados de chapas de aço, altamente adequados para obras em águas e terra firme, oferecem diferentes aplicações de projetos de fundação.
<https://compraco.com.br/collections/camisas-metalicas-e-tubuloes> - 03/05/2022 14:24h

2.3.2 Betão

Segundo Barbosa (2013), o betão é composto pela mistura devidamente proporcionada de agregados (brita e areia), cimentos, adições (pozolanas, cinzas ou fílleres), água e adjuvantes (quando necessários). Estes componentes, quando combinados, formam uma pasta que endurece, conferindo à mistura níveis de coesão e resistência que possibilitam a sua utilização como material de construção.

De acordo com Almeida (2002), betão é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se processam entre aglomerante e água. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas.

2.4. Ensaio de Integridade

Os testes de integridades são métodos não destrutivos que permitem inferir quanto à qualidade de estacas moldadas in situ ou pré-moldadas de betão, uma vez que valida a integridade do fuste do elemento sem a necessidade do seu comprometimento através de destruição.

Capítulo III

3. Metodologia

O presente trabalho baseou-se em uma pesquisa bibliográfica, onde foram estudadas as fundações profundas ou indirectas, especificamente as estacas de betão armado moldadas *in situ*, dando ênfase a avaliação da integridade das estacas de betão armado, a fim de se justificar e embasar o estudo.

Para tornar possível as realizações deste trabalho foram definidas os seguintes métodos de pesquisa: **método de abordagem** e quanto ao tipo a pesquisa é mista, enquadra-se nos três grupos, nomeadamente: Exploratória, Descritiva e Explicativa e **método de procedimento**.

3.1. Método de Abordagem

- **Qualitativa**

Segundo Silveira e Córdova (2009), As características da pesquisa qualitativa são: objetivação do fenômeno; hierarquização das ações de descrever, compreender, explicar, precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno; observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural; respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos; busca de resultados os mais fidedignos possíveis; oposição ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências.

- **Pesquisa Exploratória**

Este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A grande maioria dessas pesquisas envolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão (GIL, 2007).

Essas pesquisas podem ser classificadas como: pesquisa bibliográfica e estudo de caso (GIL, 2007).

- **Pesquisa Descritiva**

De acordo com Gerhardt e Silveira, Gil (2007), pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade. São exemplos de pesquisa descritiva: estudos de caso, análise documental, pesquisa ex-post-facto. (Triviños, 1987).

- **Pesquisa Explicativa**

Segundo Gil (2007, p. 43), Este tipo de pesquisa preocupa-se em identificar os factores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, ou seja, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos.

Uma pesquisa explicativa pode ser a continuação de outra descritiva, posto que a identificação de factores que determinam um fenômeno exige que este esteja suficientemente descrito e detalhado.

3.2. Método de Procedimento

- **Pesquisa Bibliográfica**

Segundo Fonseca (2002), A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém, pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta.

- **Pesquisa Documental**

De acordo com Fonseca (2002), A pesquisa documental trilha os mesmos caminhos da pesquisa bibliográfica, não sendo fácil por vezes distingui-las. A pesquisa bibliográfica utiliza fontes constituídas por material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos localizados em bibliotecas. A pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc.

3.3. Aspectos éticos observados durante a realização da pesquisa

A realização deste trabalho respeitará todos critérios plasmados nas normas dos trabalhos científicos da Universidade Pedagógica de Maputo. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto e na Bibliografia.

Capítulo IV

4. Estudo de caso

Um estudo de caso pode ser caracterizado como um estudo de uma entidade bem definida como um programa, uma instituição, um sistema educativo, uma pessoa, ou uma unidade social. Visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico. O pesquisador não pretende intervir sobre o objeto a ser estudado, mas revelá-lo tal como ele o percebe. O estudo de caso pode decorrer de acordo com uma perspectiva interpretativa, que procura compreender como é o mundo do ponto de vista dos participantes, ou uma perspectiva pragmática, que visa simplesmente apresentar uma perspectiva global, tanto quanto possível completa e coerente, do objeto de estudo do ponto de vista do investigador (FONSECA, 2002).

4.1.1. Descrição do Local de Estudo

O Porto de Maputo está localizado a sudoeste de Moçambique e a sul do canal de Moçambique. Está situado na margem esquerda do rio Matola e é composto por duas importantes áreas, nomeadamente, o Porto Comercial de Maputo e o complexo industrial da Matola.

O acesso ao porto é feito através de dois canais, nomeadamente, o da Xefina e o da Polana, cujas extensões são, respectivamente, 9,3 km e 7,5 km. Estes canais têm uma profundidade entre 11 e 14 metros. O acesso ao Cais de Minério da Matola é feito através do canal do mesmo nome, com uma extensão de 3.100 metros e uma profundidade de nove metros, em condições normais, e 12,9 metros durante as marés vivas.

O Porto de Maputo é composto pelos terminais de Pesca, de Cabotagem, de Carga Geral, de Carvão, de Fruta, de Açúcar, de Contentores, de Aço e ainda tanques de melaço, com um comprimento de cerca de 3.876 metros. Por seu turno, o Cais de Minério é composto pelos terminais de Carvão, de Petróleos, de Cereais e de Alumínio, com um comprimento global de 865 metros.

Actualmente, o Porto de Maputo possui uma capacidade global de manuseamento de carga de aproximadamente 17.000.000 toneladas métricas por ano.

Informação tirada do: <https://www.cfm.co.mz/index.php/pt/infraestruturas/porto-de-maputo>
04/05/2022 12:28h

4.1.2. Área Geográfica da Investigação

O cais 6, 7 e 8 está localizado no interior das instalações do porto de Maputo na província de Maputo.

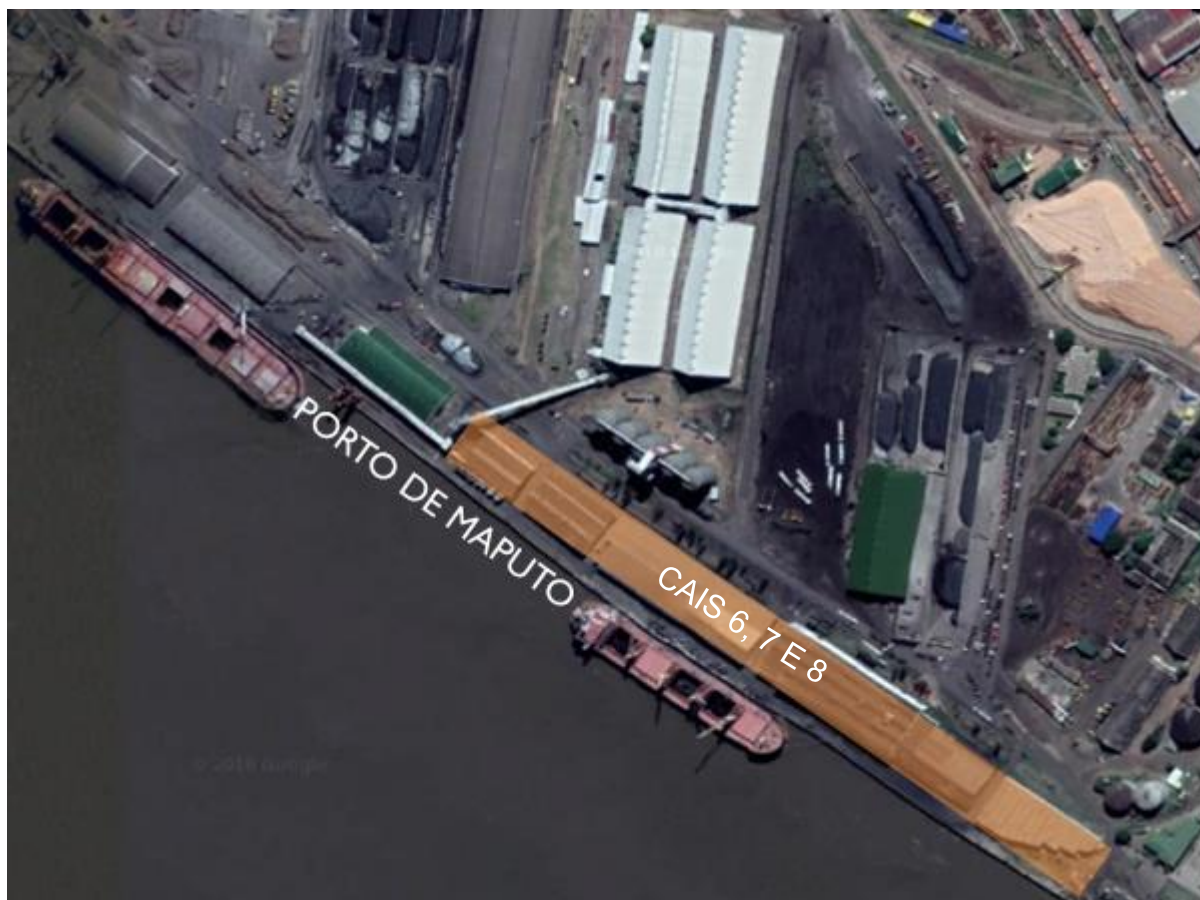


Figura 1: Localização da área de estudo (Vista satélite dos cais 6, 7 e 8 no Porto de Maputo, Fonte: Google Maps 2018)

4.1.3. Descrição do Projecto de Execução

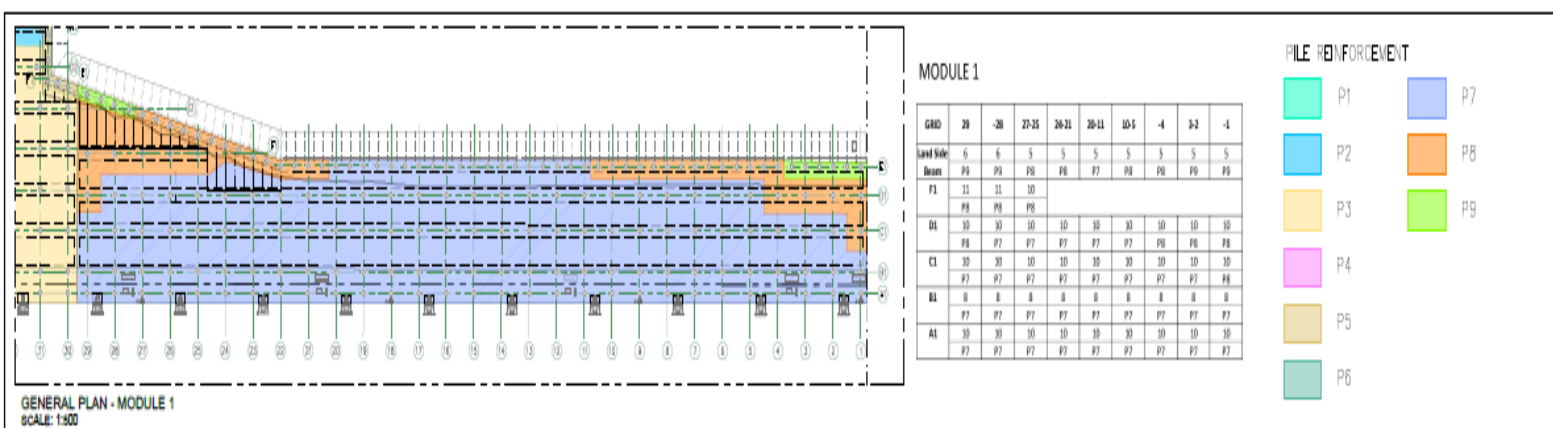
Os cais existentes 6, 7 e 8 do Porto de Maputo são estruturas de cais sobre estacas construídas entre 1911 e 1951, com uma profundidade de projecto que varia entre -8,00m (ZH) e -12,0 m (ZH). Ao longo do cais, a cerca de 20 m de distância da linha de cais, existiam muitos armazéns que estavam em mau estado, e ainda em uso. Dentro da área de intervenção, há uma linha férrea e uma área verde ao lado da estrada principal porto, que constitui o limite da área de trabalho.

Para concluir o Projecto é necessária a demolição de estruturas de edifícios e cais existente para construção de um cais aberto sobre estacas com um comprimento de 623,38 m, à cota de serviço de -16mZH_-18mZH, que permite a atracagem de navios de maior calado.

Além da execução de infra-estruturas marítimas, estão previstas a execução de infraestruturas de terra, pavimentos com todas as infra-estruturas de drenagem, electricidade, CCTV e água, com linha férrea dupla incluída.

Principais Quantidades:

- Comprimento do Cais: 623.38m.
- Área de Cais: 26.000m² – 2.6ha.
- Área de Pavimentos: 26466m² – 2.65ha.
- Cota do Cais no final da obra: -16m zh (podendo expandir para -18m).
- Estacas em betão: 876 unidade, 40m aproximadamente 35km.
- Betão: 65000 m³ c35/45 xs3(p) s4 d22mm
- Armadura: 7510.10ton.
- Extensão das estacas prancha: 530m; 3100ton.
- Dragagem - 50475 m³.
- Tabuleiro – 71 módulos.
- Acessórios de cais:
 - 1) Cabeços de amarração 125 ton – 29 un;
 - 2) Defensas snr 1300 – 38 un.
- Via-férrea betonada – 570.
- Infraestruturas:
 - 1) Abastecimento água;
 - 2) Drenagem;
 - 3) Instalações eléctricas.

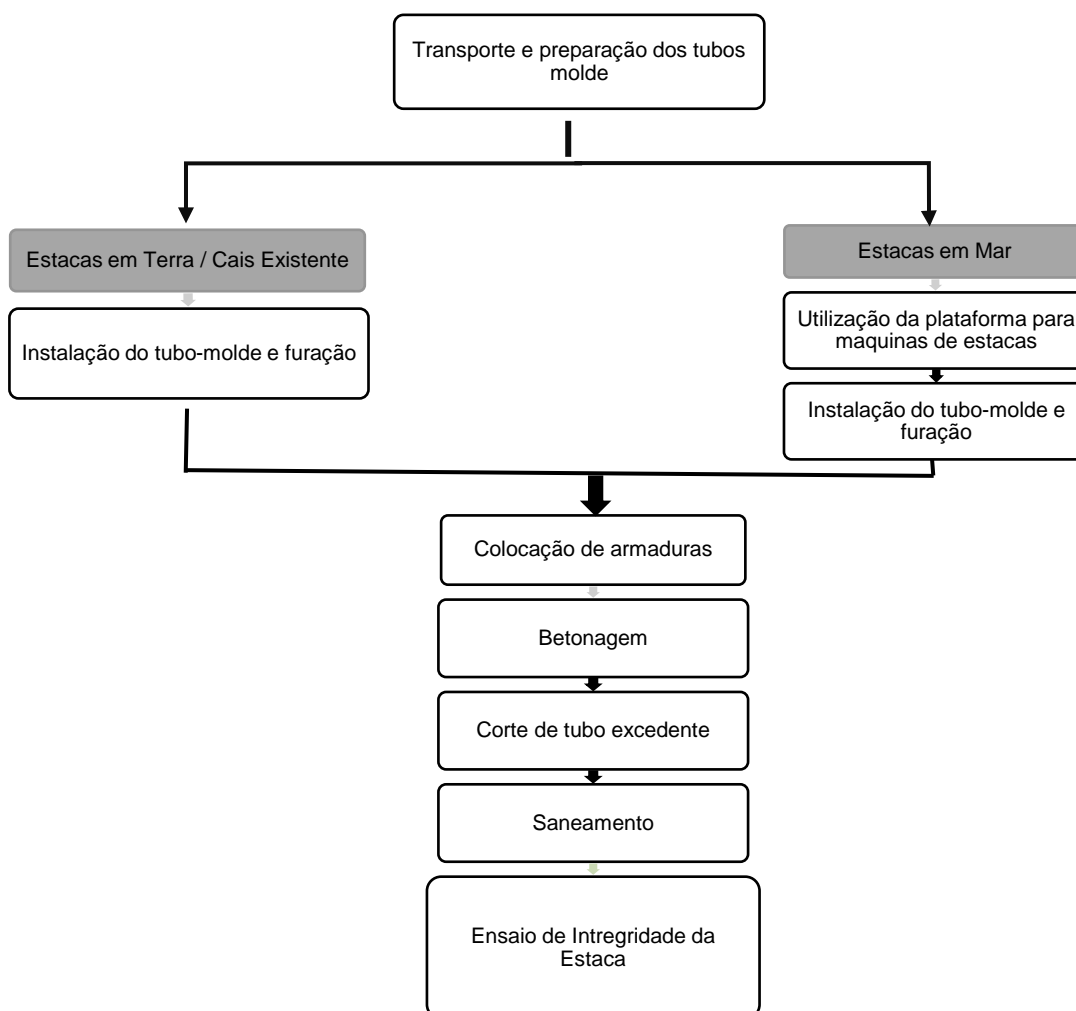


construídas com recurso a cravação das camisas metálicas, pelo meio das quais se perfura a rocha na extensão preconizada no projeto.

O procedimento de execução das estacas adoptará a solução consoante a localização das mesmas, tendo assim as seguintes designações:

- **Estacas de Terra / Cais existente** (estacas executadas com a máquina perfuradora em terra ou sobre o cais existente);
- **Estacas de Mar** (estacas executadas com a máquina perfuradora sob plataforma metálica).

4.2.1.1. Fluxograma de Execução da Actividade



4.2.1.2. Transporte e Descarga de Tubo Molde

Dentro do estaleiro, o transporte das camisas será efectuado por um atrelado agrícola ou rebocado por giratória. A descarga das camisas metálica é feita com recurso a grua com capacidade adequada, utilizando cordas guias durante o manuseio;

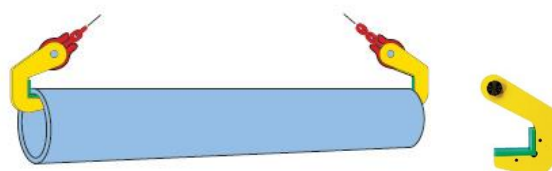


Figura 4: Utilização dos acessórios de elevação para movimentação dos tubos

A metodologia preconizada para a execução das estacas em betão armado prevê a utilização das camisas metálicas, que funcionam apenas como cofragem perdida das estacas, não tendo qualquer participação para a resistência e estabilidade da mesma.

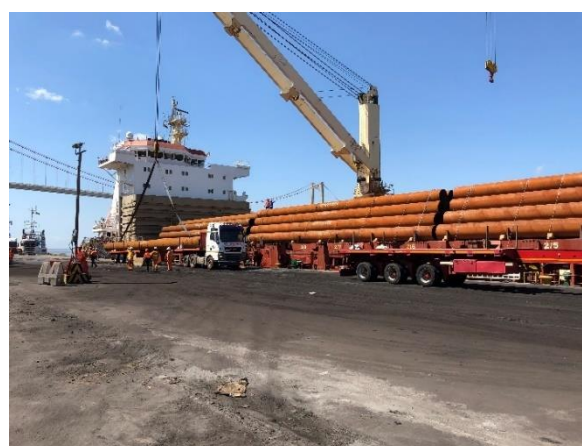


Figura 5: Transporte, descarga e colocação na guia da cravação de tubo molde ou camisa metálica
(Fonte: MEECA e Autor deste trabalho, 2020)

4.2.1.3. Cravação do Tubo Molde

Eleva-se e insere-se o tubo na guia de cravação já posicionada no negativo, de forma a evitar que, depois do colocado o tubo na guia de cravação, seja necessário o desengate dos acessórios de elevação no topo do tubo, a lingagem do tubo será feita com recurso a dispositivo de desengate à distância. Depois de correctamente instalado na guia de cravação existem duas formas de instalação da camisa:

- Utilizar o equipamento *vibronfonceur* (martelo vibratório) para a cravação do tubo-molde, de forma contínua e sem interrupções até que os comprimentos de penetração e/ou negas exigidas tenham sido atingidos, ou,
- Utilizar os equipamentos de perfuração para instalação do tubo-molde à rotação, até que os comprimentos de penetração e/ou negas exigidas tenham sido atingidos. Para esse efeito, os tubos-molde devem ser previamente preparados com abertura de olhais no topo do tubo-molde. Os tubos-molde terão comprimentos variáveis dependendo do alinhamento de execução.
- O tubo molde será descido até uma cota que garanta a estabilidade das paredes do furo, não permitindo o seu desmoronamento ou assoreamento.
- Durante a actividade mencionada acima, deve ser controlada a correta implantação e verticalidade do tubo com recurso a apoio topográfico em permanência durante a cravação/instalação;

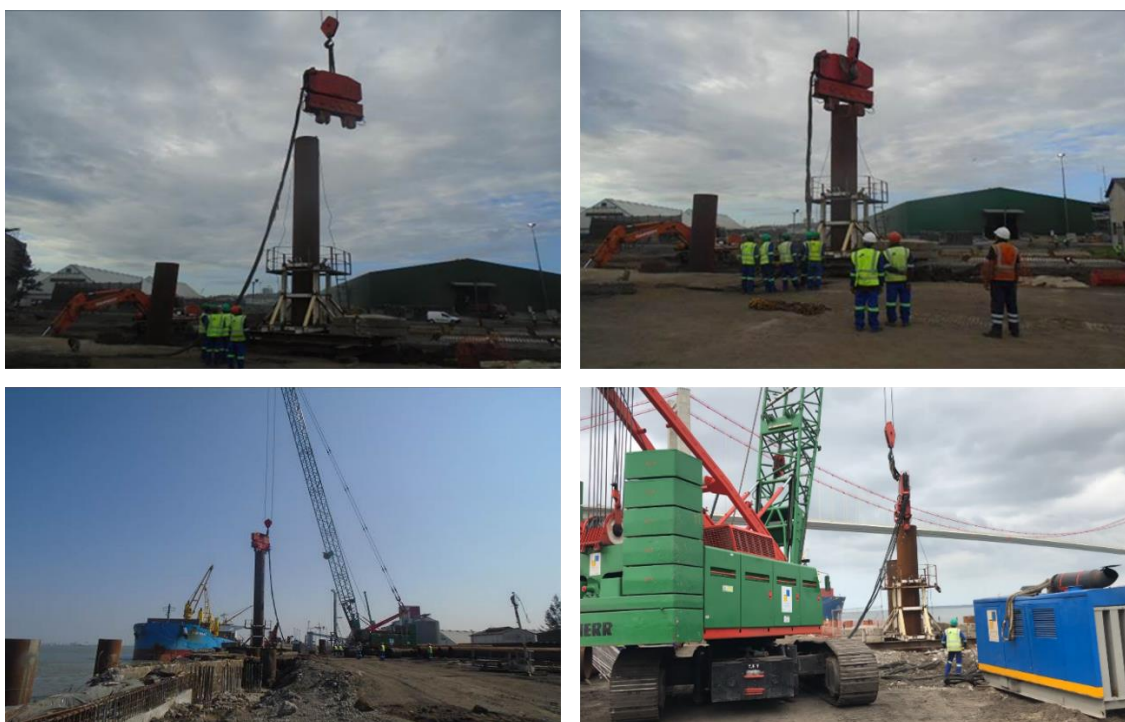


Figura 6: Cravação de tubo molde ou camisa metálica perdida (Fonte: Autor deste trabalho)

4.2.1.4. Furação e Limpeza

A perfuração da estaca pelo interior do tubo realizar-se-á pelo processo rotativo mediante o recurso a trados ou limpadeiras metálicas, com bordos dentados cortantes, que recebem o movimento rotativo através de uma vara telescópica de aço (Vara Kelly). A terra vai sendo removida faseadamente de forma a repetir todos os passos anteriores até se chegar à profundidade pretendida ou até ao maciço competente.

A furação do interior do molde da estaca foi feita com o equipamento de perfuração *Soilmec SR70* ou *Soilmec R620*. É realizada a limpeza do furo com limpadeira.

Geralmente quando se está a realizar os últimos 2 metros de furação, deve-se preparar as armaduras para que estejam prontas e próximas do local de aplicação para serem introduzidas logo que a limpeza do furo esteja concluída, garantindo um fundo do furo limpo, melhorando a execução das componentes seguintes.



Figura 7: Furação e limpeza da estaca com equipamento da Soilmec SR70 (Fonte: MEECA, 2020)

4.1.2.5. Colocação da Armadura

Terminada a limpeza do furo, é introduzida a armadura anteriormente montada e preparada, essas armaduras encontram-se abertas na parte inferior de forma a facilitar a passagem do instrumento para a fase seguinte de betonagem, assim como para facilitamento do processo de remoção do betão contaminado.

De acordo com Tavares (2016), em certos casos as extremidades superiores dos varões das armaduras encontram-se envolvidas numa manga protectora, vulgarmente usado o neopreno, para facilitar os trabalhos de demolição e saneamento do betão contaminado, reduzindo ou eliminando o contacto entre o betão e a armadura.

O neopreno é uma combinação entre borracha expansiva com tecido, ficando no final um produto flexível, elástico e resistente (Isoprene, 2010).

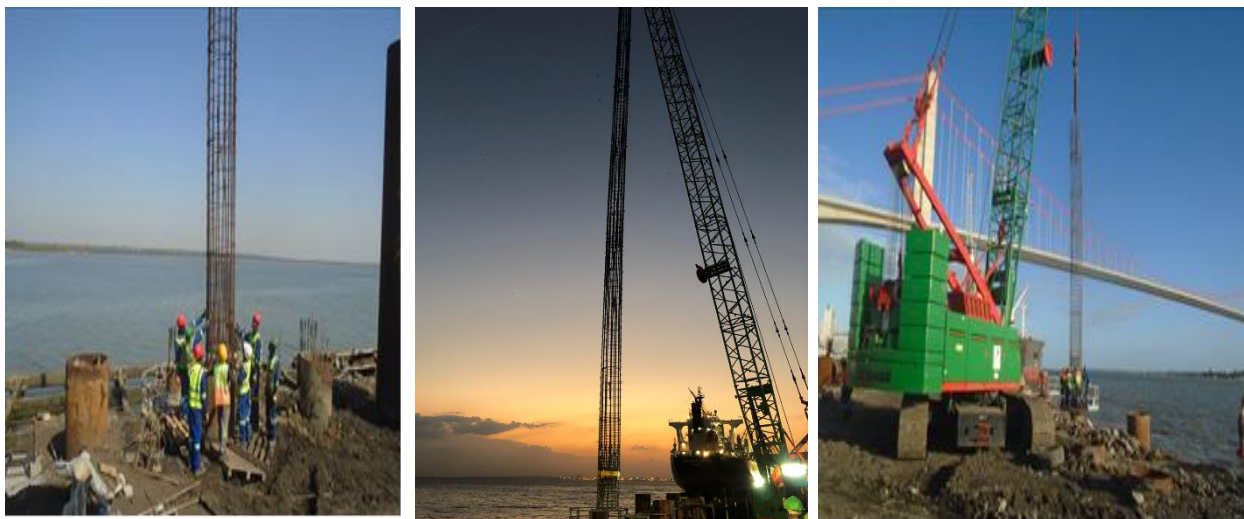


Figura 8: Colocação da armadura na estaca (Fonte: Autor deste trabalho, 2020)

Para facilitar a descida da armadura, e garantir que a mesma não ficaria presa nas paredes laterais, foram adicionados espaçadores às armaduras.



Figura 9: Espaçadores na armadura (Fonte: Autor deste trabalho)

4.2.1.6. Betonagem da Estaca

É realizada a betonagem, após a colocação da armadura, com tubos tremie onde é introduzido o betão para uma coluna esvaziada de aço.

O tubo tremie corresponde à conjugação de tubos ocos roscados entre si, formando uma coluna. No topo encontra-se a tremonha, também designado como funil receptor, estando esta roscada à coluna. Essa coluna tem o mesmo comprimento do furo, indo desde o início do furo até próximo do seu fundo. (Tavares, 2016).

A betonagem das estacas consiste na introdução de um tubo, “tremie”, que garante que o betão nunca cai de alturas superiores a 2m. O tubo Tremie deve estar sempre pelo menos 2m dentro do betão. Na extremidade oposta à que se insere o betão, no topo da camisa, temos uma janela de pelo menos 10cm acima da cota de betonagem por onde, a dada altura o betão cai.

À medida que o betão é descarregado, este flui para o funil receptor, sendo aí travada até começar o processo de enchimento, abrindo-se o travão. O seu enchimento é imediato, sucessivo e contínuo, descendo o betão ao longo da coluna e saindo pela boca inferior. O tubo metálico sobe e é removido à medida que é efectuada a betonagem, estando sempre garantida a penetração do tubo abaixo da linha de betonagem, 2m. Este processo é repetido até o betão se encontrar à superfície ou à cota estipulada para o correcto saneamento da estaca.

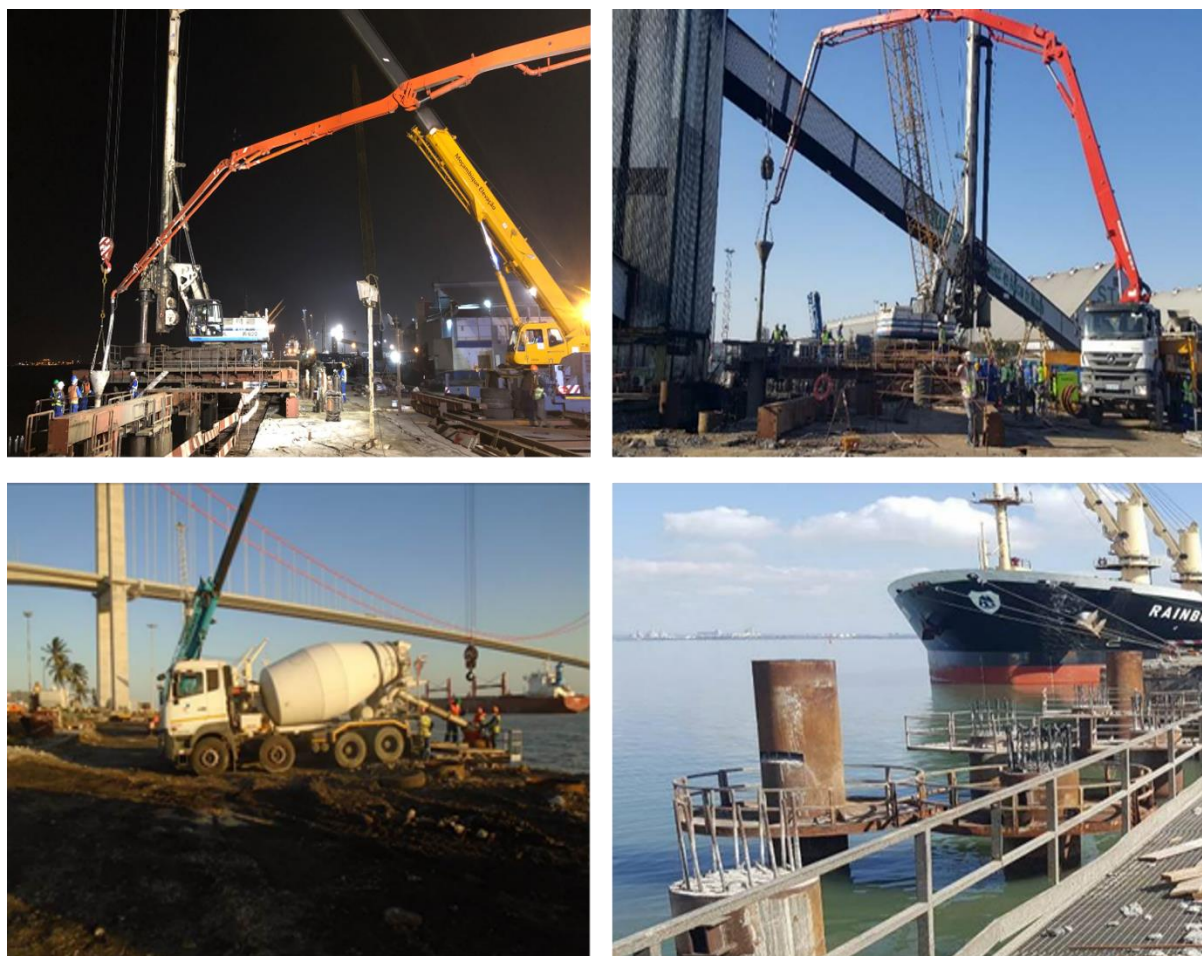


Figura 10: Betonagem submersa de estaca e janela feita na estaca betonada (Fonte: MEECA / Autor deste trabalho, 2019-2020)

4.2.1.7. Corte do Tubo Ascendente e Saneamento da Estaca

- **Corte do Tubo Ascendente**

Realizar marcação topográfica no tubo dos locais a cortar, *Cut-off level*.

Cortar os tubos nos locais definidos. Esta operação é feita com o recurso serralheiro e com apoio de jangadas ou plataformas de trabalhos fixa por à estaca dependendo da diferença de cotas entre o local de corte e a maré - no caso das estacas de mar; no caso das estacas de terra são utilizados os passadiços.



Figura 11: Corte do tubo/Camisa metálica da estaca (Fonte: Autor deste trabalho, 2020)

- **Saneamento da Estaca**

Após cura do betão, procede-se ao saneamento das estacas, que foi realizado, com recurso a martelos pneumáticos, demolindo o betão da cabeça da estaca até ser atingido o nível *cut-off level* (até a cota prevista), ou, recurso a darda hidráulica/pneumática para o mesmo efeito descrito acima.

A demolição é efectuada numa orientação sub-vertical de forma a não causar fissuras na estaca, podendo esta partir-se e tornar o processo de remoção mais complicado e moroso.

O saneamento é um processo que se realiza com o propósito de retirar o betão contaminado que se criou na execução da estaca. Esta acontece devido a não ser possível retirar todo o material do interior do furo e pelo betão estar desprotegido, encontrando-se em contacto direto com o solo. Uma deficiente realização do saneamento pode causar uma perda de capacidade de carga significativa, podendo comprometer a estrutura da estaca, (Tavares, 2016).

Segundo Carneiro, o processo de execução de saneamento de estacas é um processo metuculoso, e é constituído pelo seguinte faseamento:

- Corte em volta da estaca, coincidente com a cota limite do saneamento, com rebarbadora e disco diamantado, de forma a não danificar a armadura que se encontra no seu interior. Este processo tem como propósito minimizar a propagação de vibração ao fuste da estaca;
- Após o corte estar concluído segue-se a sua extração e demolição da periferia da estaca até se ver a armadura existente no seu interior (de acordo com o tipo e condições a que se encontram as estacas que se vão sanear);
- Procede-se à demolição da restante área que se pretende sanear agora através de equipamentos mais pesados, realizando corte transversal na armadura;
- Caso seja necessário, realiza-se a retificação do nível a que se encontra a superfície da estaca.

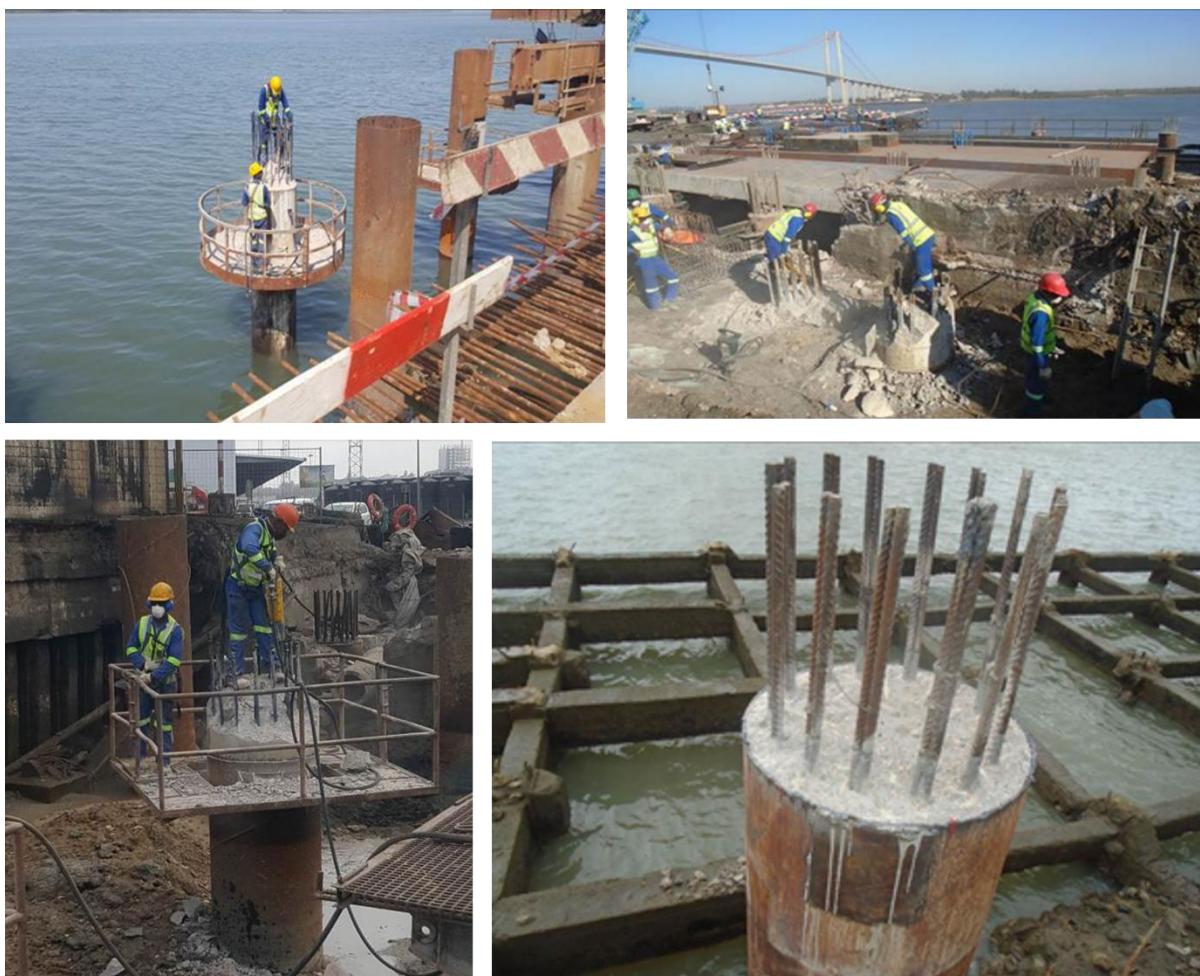


Figura 12: Saneamento da Estaca (Fonte: Autor deste trabalho)

4.1.3. Controlo de Qualidade das Estacas de Betão Armado

Segundo Likins (2011), qualquer fundação necessita ser executada de maneira segura tanto do ponto de vista estrutural quanto geotécnico. Durante o processo de execução, alguns danos podem surgir ao longo do fuste fazendo com que a integridade ou a capacidade de carga da estaca sejam seriamente comprometidas.

De acordo com Senhorini (2017), Estacas que são moldadas *in situ*, danos podem aparecer como estrangulamento, presença de espaços vazios ao longo do fuste, separação do betão, etc. E mesmo após a instalação, as estacas podem ser danificadas devido à movimentação lateral do solo consequente da presença de equipamentos pesados, ou falhas de muros de contenção. Pela possibilidade de aparecimento de danos nas estacas, torna-se indispensável a execução de ensaios que forneçam informações à cerca da qualidade, integridade e capacidade de carga das estacas.

Segundo Brochero, Choong K. (2009) Se considerarmos as estacas moldadas *in situ*, factores como contaminação do betão com solo, com lama ou qualquer elemento que possa interromper a continuidade do fuste ou redução da secção da estaca, podem influenciar na capacidade final da mesma. Estacas com imperfeições funcionam de forma redundante, ou seja, não podem redistribuir o carregamento para outras estacas adjacentes, por essa razão o controle de qualidade tem um papel muito importante na verificação do estado final da estaca, devem se estabelecer critérios de aceitabilidade considerando os factores de segurança tanto do projecto geotécnico como no projecto estrutural.

Testes para avaliação de integridade são mostrados a seguir.

De acordo com Brochero, Amir (2022) diz que, tratando-se de ensaios estandardizados/normalizados não destrutivos, popularmente usados para conferir a integridade e qualidade de estacas de grande diâmetro.

4.1.3.1. Avaliação não Destrutiva das Estacas de Betão Armado (PDA e PIT)

De acordo com Senhorini, Medeiros (2005), a verificação da capacidade de carga e da integridade das estacas podem utilizar os ensaios dinâmicos não destrutivos, que além de apresentarem menor custo comparado com o ensaio estático, são mais ágeis.

Os ensaios dinâmicos não destrutivos são divididos em ensaios de alta e de baixa deformação sendo que:

1. **Ensaio de alta deformação**, a capacidade de carga da estaca é estimada a partir da análise dinâmica da estaca quando sujeita a um impacto causado por um peso.
2. **Ensaio de baixa deformação**, avalia-se a velocidade de propagação da onda de choque gerada pelo impacto de um martelo portátil no topo da estaca, a fim de verificar sua integridade.

Já o ensaio de baixa deformação é realizado através de um impacto na extremidade superior da estaca por um martelo portátil que é usado para a verificação da integridade do fuste, sendo que para isso avalia-se a velocidade de propagação da onda de choque gerada através da estaca. Segue abaixo a apresentação dos dois ensaios:

- ***Pile Driving Analyzer (PDA)***

Segundo Sinhorini 2017, o PDA é um ensaio de alta deformação que produz força e movimento mediante a queda de um corpo com elevada massa e essas informações são registradas pelo sistema P.D.A. (LIKINS et al.,1993). Este ensaio é comumente executado durante a cravação da estaca, sendo também possível sua execução em estacas escavadas.

De acordo com Rocha (2015), A execução do ensaio consiste na aplicação de uma carga no topo do elemento de fundação de modo a criar uma perturbação ao longo da estaca. Assim, para a realização do ensaio, apenas é necessário um equipamento capaz de elevar um corpo que irá gerar a perturbação (martelo, cravador de estacas, entre outros) e sensores capazes de medir o sinal provocado (extensômetros capazes de medir a força proporcional à extensão sofrida no material da estaca durante o impacto e os acelerômetros que permitem obter a velocidade por integração no tempo do sinal obtido). Os sinais obtidos pelos sensores são enviados ao equipamento PDA® – (Pile Driving Analyzer®) onde serão armazenados e processados para posterior interpretação (Pereira et al., 2009).

O P.D.A., segundo Globe (1980 apud LIKINS et al.,1993) ainda fornece informações adicionais às fornecidas pelos ensaios estáticos convencionais, como a avaliação e controle da atuação do martelo utilizado na cravação, as tensões de cravação e a integridade da estaca. A Figura 4, representa esquematicamente a instrumentação do ensaio PDA, representando os extensômetros da estaca e os acelerômetros que são responsáveis por registrar a aceleração da onda que percorre o fuste, (Sinhorini, 2017).

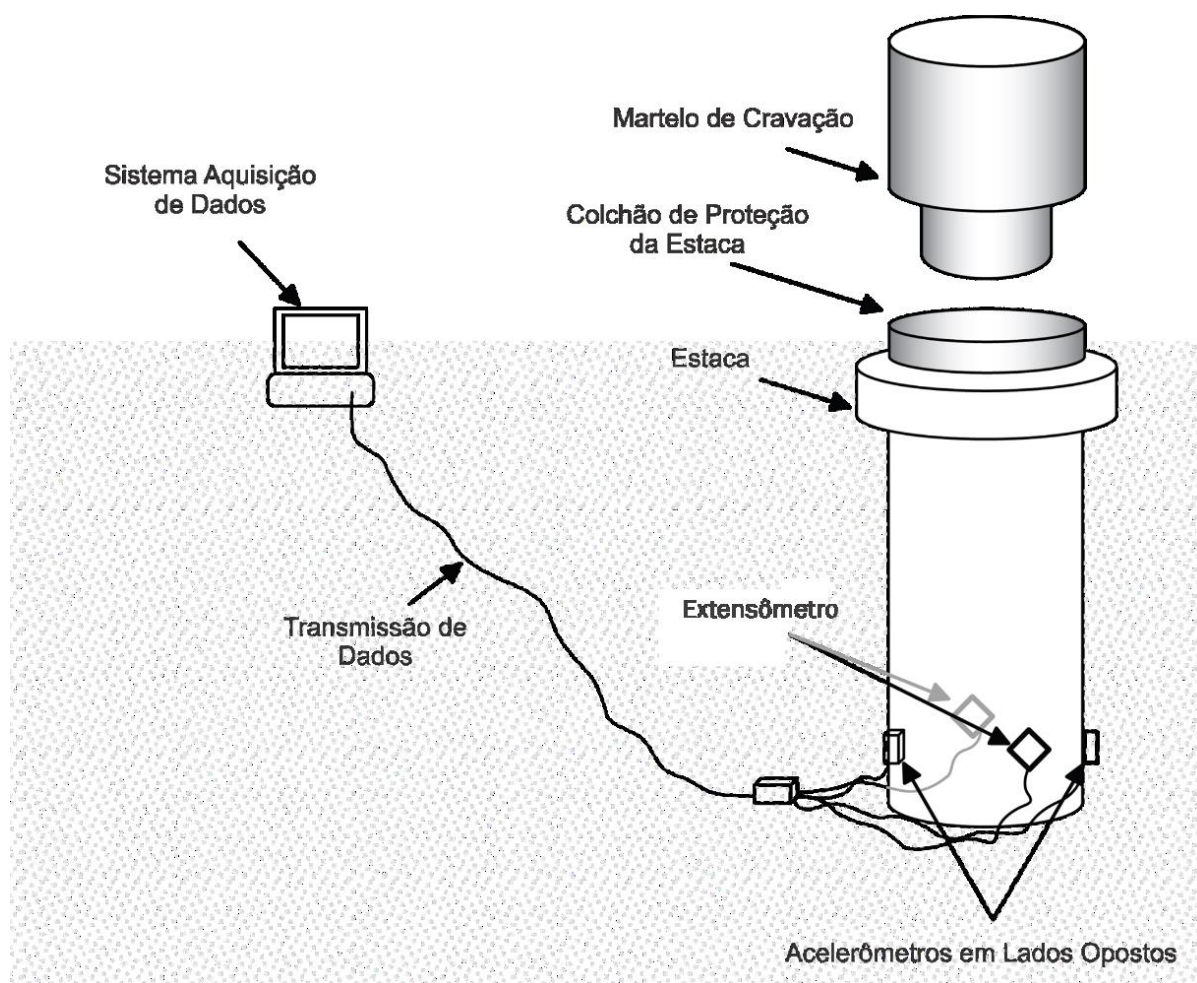


Figura 13: Representação esquemática do ensaio PDA, Fonte: Adaptado Hertlein e Davis (2006)

- ***Pile Integrity Testing (PIT)***

Conforme afirmam Da Silva et. al. (2020), O Pile Integrity Test (PIT) é uma técnica de ensaio não destrutivo que permite avaliar de maneira qualitativa a integridade de fundações profundas, identificando possíveis defeitos ou irregularidades como alargamento, estreitamento, descontinuidade, seccionamento, alterações no betão e fissuras ao longo do fuste. Segundo a norma americana, ASTM D5882-07 (2013), a integridade de uma estaca é definida pela avaliação qualitativa das dimensões físicas, continuidade e o estado do betão da mesma após sua solidificação.

O teste de integridade de estacas (Pile Integrity Testing) é um ensaio dinâmico de baixa deformação que pode ser executado tanto em estacas tipo hélice contínua, estacas moldadas in

situ ou pré-fabricadas. O ensaio detecta defeitos potencialmente perigosos, como fissuras significativas, redução no diâmetro e descontinuidades ao longo do fuste, e em alguns casos, o PIT pode ser utilizado ainda para a determinação do comprimento de estacas pré-existentes.

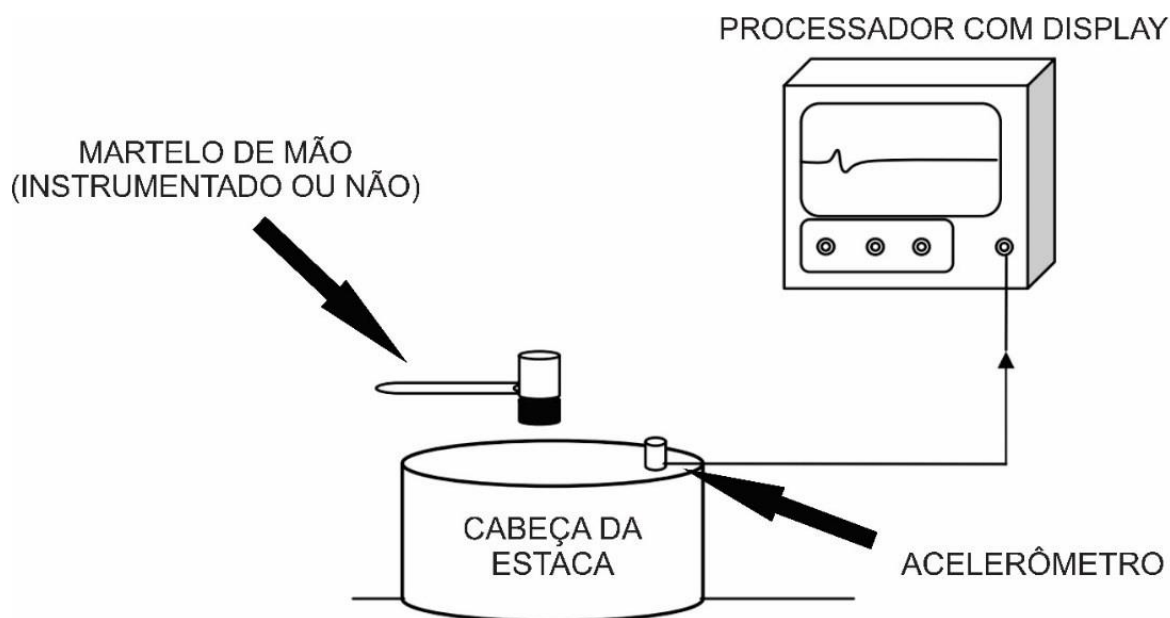


Figura 14: Representação esquemática do ensaio PIT, Fonte: Adaptado Hertlein e Davis (2006)

4.1.4. Avaliação da Integridade das Estacas através do PIT – Ensaio Sônico

4.1.4.1. Histórico do Ensaio de Integridade

De acordo Mucheti, Chernauskas & Paikowsky (1999) o ensaio de integridade (PIT) foi desenvolvido para suprir a necessidade de se avaliar a qualidade das fundações. O seu desenvolvimento aconteceu simultaneamente em diversas partes do mundo, mas sabe-se que o primeiro ensaio foi feito na França pela CEBTP (*Centre Experimental de Recherche et d'Etudes du Batiment et des Travaux Publics*).

O ensaio de integridade (PIT) é baseado numa teoria conhecida há muito tempo. Contudo, somente com os progressos nas áreas da instrumentação e da computação electrónica foi possível tirar proveito dessa teoria. No início, sistemas rudimentares eram usados em nível de pesquisa, consistindo de acelerômetros conectados a complicados sistemas amplificadores, cujos sinais eram visualizados em osciloscópios tipo "storage". O sinal obtido tinha que ser fotografado para posterior análise. Com o tempo, foram construídos equipamentos específicos,

doptados de recursos tais como cálculo da média de vários sinais, filtros digitais, etc. Paralelamente, foram desenvolvidos programas de computador para auxílio no diagnóstico (análise no domínio da frequência, determinação do provável perfil da estaca, etc.). No Brasil, o primeiro equipamento para ensaio de integridade (PIT) foi trazido pela empresa PDI Engenharia no início da década de 90. (Mucheti, 2008).

4.1.1.2. Descrição do Equipamento

Para a realização do ensaio de integridade A ECM dispõe do equipamento *Pile Integrity Tester PTI-FV*, desenvolvido e comercializado pela empresa norte-americana *PILE DYNAMICS, INC*, para ensaio de estacas pelo método do Eco sónico, complementado com o programa PIT-W, para processamento dos registos obtidos no campo.

Como descrito anteriormente o procedimento consiste simplesmente em colocar o sensor no topo da estaca e, em seguida, realizar pequenos impactos com o martelo no topo da mesma. A propagação deste impulso é registada e posteriormente analisada pelo operador, sendo, portanto, um procedimento rápido e eficaz.

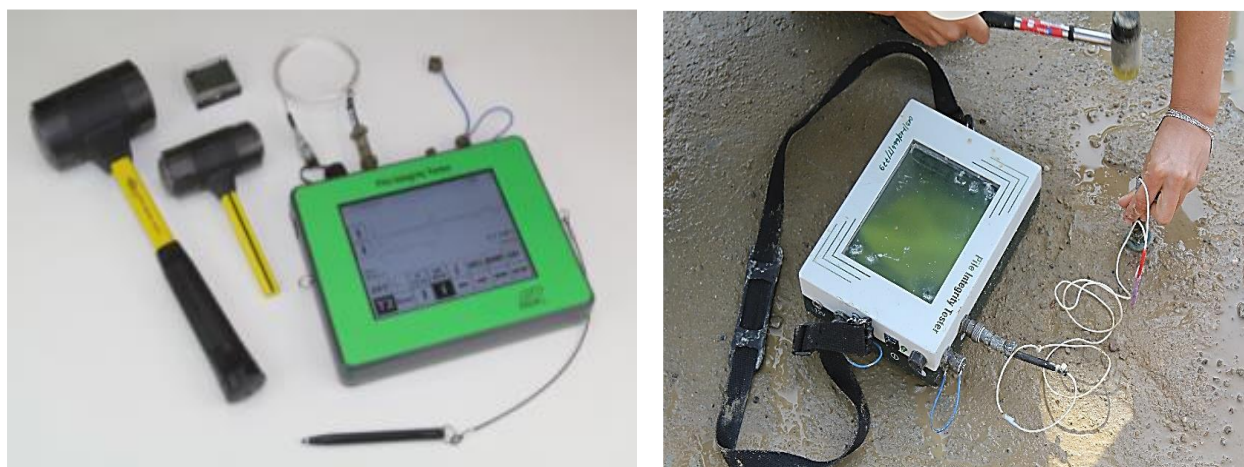


Figura 15: Equipamentos PIT, (Fonte: Piletest e Pile Dynamics Inc. e Google imagens)

4.2. Ensaio Sónico

Segundo Maria de Lurdes Penteadó e Jorge de Brito (2009), O ensaio sónico, tal como o nome indica, baseia-se na característica de propagação de uma onda sónica de compressão induzida na cabeça da estaca por uma pancada de pequena intensidade (com um martelo de mão de peso inferior a 1 kg), a qual permite detectar eventuais discontinuidades na estrutura da estaca, fracturas, bem como a ocorrência de uma significativa diminuição de rigidez do meio associada à diminuição acentuada do diâmetro da estaca, avaliando, portanto, a sua integridade. No topo

da estaca, é fixado um acelerómetro que registará a propagação e a reflexão da onda no seu percurso ao longo da estaca. Se houver algum impedimento à propagação da onda, serão detectadas as correspondentes variações de velocidade monitorizadas pelo sensor (acelerómetro).

4.2.1. Metodologia do Ensaio Sónico

O método do eco sónico é um método de ensaio indirecto e embora sujeito a algumas limitações, permite, de forma relativamente expedita, averiguar qualitativamente a integridade de elementos de betão de fundação de estruturas. A possibilidade de verificação do comprimento destes elementos e a deteção de descontinuidades significativas no seu corpo, através da análise das características de propagação de ondas sónicas de tensão originadas no seu topo, constituem fontes de informação importantes. (ECM, 2019).

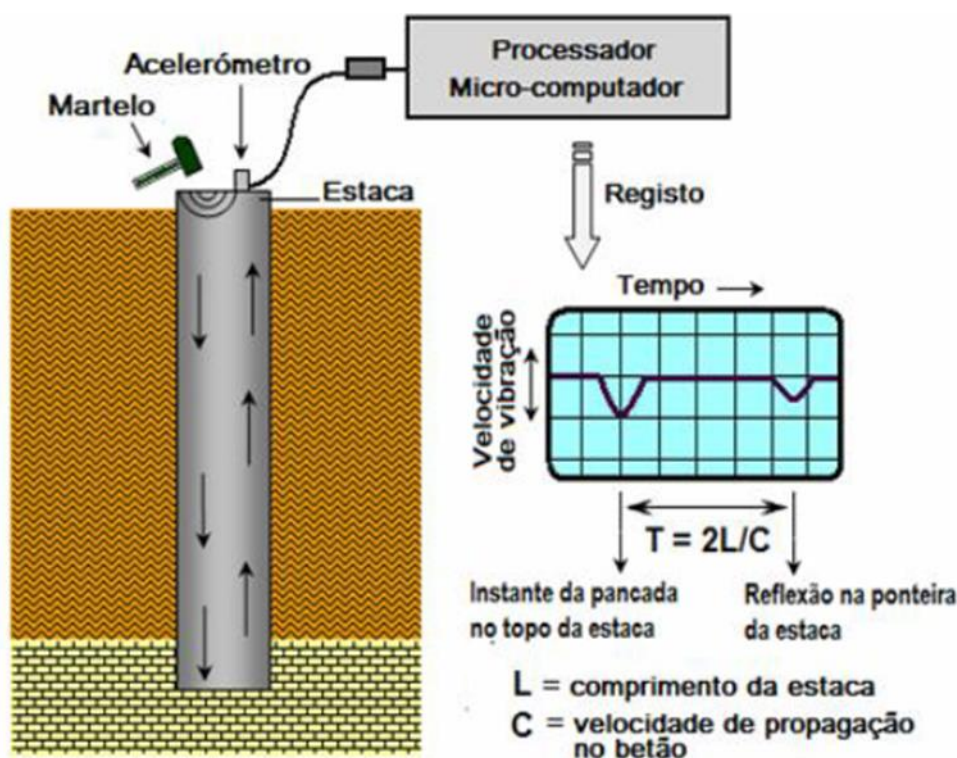


Figura 16: Metodologia de Ensaio e Equipamento, (Fonte: ECM 2019)

O método baseia-se na propagação de ondas sónicas ao longo do fuste de estacas, na sua reflexão na zona da ponteira e, caso existam, em descontinuidades no seu corpo ou em singularidades estruturais bem marcadas, tais como alargamentos e estreitamentos localizados no seu corpo. A onda reflectida retorna ao topo da estaca com a mesma polaridade da onda

incidente ou com polaridade inversa, dependendo das condições de fronteira e das características mecânicas da ponteira da estaca.

Na Figura 16 representa-se o princípio de funcionamento do ensaio e sua descrição com base no procedimento operacional concedido à Mota-Engil pela ECM em 2019.

4.2.2. Preparação da Superfície da Estaca

A parte talvez mais importante para o sucesso do ensaio de integridade (*PIT*) é o preparo da estaca que obedece as fases infracitadas:

1. Após o saneamento, preparar o acesso ao topo da estaca: é necessário, eliminar todo o betão de má qualidade, existente no topo da estaca;
2. Saneamento da cabeça da estaca, bem como a limpeza desta e do local envolvente: Criar uma superfície plana e lisa com uma lixadeira ou disco de corte, o topo deverá estar perfeitamente acessível e seco, mesmo se houver água ao redor da estaca, contanto que o topo da mesma esteja seco, e que seja possível o acesso do operador. De maneira alguma pode ser usada argamassa ou qualquer outro material no topo da estaca. O acelerômetro e os golpes têm que ser aplicados em material idêntico ao do restante da estaca. (Mucheti 2008);
3. Garantir no topo da estaca uma superfície regular com, pelo menos, 30 cm de diâmetro;
4. Não é requisito do ensaio que as estacas tenham sido cortadas até a cota de arrasamento. Entretanto, sugere-se, sempre que possível, que o ensaio seja feito com as estacas já nessa condição. A principal razão para isso é que, caso seja detectado algum problema mais sério entre o topo do ensaio e a cota de arrasamento, poderá ser impossível determinar o estado da estaca abaixo do dano. Com isso, o ensaio terá que ser repetido para essa estaca. (Mucheti 2008);
5. Fornecer planta de fundação com a identificação das estacas, assim como a relação do seu comprimento antes e após saneamento, ou as suas fichas de execução, onde constem estes elementos.



Figura 17: Preparação da Superfície da Estaca (Fonte: PDI Engenharia, acesso: 2022)



Figura 18: Estaca com Superfície Preparada para o ensaio (Fonte: Autor deste trabalho)

4.2.3. Operação de Certificação e Garantia de qualidade

De acordo com a ECM – Engenheiros Consultores de Moçambique (2019), para a execução dos ensaios, serão observadas as indicações patentes nos documentos do fornecedor do equipamento e do software (Pile Dynamics, Inc.), a saber:

1. *PILE INTEGRITY TESTER (PIT) – User's Manual (October 2005)*

2. *PIT-W Software – For Pile Integrity Tester Data Analysis – Quality Assurance for Deep Foundations.*

4.2.4. Dados para Realização do Ensaio Sónico

Para realização da campanha de ensaios sónicos o autor deste trabalho enviava um email a ECM com o histórico das estacas onde eram preenchidos os seguintes dados:

- Identidade ou Nome da Estaca (indicava sua localização no projecto e na obra);
- Data da betonagem (Tempo de vida da estaca);
- Comprimento da camisa metálica-tubo molde
- Comprimento total da estaca

	Estacas	Data de betonagem	Dias	comprimento da camisa (m)	Estaca	
1	A3-86	17/6/2020	96	17,6	27,5	Saneadas
2	B3-86	16/7/2020	67	20,5	32,5	Saneadas
3	G3-86	17/6/2020	96	17,1	33,0	Saneadas

Figura 19: Dados para auxiliar na realização do ensaio sónico (Fonte: Autor deste trabalho)

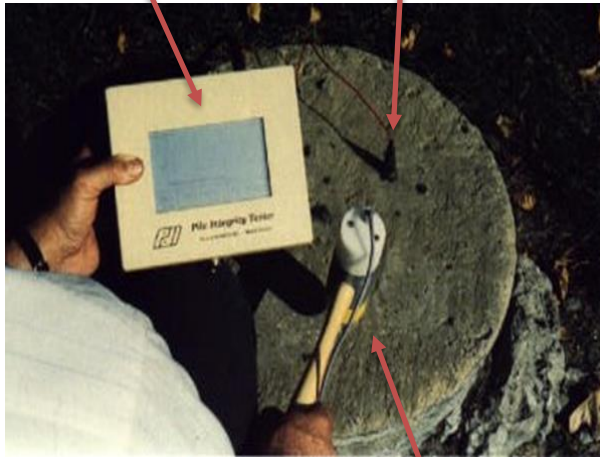
4.2.5. Concepção e Realização do Ensaio

O ensaio consiste no posicionamento de um acelerómetro de alta sensibilidade no topo da estaca ou face da estaca, previamente preparada para receber ondas acústicas provenientes de um martelo instrumental. Os dados baseiam-se na análise da resposta vibratória do elemento testado, através da propagação de ondas no betão. Essas ondas de compressão propagam-se pelo fuste, sofrendo reflexão na ponta, e retornando novamente ao topo da estaca.

Os sinais de vibração da onda são captados por um acelerómetro instalado no topo da estaca e, conseguintes convertidos em sinais eléctricos. Este sinal amplificado é enviado a um centro de condicionamento e tratamento e em seguida a um microcomputador, que através de um software permite visualizar analiticamente e graficamente os resultados do ensaio efetuados.

Sistema de aquisição
e análise dos dados

Acelerômetro



Martelo de mão

Figura 20: Equipamento e detalhes de utilização do equipamento de ensaio sísmico (Fonte: PDI à esquerda e Autor deste trabalho à direita)

4.2.5.1. Velocidade de Propagação da Onda

Segundo Maria de Lurdes Penteado e Jorge de Brito (2009), com o objectivo de preservar todos os detalhes do sinal, em especial as fracas reflexões, o circuito de *input* faz uma selecção automática garantindo a melhor resolução possível. Amplifica-se o resultado de forma crescente, aumentando em função do comprimento da estaca, à medida que diminui a amplitude do sinal, com a finalidade de compensar o amortecimento da energia provocada por fenómenos de atrito estaca - terreno envolvente. A partir do sinal captado em termos de aceleração, é calculada a velocidade em função do tempo de percurso dada pela seguinte expressão:

$$C = \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right)}$$

Onde:

C - É a velocidade de propagação da onda;

E - É o módulo de elasticidade do betão;

ρ - é a massa volúmica do betão.

Para o betão, a velocidade de onda varia conforme suas características, mas os valores usuais de velocidade de propagação de onda para pequenas deformações (como é o caso do ensaio de integridade - PIT) estão entre 3700 m/s e 4300 m/s, podendo-se dizer que 4000 m/s é um valor médio.

4.2.5.2. Tempo de Propagação da Onda

A onda originada na cabeça da estaca é captada, depois de reflectida no pé da estaca sem discontinuidades, ao fim do tempo T calculado através da seguinte expressão:

$$T = \frac{2L}{C}$$

Sendo:

T – Tempo de propagação da Onda;

L – Distância do topo da estaca até a ponta, ou, comprimento da estaca

C – Velocidade de propagação da onda (m/s)

Durante o ensaio, visualiza-se no visor do microcomputador registos de velocidade de vibração em função do tempo de percurso, conforme ilustrado nas figuras abaixo:

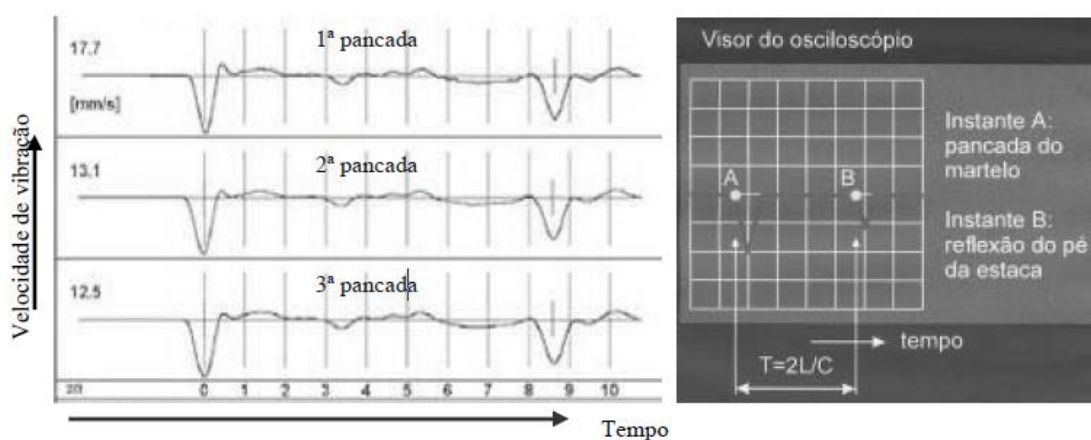


Figura 21: Registo de um ensaio sónico com execução de 3 pancadas (à esquerda) e esquema explicativo da imagem obtida no visor (à direita), (Fonte: Penteadó e Brito 2009)

Paralelamente ao eixo das abcissas, é apresentada uma escala métrica de profundidades, dimensionada em função da velocidade de propagação introduzida. Assim, todas as reflexões são localizadas directamente em termos de profundidade. Geralmente, são executadas várias pancadas (normalmente três) para a mesma estaca com o objectivo de verificar se os resultados são coincidentes, conforme se pode observar na figura à direita.

O tipo de onda de vibração obtido depende se a estaca está a funcionar como flutuante (a transmitir as cargas por atrito lateral) ou a trabalhar por ponta (transferindo as acções que lhe são aplicadas para uma base bastante rígida).

Aplicando uma pancada na cabeça da estaca, esta será assim percorrida por uma onda de compressão, que irá reflectir-se na sua extremidade inferior, o pé da estaca. Esta onda reflectida chegará à cabeça da estaca com a mesma polaridade da onda incidente ou com polaridade inversa, dependendo das características mecânicas do pé da estaca.

4.2.5.3. Distância da anomalia ao topo da estaca

Caso exista algum defeito entre a cabeça da estaca e o pé da estaca, ocorrerá uma reflexão antes da reflexão correspondente ao final da estaca. Para saber exactamente onde encontra-se a anomalia, utiliza-se a seguinte expressão:

$$L' = C \times \frac{T}{2}$$

Onde:

L' - Distância da anomalia encontrada na estaca até o topo da mesma (m);

C – Velocidade de propagação de onda (m/s).

À medida que se propaga, a onda sofre reflexões em seu trajecto. Essas reflexões podem ser provocadas por variações nas características do material da estaca, pela presença de atrito lateral ou resistência de ponta, ou pela própria ponta da estaca.

A impedância, segundo a norma ASTM: D 5882-07 (2013) é obtida através da multiplicação do Módulo de *Young* pela área da secção transversal da estaca e da divisão desse valor pela velocidade de onda.

Qualquer variação na secção ou na densidade dos materiais promove uma mudança significativa na forma da onda, verificando-se uma redução da impedância. Estas variações

permitem inferir sobre a integridade das estacas, a possibilidade de algumas deformações e a sua geometria (PIT, 1998 e 2003).

Define-se como “impedância” da estaca o termo:

$$Z = \frac{EA}{c} = A \sqrt{\frac{\gamma \cdot E}{g}}$$

Onde:

Z – Impedância

A – Área da secção da estaca

γ - Densidade do material da Estaca

Qualquer variação de impedância ao longo da estaca provoca reflexões da onda. Estas reflexões, ao atingirem o ponto onde está instalado o sensor, provocam uma variação brusca na velocidade de deslocamento da partícula neste ponto. Um aumento de impedância causa uma queda na velocidade, e uma diminuição de impedância causa seu aumento. O final da estaca se comporta como uma grande diminuição de impedância, portanto pode ser visto como um aumento de velocidade.

4.2.5.3.1. Reflexão das Ondas Sónicas quando há Variação da Secção das Estacas

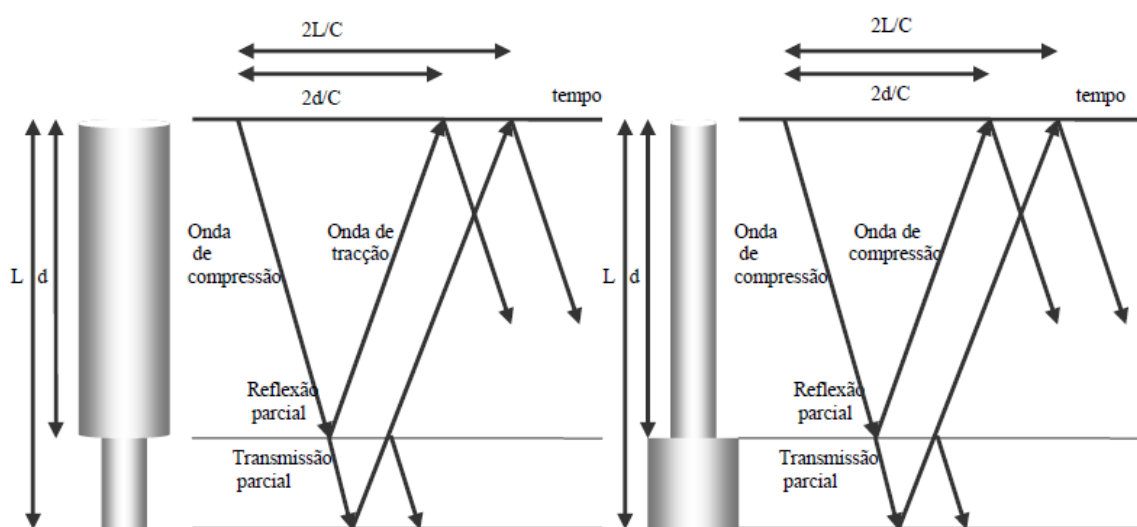


Figura 22: Variação de seção da estaca: diminuição (à esquerda) e alargamento (à direita), (Fonte: Penteadó e Brito, 2009)

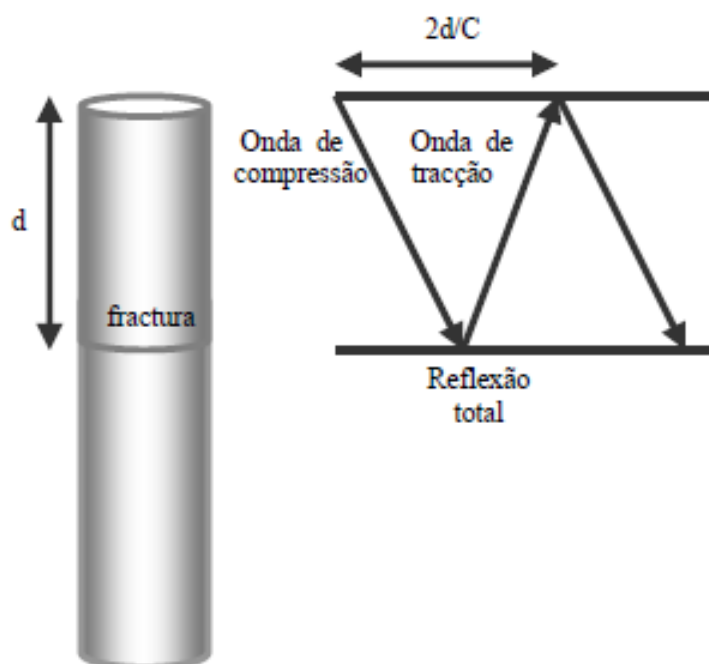


Figura 23: Reflexão das ondas sónicas quando ocorre a fractura total da estaca (Fonte: Pentead e Brito, 2009)

4.2.6. Vantagens, Desvantagens, Aplicações e Limitações do Ensaio Sónico

O uso mais comum do ensaio de integridade (PIT) é o de detectar falha na betonagem de estacas de betão moldadas *"in situ"* ou danos resultantes da cravação de estacas pré- moldadas de betão. No entanto, o ensaio pode também ser usado para determinar ou confirmar o comprimento de estacas de betão.

Limitações do Ensaio

Originalmente, o ensaio de integridade (PIT) era especificado como eficiente para profundidades até 30 vezes o diâmetro da estaca. Os novos equipamentos, com conversor analógico-digital de maior sensibilidade permitem estender este limite (VALVERDE, 1993, apud FIGUEIREDO, 2003). O limite é também função do atrito lateral. Para estaca trabalhando predominantemente por ponta, ou que atravessem espessas camadas de baixa resistência, ele pode ser aumentado. (Mucheti, 2008)

O ensaio de integridade (PIT) não fornece nenhuma informação quanto à capacidade de carga da estaca ensaiada. Por outro lado, eventuais danos detectados pelo ensaio de integridade (PIT) podem não comprometer, necessariamente, a utilização da estaca

Aplicações

De acordo com Sinhorini (2017), O ensaio de baixa deformação, como o PIT, é aplicável para todos os tipos de estaca de concreto. Estacas de madeira apresentam-se também adequadas para este ensaio, assim como alguns tipos de estaca em aço, porém a demanda pela aplicação do ensaio nestas é baixa (ALBRECHT; CANNON, 1993).

O ensaio é utilizado em muitas das vezes para a verificação da integridade da estaca e conseqüentemente, para um controle de qualidade das fundações.

Vantagens do Ensaio

O ensaio de integridade (PIT) tem vantagens que o tornaram muito popular:

- Execução extremamente rápida. Estando as estacas preparadas, não é incomum fazer-se mais de 50 ensaios por dia;
- É capaz de detectar danos ou falhas no fuste de estacas moldadas “*in situ*” e pré-moldadas de betão;
- Não exige preparo durante a execução da estaca. Assim, pode ser feito em qualquer estaca da obra;
- Equipamento leve e portátil, exigindo um mínimo de recursos da obra durante os ensaios; e
- Das poucas maneiras existentes para obter informações sobre a integridade das estacas, o PIT é sem dúvida a mais rápida e barata.

De acordo com Penteadó e Brito (2009), R. Mota (2000), as principais anomalias detectáveis com este ensaio são as visualizadas na figura abaixo:

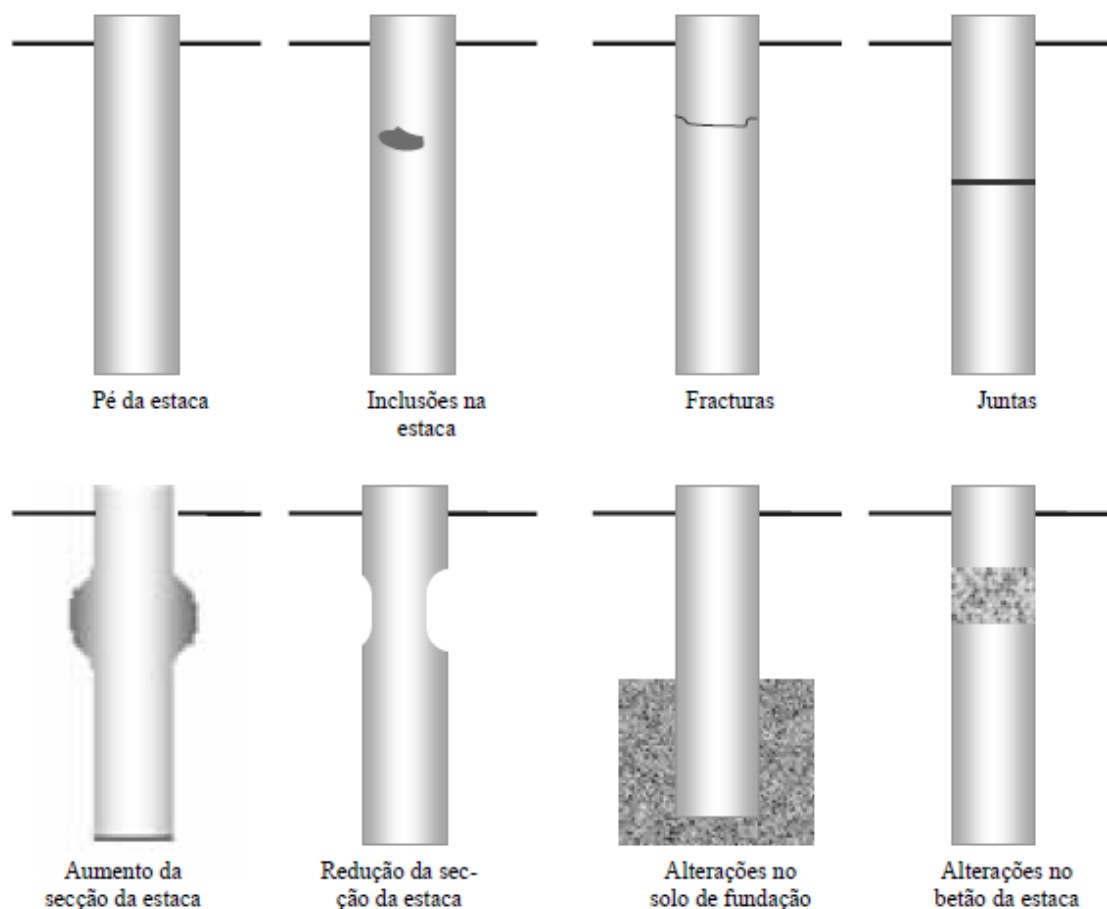


Figura 24: Defeitos detectáveis pelo ensaio de integridade (retirado de: Penteadó & Brito, 2009).

Desvantagens e Limitações:

- Pouca precisão na avaliação da intensidade do dano. Isso pode fazer com que sejam detectados danos que não comprometeriam a utilização da estaca, com conseqüente perda de tempo e dinheiro para a obra;
- Dificuldade de detecção de segundo dano abaixo de uma grande variação de características do material da estaca;
- Difícil interpretação dos sinais obtidos em alguns casos, inclusive por influência do atrito lateral (que também provoca reflexões da onda);

- Impossibilidade de distinguir entre variação de área de secção e variação de qualidade do betão (peso específico e/ou módulo de elasticidade);
- O método mostra-se inadequado para estacas com grandes diâmetros e elevados comprimentos, devido à perda de resolução com o aumento de diâmetro e do comprimento, associada à perda de energia por atenuação; é por isso indicado para estacas de pequeno diâmetro e comprimento até cerca de 30 vezes o diâmetro da estaca;
- Dificuldade de detecção de dano muito próximo ao topo e a ponta;
- Fraturas no sentido vertical da estaca não são identificadas.

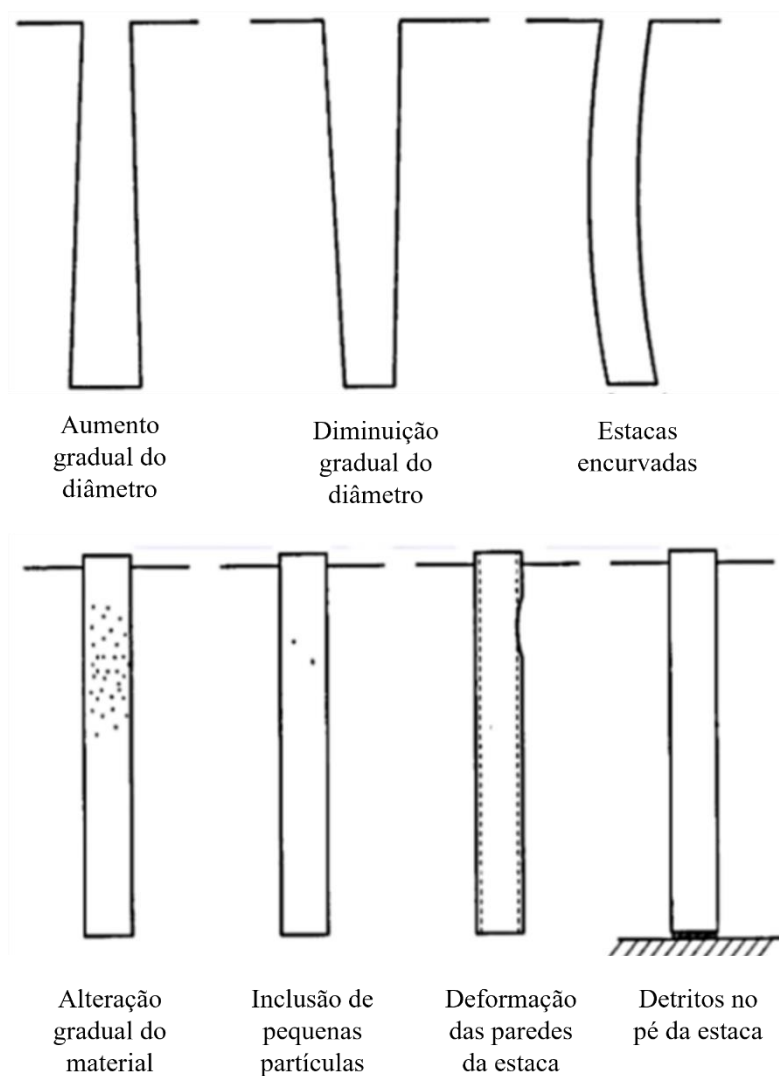


Figura 25: Defeitos não detetáveis pelo ensaio de integridade (Fonte: Retirado de: Da Rocha (2014/2015), Turner, 1997).

Da Costa Ferreira (2012), ainda salienta que, concluem os autores que o método, pela experiência demonstrada e pelas anomalias registadas, constitui uma boa indicação das condições de integridade das estacas.

4.2.7. Normatização

O PIT não possui uma norma específica que regulamenta a execução do ensaio em Moçambique, somente sendo sugerido a execução de ensaios dinâmicos na norma NBR 6122:2010. O ensaio é regulamentado pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) através da norma ASTM D5882:2007.

A norma trata sobre o procedimento para determinar a integridade de estacas individuais que estejam posicionadas verticalmente ou inclinadas pela medição e análise da velocidade e da força (opcional) induzida por um impacto através de um martelo portátil.

Salientar também que a nível internacional, existem várias normas, como mostra na Tabela abaixo:

Tabela 2: Relação dos Países com as suas respectivas normas (retirado de Mucheti 2008).

País	Referência	Título
Austrália	Padrão australiano AS 2159-1995	Fundações – Projeto e Instalação
China	JGJ 94-94	Código Técnico na Construção de Fundação em estacas, Capítulo 9: Inspeção e Aceitação de Fundação em Estaca. 9.1: Inspeção da Qualidade da Instalação de Estaca
China	JGJ/T 93-95	Especificação para Ensaio Dinâmico de Baixa Tensão em Estacas
França	Norma Francesa NFP 94-160-2; NFP 94-160-4	Solo: Investigação e Ensaio de Asculação para Fundações através do Método dareflexão/impedância
Alemanha	DGGT	Recomendação de Integridade de Fundações Profundas
Inglaterra	Instituição de Engenheiros Civis (ICE)	Especificação de Estacas
E.U. A	ASTM D 5882	Método de teste padrão de baixa tensão para a integridade de estacas

4.2.7.1. Conferência Técnicas do PIT

A primeira Conferência Internacional sobre a Aplicação da Teoria da Equação de Onda em Estacas foi realizada em 1980, na Suécia. No Brasil, o primeiro evento bem-sucedido foi organizado pela ABMS e pelo IPT em São Paulo, denominado “Feira da Dinâmica”, em 1994.

Na Tabela infra, apresenta-se as conferências internacionais específicas sobre o tema, bem como o número total de artigos apresentados, os relacionados com o PIT e sua percentagem em relação aos artigos apresentados.

Tabela 3: Conferências Internacionais realizadas, número de artigos gerais e números de artigos relacionados com o PIT (Retirado de Mucheti, 2008).

Ano	Local / País	N.ºArtigos	N.ºArtigos (PIT)	% (PIT)
1980	Estocolmo / Suécia	24	5	20
1984	Estocolmo / Suécia	54	5	9
1988	Otawa / Canadá	88	13	15
1992	Haia / Holanda	107	16	15
1996	Orlando / EUA	101	21	21
2000	São Paulo / Brasil	100	14	14
TOTAL/MÉDIA		474 / 79	74 / 12	16

4.3. Interpretação dos Resultados

A análise dos registos obtidos no ensaio de cada estaca é realizada no domínio do tempo, para o que se considera uma velocidade de propagação da onda sónica no betão, que, em média, toma o valor de 4000 m/s. São identificadas as profundidades onde ocorrem as reflexões, em particular no pé da estaca e em zonas singulares onde se verificam estreitamentos, alargamentos ou interrupções no betão das estacas.

Com o objectivo de sintetizar a informação obtida a partir dos ensaios sónicos, foi adaptada a partir da classificação elaborada pela GRL, Engineers, Inc., um sistema de classificação que agrupa os diferentes tipos de resultados, em função da qualidade destes. As estacas são assim distribuídas por 6 grupos distintos, de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 4: Classificação adaptada a partir da classificação da GRL Engineering (Fonte: ECM 2019)

Classificação	Descrição
AA	ESTACA DE BOA QUALIDADE Sem anomalias significativas (registro limpo e apenas com duas reflexões, a do topo e da base da estaca)
AB	SEM ANOMALIAS SIGNIFICATIVAS Sem anomalias significativas na impedância do sinal, e sem observação clara da reflexão de base.
AC (x)	SEM ANOMALIAS SIGNIFICATIVAS (até uma profundidade de x) Sem anomalias significativas, contudo, sem observação da reflexão de base. Nestes casos, o comprimento total da estaca poderá não ter sido ensaiado.
PF (x)	ANOMALIAS POUCO SIGNIFICATIVAS (a uma profundidade de x) Evidencia uma ou mais do que uma variação de impedância acústica, ao longo do fuste da estaca, observando-se claramente a reflexão de base.
PD (x)	DEFEITO PROVÁVEL (a uma profundidade de x) Clara evidência de uma ou mais do que uma variação de impedância acústica, com ausência da reflexão de base.
IV/IR	RESULTADOS INCONCLUSIVOS Topo da estaca com qualidade fraca, ou geometria complexa.

4.4. Execução dos Ensaio de integridade (PIT)

Para realização dos ensaios de integridade (PIT), preparou-se às estacas conforme recomendações do item 4.2.2. do presente trabalho.

Foram observados todos cuidados necessários quanto a superfície do topo das estacas (devidamente saneada e eliminado todo betão contaminado), na fixação do acelerômetro e a aplicação do golpe do martelo, pois ambos influenciam diretamente na qualidade do sinal obtido.

Para realização e interpretação dos ensaios PIT, contratou-se a empresa ECM – Engenheiros Consultores de Moçambique, subcontratada para realização das campanhas de ensaio síncos para Testes e avaliação da integridade das estacas.



Figura 26: Execução dos Ensaios de Integridade (Fonte: Autor deste trabalho)

Este estudo objetivou estabelecer padrões de boa e má execução para o processo executivo, avaliando-se os dados através dos ensaios de integridade (PIT).

4.4.1. Características das Estacas Submetidas ao Ensaio

Neste item apresenta-se a análise dos ensaios de integridade (PIT) realizados em 22 estacas de betão armado das 876 unidades existente na empreitada de construção do cais 6, 7 e 8 do Porto de Maputo, a pedido da Mota–Engil África (Moçambique), responsável pela realização trabalhos geotécnicos no projecto.

As estacas foram executadas com particularidades executivas iguais, em terrenos propícios e não propícios à ocorrência de problemas na integridade do fuste das estacas. a escolha deste lote foi devido a resultados obtidos, distintos, mesmo com características executivas idênticas.

Tabela 5: Resumo das características das estacas a ensaiar (Fonte: Autor deste trabalho)

	Estacas	Data de betonagem	Dias	comprimento da camisa (m)	Estaca	
1	A3-86	17/6/2020	96	17,6	27,5	Saneadas
2	B3-86	16/7/2020	67	20,5	32,5	Saneadas
3	G3-86	17/6/2020	96	17,1	33,0	Saneadas
4	H3-86	5/6/2020	108	15,5	34,8	Saneadas
5	I3-86	26/5/2020	118	15,3	34,7	Saneadas
6	G3-87	18/6/2020	95	17,1	33,0	Saneadas
7	H3-87	5/7/2020	78	15,6	34,8	Saneadas
8	I3-87	29/5/2020	115	15,3	34,7	Saneadas
9	A3-88	27/6/2020	86	17,8	32,4	Saneadas
10	B3-88	10/7/2020	73	20,7	31,5	Saneadas
11	C3-88	10/7/2020	73	20,6	31,8	Saneadas
12	D3-88	11/7/2020	72	17,5	29,7	Saneadas
13	E3-88	10/7/2020	73	16,2	28,6	Saneadas
14	F3-88	20/8/2020	32	16,3	29,4	Saneadas
15	G3-88	18/8/2020	34	14,2	29,3	Saneadas
16	H3-88	19/8/2020	33	13,9	30,2	Saneadas
17	I3-88	15/8/2020	37	15,0	31,1	Saneadas
18	J3-86B	7/7/2020	76	13,1	20,6	Saneadas
19	J3-87	15/7/2020	68	12,6	18,6	Saneadas
20	J3-87B	17/7/2020	66	12,5	18,6	Saneadas
21	J3-88	16/7/2020	67	12,0	19,1	Saneadas
22	J3-89	18/7/2020	65	12,0	18,7	Saneadas

4.4.2 Análise de Dados

Conforme mencionado ao longo do desenvolvimento desse estudo/trabalho, no item 4.2.5.1. os registos obtidos indicam que a velocidade da onda sônica em betão tem uma faixa entre 3700 e 4300 m/s, com valor médio de 4000 m/s. Portanto, este último valor é o considerado na análise dos registos obtidos.

Da análise dos registos as principais características que se destacam são:

- Todas as estacas apresentam aumento de impedância (com baixa amplitude em **I3-88**), localizado em diferentes profundidades que estão principalmente correlacionadas com o aumento da secção após a extremidade do revestimento e/ou com transição geológica; alargamento, conforme ilustrado na figura 22, deste trabalho.

- A estaca **B3-86** apresenta um pequeno decréscimo de impedância a cerca de 11,5 m de profundidade, seguido por um aumento de impedância, que está correlacionado com a presença de algum material anômalo que transitou para o betão normal, com continuidade de cima para baixo da estaca, sem identificação clara da reflexão da ponta do pé, mas com mudança nas características do sinal após sua posição esperada;
- A estaca **H3-87** apresenta um decréscimo de impedância em cerca de 32,7 m de profundidade, o que é correlacionado com uma redução de secção de estaca ou pé de estaca; conforme ilustrado na figura 22, deste trabalho.
- A reflexão da ponta da estaca é identificável nas estacas **C3-88, D3-88, E3-88, G3-86, H3-88** (com baixa amplitude), **J3-86B, J3-87, J3-87B, J3-88 e J3-89** em aproximadamente a profundidade indicada; nos registos obtidos, no restante as características do sinal das estacas são diferentes após a posição esperada do pé da estaca.

Dada a análise apresentada na secção anterior, a classificação da integridade da estaca da campanha em epigrafe é apresentado na abaixo.

Pile	Classification					
	AA	AB	AC (m)	PF (m)	PD (m)	IR
A3-86	-	X	-	-	-	-
B3-86	-	-	-	-	11.5	-
G3-86	X	-	-	-	-	-
H3-86	-	X	-	-	-	-
I3-86	-	X	-	-	-	-
G3-87	-	X	-	-	-	-
H3-87	-	-	-	-	32.7	-
I3-87	-	X	-	-	-	-
A3-88	-	X	-	-	-	-
B3-88	-	X	-	-	-	-
C3-88	X	-	-	-	-	-
D3-88	X	-	-	-	-	-
E3-88	X	-	-	-	-	-
F3-88	X	-	-	-	-	-
G3-88	-	X	-	-	-	-
H3-88	X	-	-	-	-	-
I3-88	-	X	-	-	-	-
J3-86B	X	-	-	-	-	-
J3-87	X	-	-	-	-	-
J3-87B	X	-	-	-	-	-
J3-88	X	-	-	-	-	-
J3-89	X	-	-	-	-	-

Figura 28: Classificação de integridade das estacas submetidas ao Ensaio Sónico (Fonte: ECM, 2020)

A partir dos resultados obtidos, foi observado que, das 22 estacas ensaiadas, 2 apresentaram variação de impedância – cerca de 9% do total dos elementos testados (Gráfico 1):

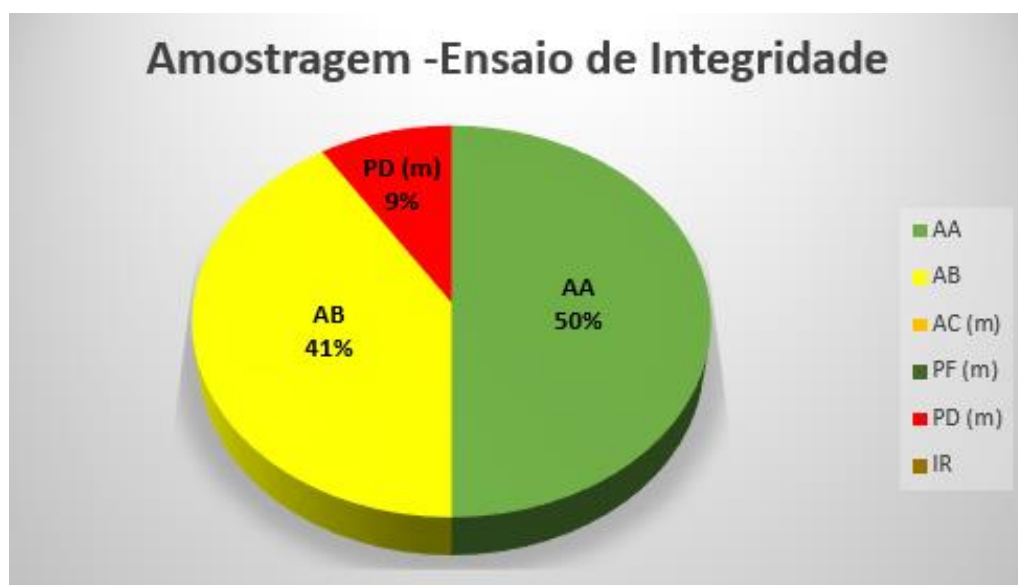


Gráfico: 1 - Amostragem Percentual das Estacas Ensiadas, Segundo Classificação (Fonte: Autor deste trabalho)

4.4.3. Carotagem

Em estacas onde tivemos resultados com classificação **PD - DEFEITO PROVÁVEL** (a uma profundidade de x), clara evidência de uma ou mais do que uma variação de impedância acústica, com ausência da reflexão de base, como ilustrado na tabela 4 deste trabalho.

Era feita uma carotagem ao comprimento da estaca até pelos menos 2 metros abaixo da cota onde se verifica a anomalia e analisadas as amostras recolhidas em termos da qualidade do betão ou se existe alguma descontinuidade no corpo da estaca, enviava-se ao projectista, onde era emitida uma Nota Técnica para proceder com a reparação da mesma.

A corotagem, obriga à verificação do estado da estaca através da obtenção de testemunhos por meio de carotes. Consiste num método tradicional de verificação de integridade cuja eficiência depende da coincidência da passagem da broca pela região do dano, principalmente em estacas de grandes diâmetros onde a amostra recolhida pode não ser demonstrativa do verdadeiro estado da estaca. (Penteado & Brito, 2009).

Para proceder com a reparação da estaca pós análise de carotes seguia-se o especificado na Nota Técnica do Projectista, onde, em geral:

- Após a análise dos carotes o projectista define o tipo de armadura de reforço (na obra do nosso estudo era com varões *Dywidag* de Ø32 e selados com Grout da Sika).

Por fim, efectua-se a selagem do furo deixado pelo carote, neste caso era grout e pode ser também com calda de cimento, conforme instrução da nota técnica, introduzida por gravidade ou injectada, caso a estaca apresente um resultado satisfatório.



Figura 29: Execução de Carotes à esquerda e amostragem de carotes à direita (Fonte: Autor deste trabalho)



Figura 30: Selagem da Estaca com grout à esquerda e Colocação da Armadura à direita (Fonte: Autor deste trabalho)

4.5. Outras Técnicas de Monitorização, Controlo de Qualidade e Avaliação da Integridade das Estacas de Betão Armado

Além do PIT (as vezes chamado também de método sônico, ou "sonic echo"), são mencionados os seguintes processos que também permitem determinar a integridade de estacas de fundações:

- 1. Método de resposta transiente ("transient response method" ou "impulse response method")** - utiliza o mesmo equipamento que o PIT, porém interpreta os sinais no domínio da frequência. O programa PIT-W Professional normalmente usado na interpretação dos sinais do PIT possui a possibilidade de análise no domínio da frequência, portanto na realidade este método pode ser usado em qualquer ensaio efetuado com martelo instrumentado (PIT-FV). O método foi desenvolvido por Paquet em 1968 para permitir o controle de qualidade do grande número de estacas escavadas utilizadas na França, com a intenção de tornar o PIT mais informativo, principalmente levando em conta o perfil naturalmente irregular deste tipo de fundação. Inicialmente, o método consistia em vibrar uma massa no topo da estaca até uma frequência da ordem de 2000 Hz e medir a resposta da estaca por meio de um geofone. Atualmente a excitação de frequência variável é fornecida pelo golpe do martelo de mão, o qual induz uma vibração transiente com componentes de frequência adequados para o ensaio. O método de resposta transiente é pouco empregado entre nós.
- 2. Ensaio "cross-hole" ou "sonic logging"** - exige que a estaca seja betonada com pelo menos dois tubos metálicos ou de PVC no seu interior. Após a cura do concreto os tubos são cheios com água, e posteriormente um emissor de ultrassom é baixado através de um dos tubos, ao mesmo tempo que um receptor é baixado pelo outro tubo. A análise se baseia no fato de que o tempo entre a emissão e a recepção e a intensidade do sinal recebido dependem da qualidade do material atravessado pelo ultra-som. Este método tem algumas vantagens sobre o PIT, entre as quais: 1) sensibilidade independente do comprimento; 2) possibilidade de detecção de múltiplos danos; 3) possibilidade de detecção de danos perto da ponta; 4) insensibilidade a variações de resistência do solo. A grande desvantagem deste método é a exigência dos tubos (para estacas de maior diâmetro são exigidos três, quatro ou mais), porém pode-se citar também: 1) incapacidade de detectar danos fora do alcance dos tubos; 2) maior tempo de execução de cada ensaio; 3) maior custo. Para estacas de pequeno diâmetro é possível o ensaio usando um só tubo, o que pode ser interessante para estacas raiz. O método foi usado

algumas poucas vezes no Brasil. A Pile Dynamics fabrica um equipamento de "cross-hole" denominado CHA.

- 3. Método sísmico paralelo ("*parallel seismic*")** - foi desenvolvido na França em meados dos anos '70, objetivando principalmente a determinação da integridade de estacas em estruturas já existentes. Requer que seja escavado um furo de sondagem adjacente à estaca a ser testada, com profundidade um pouco maior do que a prevista para a mesma. Um tubo de ponta fechada é então introduzido no furo, e posteriormente cheio com água. Um sensor especial (hidrofone) é baixado até o final do tubo, e levantado em incrementos de comprimento fixos, enquanto a estrutura é golpeada o mais próximo possível da estaca. O tempo decorrido entre o golpe e o recebimento do sinal pelo hidrofone é medido para cada incremento, e a variação deste tempo com o comprimento é determinada. Esta variação será linear, a menos que a onda tenha que atravessar algum defeito, ou quando o final da estaca for alcançado. Não temos conhecimento da aplicação deste método no Brasil.

- 4. Ensaio de alta deformação ("*high strain integrity testing*")** - é na realidade um ensaio de carregamento dinâmico, executado com a finalidade de determinar a integridade da estaca. Exige a aplicação de um golpe com martelo pesado e a colocação de sensores de força e velocidade no fuste da estaca. Por utilizar martelo pesado não possui as limitações do PIT em termos de comprimento máximo, e por utilizar sinal de força é capaz de também fornecer dados quantitativos de eventuais danos.

- 5. Obtenção de testemunhos por meio de broca ("*core drilling*")** - é um tradicional método de verificação de integridade, cuja eficiência depende da verticalidade do furo e da coincidência da passagem da broca pela região do dano.

Deve-se também mencionar a prova de carga estática como um método de avaliação do comportamento da estaca submetida a carregamento real, o que também fornece informações quanto a sua integridade.

Informação tirada do <http://www.pdi.com.br/PIT-port.htm> 22/06/2022 17:38

CAPÍTULO V

5. Conclusões e Sugestões

5.1. Conclusão

A realização deste trabalho, permitiu ampliar os conhecimentos sobre o comportamento das fundações profundas em estacas, sobre a interação das estacas com o solo e também sobre a influência da existência de possíveis imprecisões nos resultados dos ensaios.

Foi possível conhecer também a existência dos diferentes tipos de ensaios disponíveis para análise de integridade e desempenho das estacas moldadas (*in situ*) de betão armado e não só, e a necessidade de verificar a integridade desses elementos após sua execução.

Dada a importância da fundação no desempenho de qualquer construção e, diante da impossibilidade de atestar visualmente a integridade de estacas, a utilização de ensaios pós-executivos se mostra imprescindível, mesmo diante de controlo minucioso na fase de execução, as estacas estão sujeitas a apresentar falhas.

O ensaio PIT é pratico e de fácil execução, pois possui equipamentos de pequenas dimensões e permite verificar de modo rápido a integridade das estacas, contudo detém certa limitação quando se trata de estacas muito compridas – maiores que 30 vezes o diâmetro da estaca e, ainda não é normatizado em Moçambique, embora seja exigência de alguns projectos de grande envergadura no solo pátrio.

Nesse aspecto ainda há muito a se progredir em Moçambique, principalmente na política das empresas de construção em Moçambique que, para reduzir os custos, não dão a devida importância a verificação da integridade dos elementos. A falta dessa prática pode resultar em custos avultados caso a obra venha registar algum problema no desempenho e necessitar de reforços futuros.

A realização deste ensaio no caso de estudo pesquisado foi de suma importância pois as suas informações acerca das condições das estacas quanto à sua integridade, permitiram tomar decisões como aceitar alguns reforços no caso de estacas que apresentaram danos ao longo do fuste que pudessem comprometer a estrutura a ser suportada. As análises feitas foram de grande valia para a empreitada de Reconstrução do Cais 6, 7 e 8 do Porto de Maputo que já se encontra operacional.

5.2. Sugestões

De acordo com Sena (2016), “Não se erra se dissermos que, dentro da Engenharia Civil, a especialização em Fundações é a que requer maior vivência e experiência” (VELLOSO E LOPES, 2012). As fundações podem ser consideradas a parte mais importante da estrutura, por suportar todas as cargas provenientes do seu próprio peso e as cargas decorrentes de seu uso. É sempre importante possuir uma grande gama de informações sobre as características do subsolo e sobre as cargas da estrutura para que não haja equívocos no projeto.

Diante disso, sugere-se atenção especial a execução de estacas, com ênfase as moldadas “*in situ*”, de Betão Armado, que se tenham informações sobre o perfil geotécnico do solo e características das estacas, da utilização de materiais de boa qualidade e controle durante a execução e também se recomenda a capacitação/qualificação do pessoal envolvido na execução da actividade (equipe ou mão de obra) ou empresa responsável e executora dos testes ou ensaios de controle. Estes cuidados são fundamentais na garantia da integridade e desempenho das fundações, contribuem significativamente para o sucesso e qualidade da obra, com essa boa prática pode se evitar o surgimento de patologias que comprometeriam o seu desempenho ou até mesmo sua utilização futura.

É importante também sempre analisar os resultados dos ensaios, se está em concordância com o perfil do solo e as demais informações disponíveis (comprimento da estaca, etc), tornando a análise mais completa, apurada e precisa.

Por fim, sugere-se também a ter cuidado na escolha da empresa que será responsável pela execução dos ensaios. Tem de ter profissionais treinados e capacitados para garantir uma correcta aplicação dos ensaios, interpretação dos resultados e elaboração de relatórios e gráficos que possam auxiliar os projetistas e responsáveis pela obra em suas tomadas de decisão.

6. Bibliografia

Livros

- Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. (2003): Fundamentos de Metodologia Científica 1. Atlas Editora. 5a ed. São Paulo;
- Gerhardt, T.E; Silveira, D.T. (2009): Métodos de Pesquisa. UFRGS editora. 1ª ed. Porto Alegre;
- GIL, A. C. (1999): Métodos e técnicas de pesquisa social. Atlas Editora. 5a ed. São Paulo;
- Azeredo, H. A (1997): O Edifício até Sua Cobertura. Editora Edgard Blücher Ltda. 2ª ed. São Paulo.
- Milititsky, J; Consoli, N. C; Schnaid, F (2015): Patologia das Fundações. 2a ed. São Paulo.

Revistas e Publicações (Teses)

- Martinho, F. M. C. (2017): Dimensionamento de Fundações Superficiais e Profundas de Acordo com os eurocódigos – aplicação a um caso de estudo. Porto.
- Da Silva, R.R.C; Santos, J.S; Sampaio, G.R; Marcolino, J.C; Oliveira, R.C (2020): Avaliação da integridade de estacas tipo raiz através de ensaio não destrutivo Pile Integrity Test associado a sondagem SPT. São Paulo.
- Senhorini, G.A. (2017): Estudo Numérico da Avaliação de Integridade de Estacas de Concreto com o Ensaio *Pile Integrity Test* (PIT). Campo Mourão.
- Francisco, R. F. F (2007): Caracterização técnico-económica dos diferentes tipos de fundações profundas. Lisboa.
- Minayo, M. C. S (2007): O desafio do conhecimento. Pesquisa qualitativa em saúde. São Paulo;
- FONSECA, J. J. S. (2002): Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza.
- Perreira, B. R; Lopes, W. M (2018): Patologia das Fundações: Recalque Diferencial em Fundações sobre Aterro. São Paulo.
- Guedes, E. P. A; Marotti, J.C; Souza, A. L; Fernandes, A. S. C (2018): Avaliação do Controle de Qualidade em Ensaio de Integridade em Estacas Hélice Contínua. Volume 3. Rio de Janeiro.

- Tavares, I. S. M (2016): Método de Execução de Estacas Moldadas: Trado Contínuo versus Tubo Moldador Recuperável. Aveiro;
- Carneiro, V. J. C (2012): Edifício do Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões: Acompanhamento dos trabalhos de Fundações e Estruturas de Suporte. Porto.
- Mucheti, A. S (2008): Estacas Hélice Segmentada: Execução, Verificação de Integridade e Estudo do Comportamento. São Paulo.
- Brochero, J. L. R (2014): Caracterização Geotécnica do Campo Experimental da UFRGS em Areia. Porto Alegre.
- Da Rocha, D. H. P (2014/2015): Estudo da integridade e capacidade de estacas em fundações. Porto.
- Da Costa Ferreira, L. H (2012): Execução de Estacas – Caso Prático. Aveiro.
- Sena, Leonardo (2016): Estudo de caso sobre projeto de fundações por sapatas e por estacas. Florianópolis – SC
- Procedimentos operacionais da execução de actividades (Method Statement) da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

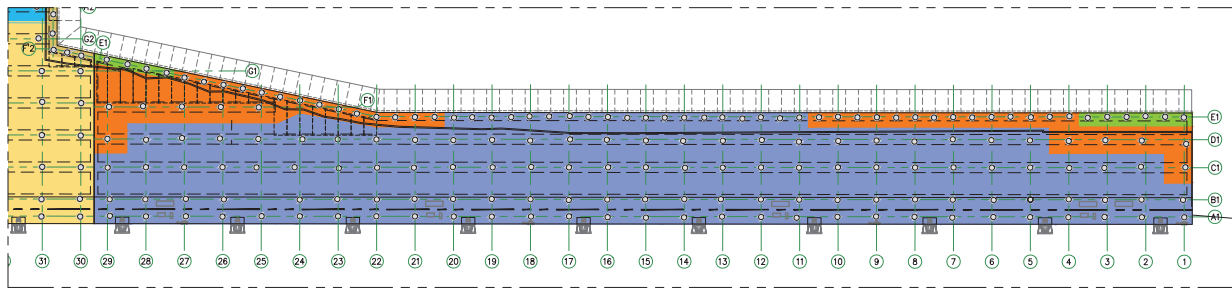
Sites Eletrónicos

- <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/181714>. Acesso em: 13 abr. 2022.
- <https://compraco.com.br/collections/camisas-metalicas-e-tubuloes>. Acesso em: 03/05/2022 14:24
- <https://www.cfm.co.mz/index.php/pt/infraestruturas/porto-de-maputo>. Acesso em: 04 mai. 2022
- <http://www.pdi.com.br/PIT-port.htm>. Acesso em: 22 jun. 22.

Normas

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- ASTM D5882-07 (2013), “Standard test method for low strain impact integrity testing of deep foundations”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

Anexos

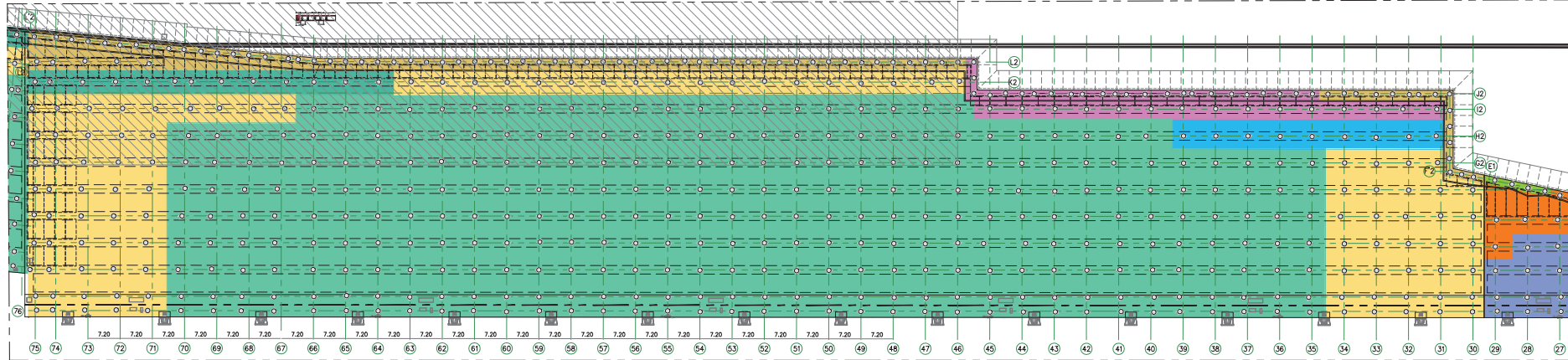
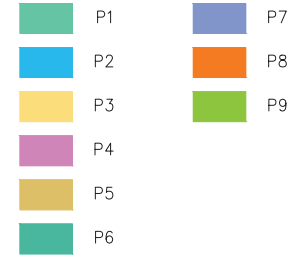


GENERAL PLAN - MODULE 1
SCALE: 1:500

MODULE 1

GRID	29	-28	27-25	24-21	20-11	10-5	-4	3-2	-1
Land Side	6	6	5	5	5	5	5	5	5
Beam	P9	P9	P8	P8	P7	P8	P8	P9	P9
F1	11	11	10						
D1	10	10	10	10	10	10	10	10	10
P8	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P8	P8	P8
C1	10	10	10	10	10	10	10	10	10
P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P8
B1	8	8	8	8	8	8	8	8	8
P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7
A1	10	10	10	10	10	10	10	10	10
P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7

PILE REINFORCEMENT

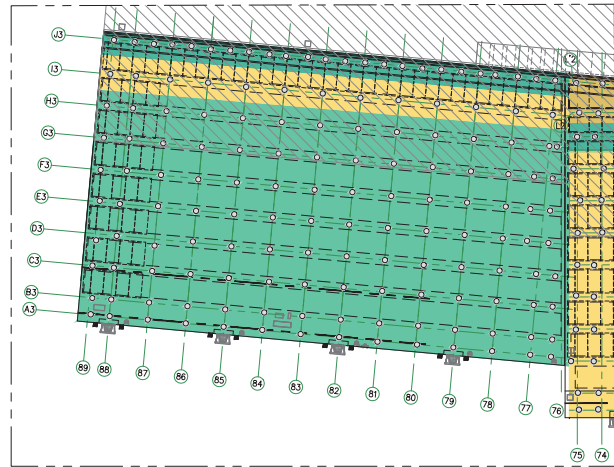


GENERAL PLAN - MODULE 2
SCALE: 1:500

MODULE 2

GRID	75-71	70-68	67-64	63-46	45-40	39-35	34-31	-30
Land Side	8	8	8	8	5	5	5	5
Beam	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P5	P5
K2'	16							
P8								
K2	15	15	15	15				
P6	P6	P6	P6	P6				
I2	16	15	15	19	7	7	7	
P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	
H2	16	16	16	16	10	10	10	
P2	P2	P2	P2	P1	P2	P2	P2	
G2	12	12	12	13	10	10	10	
P2	P2	P2	P2	P4	P1	P1	P3	
F2	10	10	10	10	10	10	10	10
P3	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P3	P3
E2	10	10	10	10	10	10	10	10
P3	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P3	P3
D2	10	10	10	10	10	10	10	10
P3	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P3	P3
C2	10	10	10	10	10	10	10	10
P3	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P3	P3
B2	8	8	8	8	8	8	8	8
P3	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P3	P3
A2	8	8	8	8	8	8	8	8
P3	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P3	P3

LIVE LOAD 96kN/m2



GENERAL PLAN - MODULE 3
SCALE: 1:500

MODULE 3

GRID	89-77	76
Land Side	6	
Beam	P6	
I3	16	
P2		
H3	15	16
P1	P1	
G3	12	12
P3	P4	
F3	10	10
P1	P1	
E3	10	10
P1	P1	
D3	10	10
P1	P1	
C3	10	10
P1	P1	
B3	10	10
P1	P1	
A3	9	9
P1	P1	

KEY

GRID	Transversal Grid
Longitudinal Grid	Penetration (m) in GZ28 - "Ponta Vermelha", SPT>60 Reinforcement Type

PORT LAYOUT TOPOGRAPHIC SURVEY OF MAPUTO PORT - FEBRUARY/MARCH 2014

REV.	DATE	DRN.	CHK.	APP.	DESCRIPTION
AB	20/02/21	M.M.	J.P.S.	J.P.S.	AS BUILT DRAWING
C4	05/08/19	D.C.	J.P.	J.P.	PENETRATION LENGTHS IN ALIGNMENTS A3 AND B3
O3	25/07/19	D.C.	J.P.	J.P.	GENERAL REVISION - LIVE LOAD 96kN/m2
O2	21/05/19	D.C.	J.P.	J.P.	PILE PENETRATION IN PONTA VERMELHA SPT>60
O1	14/09/18	D.C.	J.P.	J.P.	GENERAL REVISION
		D.C.	J.P.	J.P.	FIRST SUBMISSION

THIS DRAWING IS PROPERTY OF PROMAN. IT MUST NOT BE USED, REPRODUCED IN PART OR WHOLE, OR COMMUNICATED TO THIRD PARTIES WITHOUT PROMAN'S AUTHORIZATION.

CLIENT: MAPUTO PORT DEVELOPMENT COMPANY

PROJECT: CONSTRUCTION OF BERTHS 6, 7 & 8 AT MAPUTO PORT

TITLE: ALTERNATIVE DESIGN
REINFORCEMENT DETAILS
GENERAL DETAILS

DESIGN: J. WINTAS
DRAWN: A. CRUZEIRO
CHECKED: J. FERRO
APPROVED: J. FERRO

SCALE: INDICATED

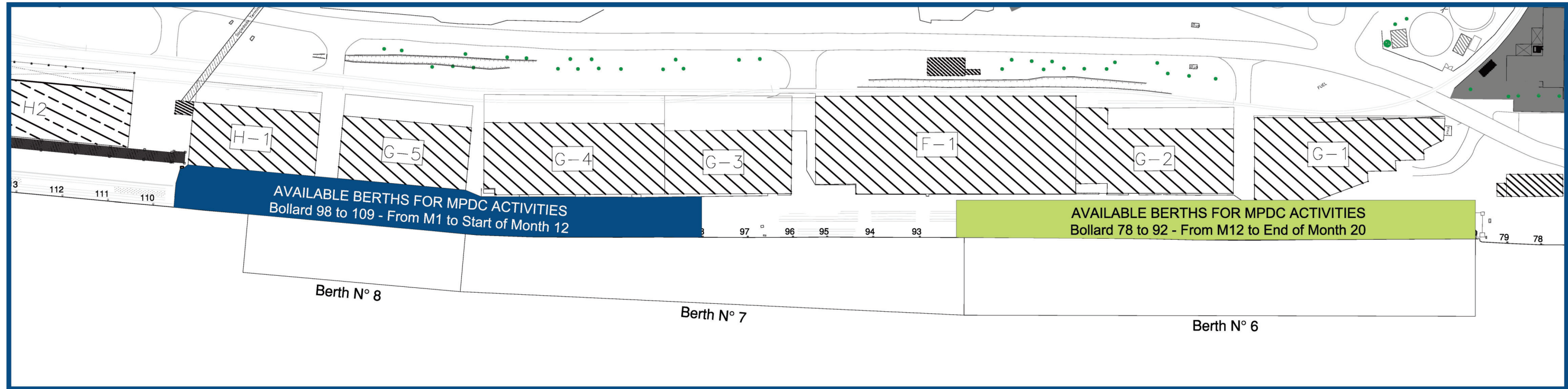
DRAWING N°: 16066-3.EMP.RE.009 AB

REVISION: REPLACES DRAWING N°
REPLACED BY DRAWING N°

DESIGNER/FILE: PROMAN
16066-3.EMP.RE.009 AB.DWG

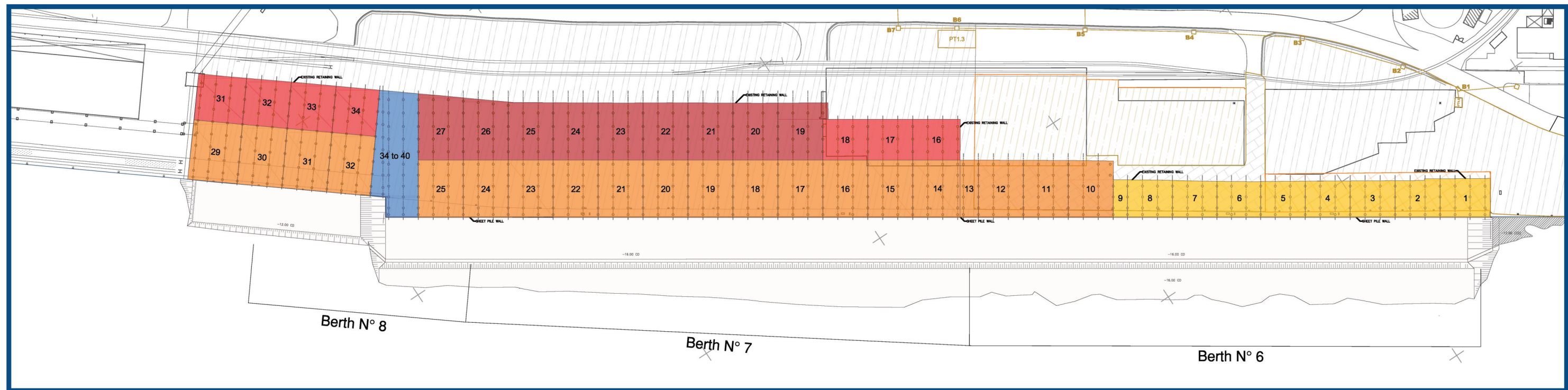
PLAN VIEW

AVAILABLE BERTH AREAS FOR MPDC ACTIVITIES DURING CONSTRUCTION
(Option 1)



PLAN VIEW

SUPERSTRUCTURE CONCRETE CASTING (in weeks)
Total = 40 Weeks
(Option 1)



Legend

- SLIDING FORM - MODULE 1
- SLIDING FORM - MODULE 2
- CONVENTIONAL CASTING FORM
- SLIDING FORM - MODULE 1.1 Conversion
- SLIDING FORM - MODULE 2.2 Conversion

(*) or its equivalent



**CONSTRUCTION OF BERTH 6, 7 AND 8 AT
MAPUTO PORT**

MARINE WORKS CONSTRUCTION METHODS

BERTHS 6,7 & 8
Works Scheduling
E2216.CM.ALT.00





**CONSTRUCTION OF BERTH 6, 7 AND 8 OF
MAPUTO PORT
PILE INTEGRITY SONIC TEST**

PILES

A3-86, B3-86, G3-86, H3-86, I3-86, G3-87, H3-87, I3-87, A3-88, B3-88, C3-88, D3-88, E3-88, F3-88, G3-88, H3-88, I3-88, J3-86B, J3-87, J3-87B, J3-88 and J3-89

Document Profile

Client	MOTA – ENGIL AFRICA (Moçambique)
Project	P606 - CONSTRUCTION OF BERTH 6, 7 and 8 OF MAPUTO PORT PILE INTEGRITY SONIC TEST
Type of Document	Technical Note
Revision	00
File Name	006A.19-57
Total Pages	16
Authors	Tarcisio Mapelane / Luís Lopes
External Contributions	-
Project Manager	Fernando Henriques
Date	September, 2020

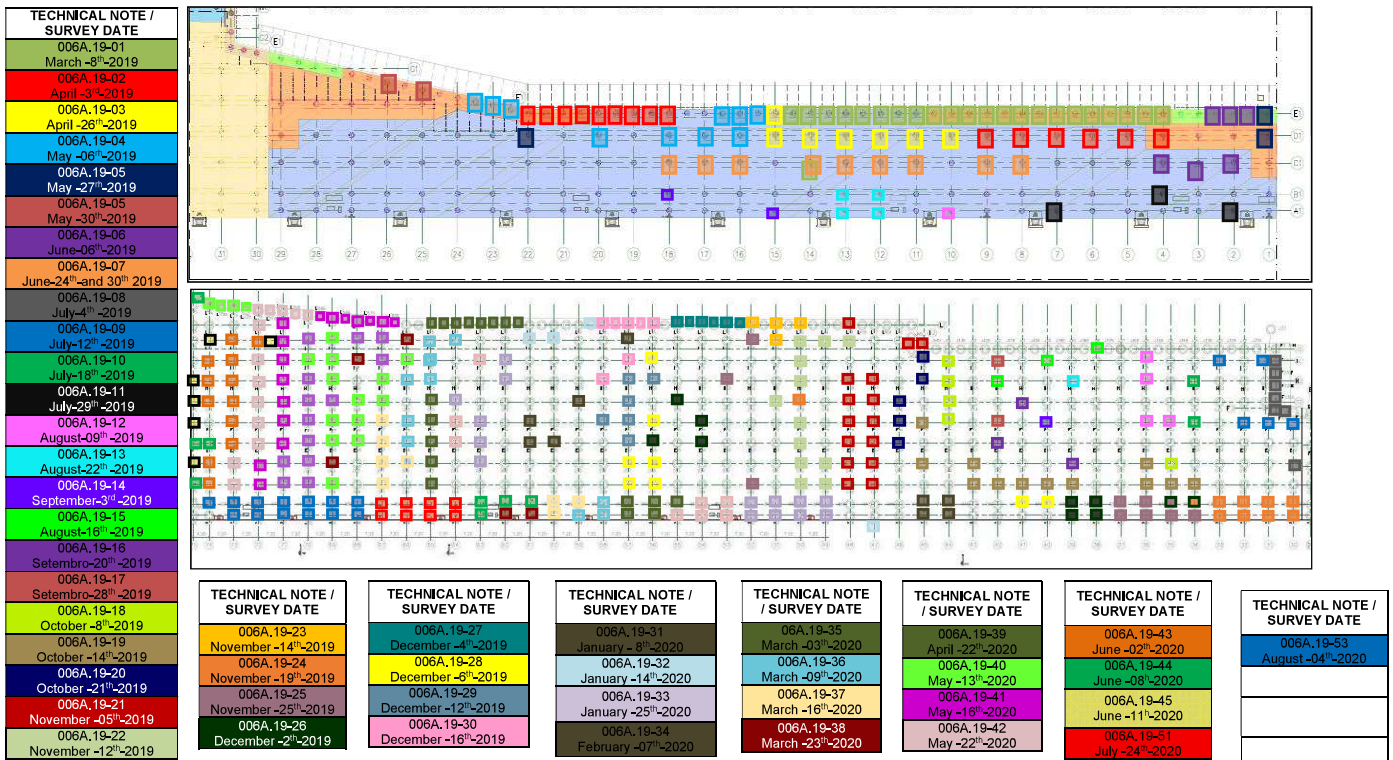
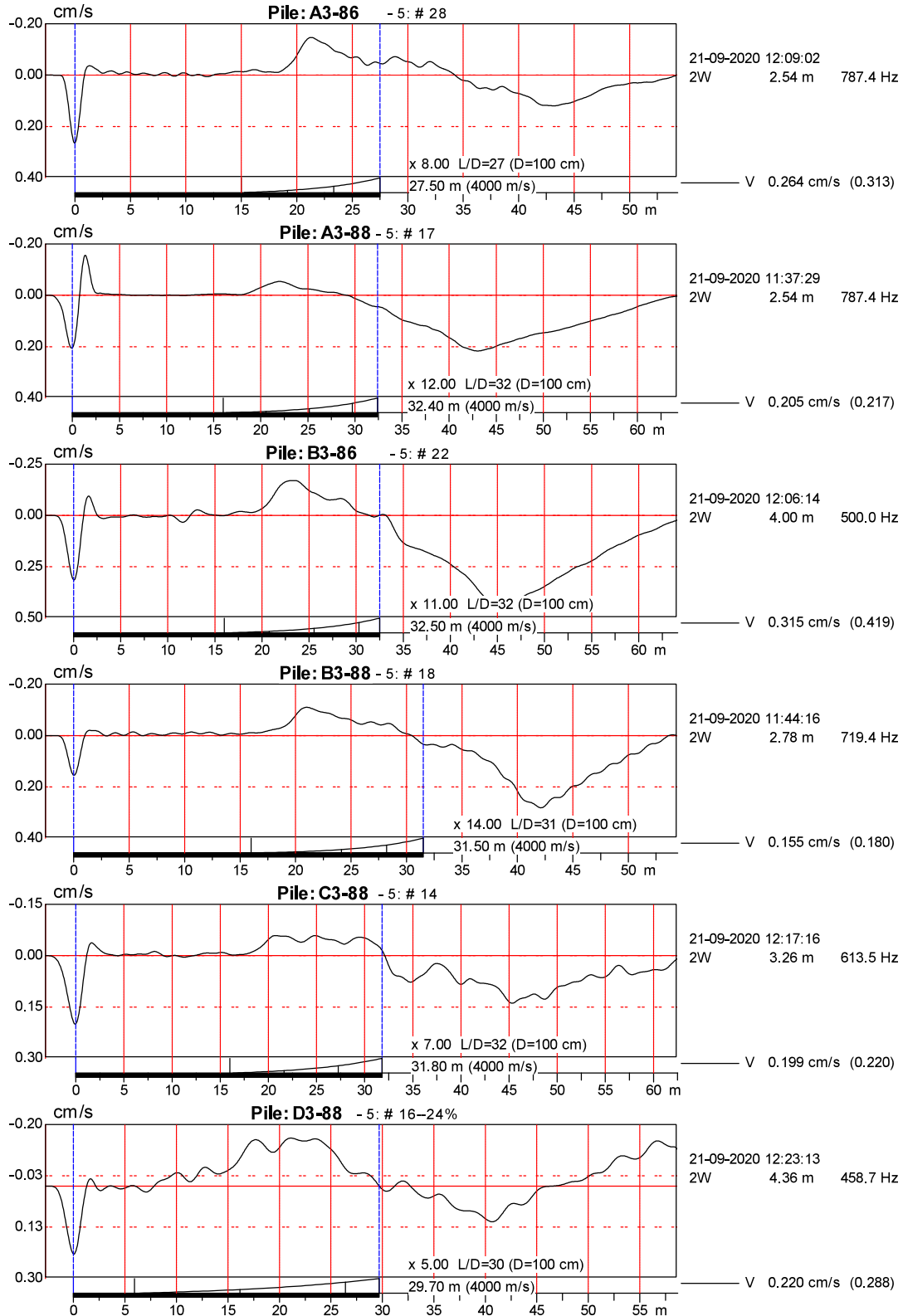
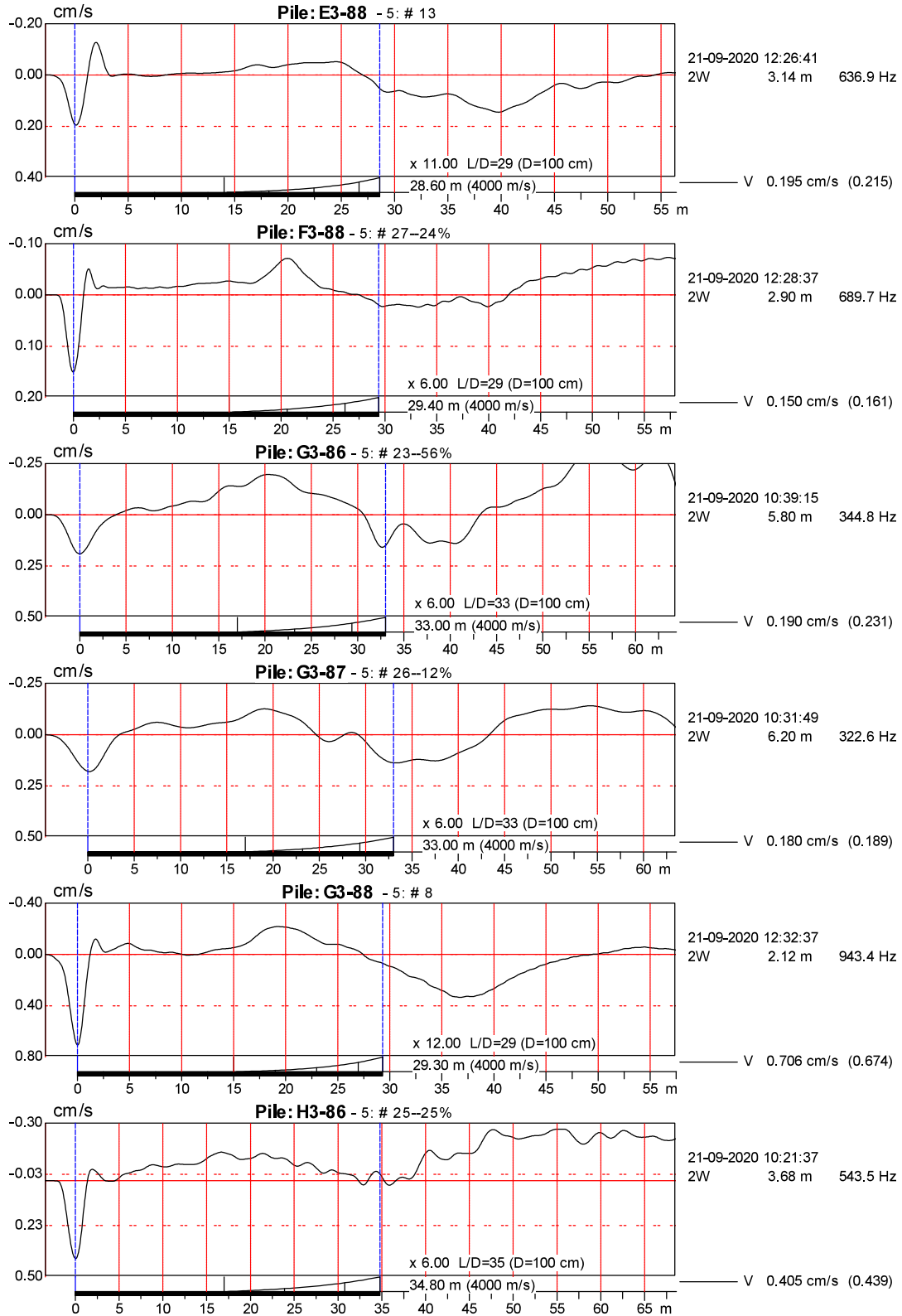


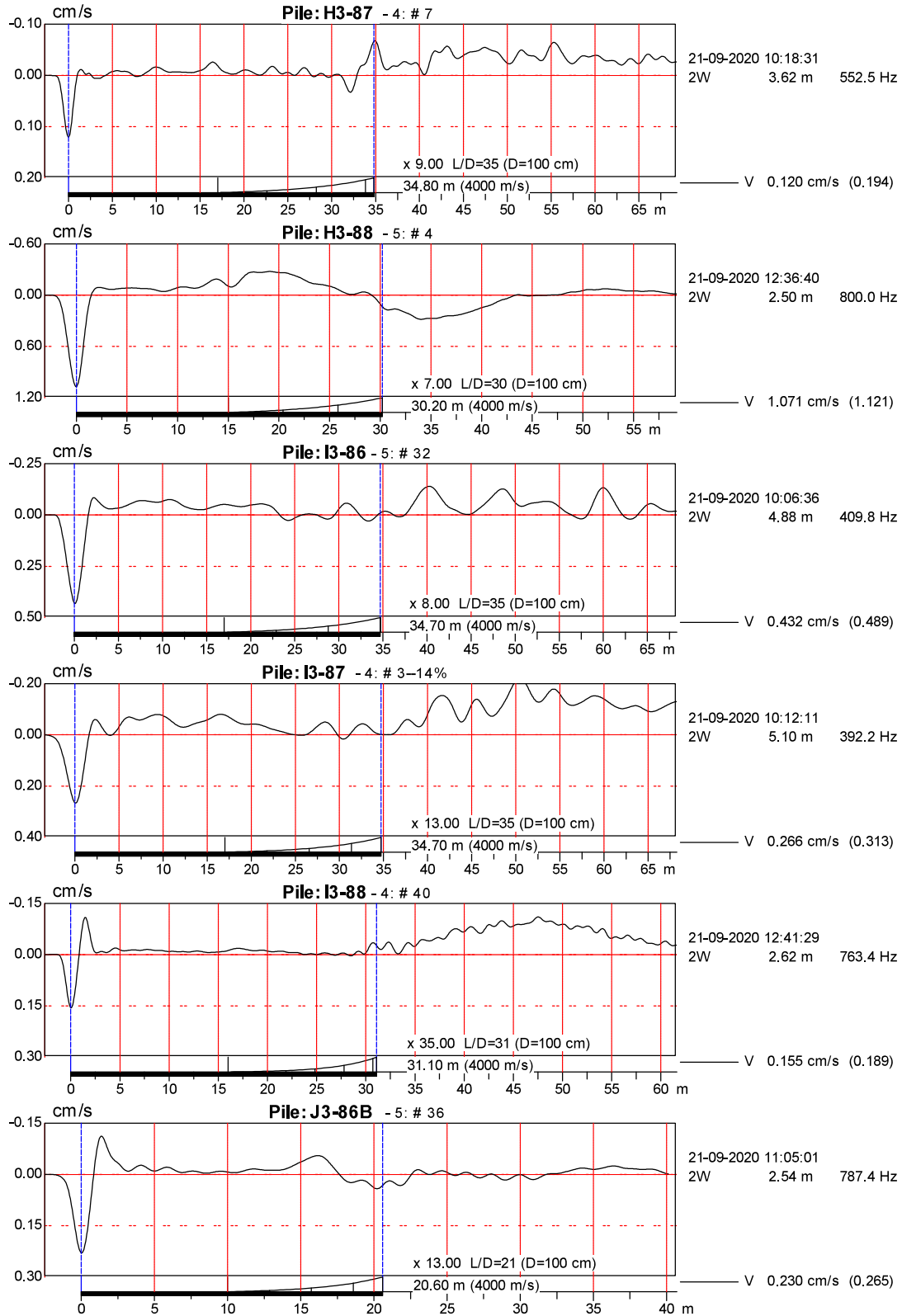
Figure 2 – Partial undation design illustrating berth 6in upper side and berth 7 in lower side

Table 1 – Integrity classification of piles

Classification	Description
AA	GOOD QUALITY PILE – No signal anomalies, with well identified signals from head and toe
AB	PILE WITHOUT MAJOR ANOMALIES – No major signal impedance anomalies, but without clear toe's reflection
AC (x)	PILE WITHOUT MAJOR ANOMALIES – No major signal impedance anomalies until x (m) depth, but without clear toe's reflection (there is the probability of not surveying the entire pile length)
PF (x)	PILE WITH MINOR ANOMALIES – Presence of minor signal impedance anomalies at x (m) depth(s), with clear toe's reflection
PD (x)	PILE WITH A PROBABLE DEFECT – Clear presence of one or more major signal impedance anomalies until x (m) depth, without clear toe's reflection
IR	INCONCLUSIVE RESULT – Bad quality signal over the entire pile's length, without clear toe's reflection







Page 3

