

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Julia Lhul Rosa**

**RADIER ESTAQUEADO: ANÁLISE TÉCNICA, EXECUTIVA E  
FINANCEIRA PARA UMA EDIFICAÇÃO MISTA: ESTUDO DE CASO**

**Porto Alegre  
Agosto 2024**

**JULIA LHUL ROSA**

**RADIER ESTAQUEADO: ANÁLISE TÉCNICA, EXECUTIVA E  
FINANCEIRA PARA UMA EDIFICAÇÃO MISTA: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do  
Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Cesar Alberto Ruver

Porto Alegre

Agosto 2024

JULIA LHUL ROSA

**RADIER ESTAQUEADO: ANÁLISE TÉCNICA, EXECUTIVA E  
FINANCEIRA PARA UMA EDIFICAÇÃO MISTA: ESTUDO DE CASO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 22 de agosto de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

**Thiago Fantinel Ruiz**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profª. Wai Ying Yuk Gehlin (UFRGS)**

Dra. pela Universitat Politècnica de Catalunya

**Ms. Maiki Mafessoli (UFRGS)**

Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Cesar Alberto Ruver (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

Dedico este trabalho à minha mãe Eliane, meu pai Leandro e minha avó Almerinda (in memoriam), por serem os principais apoiadores desse sonho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Eliane e Leandro, por sempre terem me apoiado e incentivado a seguir meu sonho de ser engenheira, me ensinando a ser uma mulher forte e não medindo esforços para que isso fosse possível, o suporte que me deram foi fundamental, obrigada meus amores!

Agradeço ao meu irmão, Arthur, por mesmo que sem entender muito o que eu estava fazendo na época do vestibular, me incentivar e acreditar que eu conseguiria.

Agradeço aos meus avós, Osmar, Loeci e João, mas principalmente a minha avó, Almerinda (in memoriam), por sempre ter me dado apoio e palavras de sabedoria para seguir por esse caminho, mesmo lá no início do ensino médio, quando eu não sabia se seria possível, mas ela já sabia e acreditava na sua “Princesa dos olhos de pérola negra”.

Agradeço ao meu namorado Rafael, por estar comigo nessa jornada tão complexa e exaustiva, primeiro como amigo e hoje como namorado e colega de profissão, por ter segurado minha mão nesses últimos semestres e por acreditar que daria tudo certo.

Agradeço aos meus colegas de obra, Victória, Júlia e Edson, por terem me recebido de braços abertos, mas principalmente ao meu gestor, Thiago, por ter sido paciente com os zilhões de perguntas e esclarecimentos que fiz, e por ter me auxiliado de forma significativa na execução deste trabalho.

## RESUMO

Radier estaqueado é um tipo de fundação mista muito pouco utilizada, tendo uso previsto em casos especiais que dependem da magnitude dos carregamentos combinados e especiais do subsolo, por isso, este trabalho apresenta um estudo de caso detalhado sobre a execução de um radier estaqueado feito para uma edificação mista, no bairro Bela Vista de Porto Alegre/RS, abordando três principais aspectos: análise técnica, executiva e financeira. Na análise técnica, são discutidos os fundamentos do radier estaqueado, explicações conceituais, vantagens e desvantagens de seu uso e os ensaios geotécnicos e de materiais indispensáveis para a caracterização do solo e do concreto, afim de garantir a viabilidade e segurança da estrutura. Inclui-se a revisão da literatura sobre o funcionamento e comportamento do radier estaqueado, critérios normativos aplicáveis e os ensaios de campo e laboratório necessários para avaliar a capacidade de carga do solo e a integridade das estacas. A análise executiva descreve detalhadamente as etapas de execução com abordagem das especificidades do processo, desde a preparação do terreno até a concretagem final. São descritos também os equipamentos utilizados e os procedimentos de controle de qualidade para garantir que a obra siga as melhores práticas de engenharia e cumpra os requisitos técnicos previstos. Já na análise financeira, é realizado um comparativo entre diferentes cenários de execução, considerando custos de materiais e mão de obra, equipamentos e tempo de execução. Este comparativo financeiro permite avaliar a viabilidade econômica do radier estaqueado em relação a outros tipos de fundação, destacando os benefícios e desvantagens econômicas de cada alternativa.

**Palavras-chave:** Radier estaqueado; Edificação mista; Análise técnica; Análise executiva; Estudo de fundações; Ensaios geotécnicos; Viabilidade econômica; Execução de obra.

## ABSTRACT

Piled raft is a type of mixed foundation that is rarely used, being intended for special cases that depend on the magnitude of combined and special subsoil loads. Therefore, this work presents a detailed case study on the execution of a piled raft made for a mixed building, in the Bela Vista neighborhood of Porto Alegre/RS, addressing three main aspects: technical, executive and financial analysis. In the technical analysis, the fundamentals of the piled raft, conceptual explanations, advantages and disadvantages of its use and the geotechnical and material tests essential for the characterization of the soil and concrete are discussed, in order to guarantee the viability and safety of the structure. It includes a literature review on the functioning and behavior of the piled raft, applicable normative criteria and the field and laboratory tests necessary to evaluate the soil's load capacity and the integrity of the piles. The executive analysis describes in detail the execution steps, addressing the specificities of the process, from the preparation of the terrain to the final concreting. The equipment used and the quality control procedures are also described to ensure that the work follows the best engineering practices and meets the expected technical requirements. In the financial analysis, a comparison is made between different execution scenarios, considering costs of materials and labor, equipment and execution time. This financial comparison allows us to evaluate the economic viability of the piled raft in relation to other types of foundation, highlighting the economic benefits and disadvantages of each alternative.

**Keywords:** Piled raft; Mixed building; Technical analysis; Executive analysis; Foundation study; Geotechnical tests; Economic viability; Construction execution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem do empreendimento.....	18
Figura 2 – Separação do empreendimento em suas áreas executivas, Shell e Torres .....	18
Figura 3 – Living do apartamento tipo da Torre A .....	19
Figura 4 – Living do apartamento tipo da Torre B.....	19
Figura 5 – Axométrica do 3º pavimento das Torres.....	20
Figura 6 – Vista aérea do lazer externo .....	20
Figura 7 – Perfuração para instalação do piezômetro denominado como PZ 01 .....	23
Figura 8 – Perfuração dos piezômetros profundos com sondagem rotativa.....	23
Figura 9 – Etapa de instalação do piezômetro com sonda rotativa, com inserção do tubo PVC Geomecânico .....	24
Figura 10 – Etapa de preenchimento do espaço anular com material selante – bentonita .....	24
Figura 11 – Etapa de acabamento do piezômetro com instalação da laje de proteção, que utiliza calda de cimento.....	25
Figura 12 – Etapa de instalação finalizada, com piezômetro fechado com tampão CAP .....	25
Figura 13 – Projeto prévio de rebaixamento do lençol freático .....	27
Figura 14 – Clamshell executando uma lamela na projeção da Torre B.....	30
Figura 15 – Estudo de execução da parede diafragma .....	30
Figura 16 – Trecho da parede diafragma executada na projeção da Torre B .....	35
Figura 17 – Estudo de execução da escavação .....	36
Figura 18 – Execução de tirante na projeção da Torre B .....	37
Figura 19 – Perfuratriz com Hélice Contínua.....	40
Figura 20 - Detalhamento da armadura utilizada nas estacas tipo hélice contínua .....	43
Figura 21 – Perfuratriz Rotativa .....	45
Figura 22 - Detalhamento da armadura utilizada nas estacas tipo raíz .....	47
Figura 23 – Instalação do Geotêxtil na área das Docas .....	51
Figura 24 – Adição do material drenante (Brita nº4 e brita nº1) em capitel da Torre A .....	52
Figura 25 – Tubos de drenagem já preparados para instalação, envoltos em Geotêxtil.....	53
Figura 26 – Interações realizadas na estrutura.....	56
Figura 27 – Ensaio de placa sendo realizado.....	58
Figura 28 – Ensaio PCE sendo executado .....	60
Figura 29 – Ensaio PDA sendo executado .....	62
Figura 30 – Ensaio CPTU sendo executado .....	64

Figura 31 - Setorização da obra para execução do radier.....	67
Figura 32 - Confeção das fôrmas na região das Docas, para concretagem do radier .....	69
Figura 33 - Concretagem da área quase total do radier da Torre A, 1244m <sup>3</sup> de concreto.....	70
Figura 34 - Ativação do marcador químico do aditivo, sinalizando sua mistura no concreto .	74
Figura 35 - Aplicação do primer e instalação da fita hidroexpansiva para tratamento de junta de concretagem .....	75
Figura 36 - Instalação dos sensores nas armaduras .....	76
Figura 37 - Espessura de execução da laje de subpressão de acordo com setorização prevista pelo projetista no orçamento inicial .....	79
Figura 38 - Espessura de execução da laje de subpressão de acordo com determinação do projetista no projeto executivo de Julho/23 .....	80

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Chuva acumulada mensal registrada no ano de 2023 pela estação de controle do INMET no Jardim Botânico de Porto Alegre/RS .....	34
Gráfico 2 - Resultados obtidos nos ensaios de Piezocone.....	65
Gráfico 3 - Evolução da temperatura do concreto .....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos resultados obtidos nos ensaios para as estacas raíz .....	61
Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos nos ensaios para as estacas hélice contínua .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Profundidades dos piezômetros .....	22
Tabela 2 – Leitura do nível de água nos piezômetros ao longo dos dias .....	26
Tabela 3 – Faixa de valores de coeficiente de permeabilidade em sedimentos inconsolidados e sua respectiva classificação .....	26
Tabela 4 – Orçamento para execução do projeto prévio de rebaixamento do lençol freático..	28
Tabela 5 – Orçamento para execução do projeto de rebaixamento superficial .....	29
Tabela 6 – Quantitativo e detalhamento de armadura das estacas previstas .....	31
Tabela 7 - Resultados obtidos dos ensaios de rompimento à compressão aos 28 dias .....	36
Tabela 8 – Recortes dos projetos de parede diafragma, que detalham a execução dos tirantes	39
Tabela 9 - Resultados obtidos dos ensaios de rompimento à compressão aos 28 dias .....	42
Tabela 10 - Resultados obtidos dos ensaios de rompimento à compressão aos 28 dias.....	48
Tabela 11 - Resultados obtidos nos ensaios de placa realizados .....	59
Tabela 12 - Profundidades atingidas nos ensaios de Piezocone .....	64
Tabela 13 - Quantitativo acumulado do peso de aço necessário para execução do radier .....	69
Tabela 14 - Traços reproduzidos .....	71
Tabela 15 - Resultados obtidos no rompimento à compressão dos corpos de prova .....	72
Tabela 16 – Resultados obtidos no ensaio de penetração de água .....	73
Tabela 17 - Custos do projeto definido no orçamento inicial .....	79
Tabela 18 - Custos definidos no projeto executivo de Julho/23.....	81
Tabela 19 - Custos definidos no projeto alterado para radier em Novembro/23.....	82
Tabela 20 - Custos do projeto executado.....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de Testagem e Materiais)
BIM	Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção)
Bq	Razão de poro-pressão
CPTU	Cone Penetration Test with Pore Pressure Measurement (Ensaio de Piezocone)
EPI	Equipamento de proteção individual
F <sub>s</sub>	Atrito lateral
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LI	Licença de instalação
NA	Nível de água
NBR	Norma Brasileira
PCE	Prova de Carga Estática
PDA	Prova de Carga Dinâmica
PIT	Pile Integrity Test (Ensaio de Integridade de Estacas)
PZ	Piezômetro
Q <sub>t</sub>	Resistência de ponta
R <sub>f</sub>	Razão de atrito
SPT	Standard Penetration Test (Teste Padrão de Penetração)
U	Poros-pressão ou pressão neutra

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 OBJETIVO .....	16
1.2 METODOLOGIA.....	17
1.3 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	17
<b>2 ANÁLISES PRELIMINARES .....</b>	<b>21</b>
2.1 SONDAAGEM .....	21
2.2 PIEZÔMETROS.....	21
<b>3 CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>27</b>
3.1 PROJETO INICIAL .....	27
<b>3.1.1 Rebaixamento de lençol freático .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.2 Projeto de Parede de Diafragma .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.3 Projeto de fundações .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.4 Laje de subpressão .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.5 Projeto executivo de blocos.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.6 Radier .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.7 Cronograma .....</b>	<b>34</b>
3.2 PROJETO EXECUTADO.....	35
<b>3.2.1 Parede diafragma .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.2 Escavação .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.3 Tirantes.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.4 Estacas .....</b>	<b>39</b>
3.2.4.1 Hélice Contínua .....	39
3.2.4.1.1 <i>Passo a Passo da Execução de Estaca Hélice Contínua.....</i>	<i>40</i>
3.2.4.1.2 <i>Vantagens da estaca hélice contínua .....</i>	<i>43</i>
3.2.4.1.3 <i>Desvantagens da Estaca Hélice Contínua.....</i>	<i>44</i>
3.2.4.1.4 <i>Considerações Finais .....</i>	<i>44</i>
3.2.4.2 Estaca raíz.....	44
3.2.4.2.1 <i>Passo a Passo da Execução de Estaca Raíz.....</i>	<i>44</i>
3.2.4.2.2 <i>Vantagens da Estaca Raíz .....</i>	<i>48</i>
3.2.4.2.3 <i>Desvantagens da Estaca Raíz.....</i>	<i>48</i>
3.2.4.2.4 <i>Considerações Finais .....</i>	<i>49</i>
<b>3.2.4.3 Sistema de drenagem.....</b>	<b>49</b>

<b>3.2.4.4 Radier</b> .....	54
<b>3.2.4.5 Laje de subpressão</b> .....	54
<b>4 RADIER ESTAQUEADO – CONCEITO</b> .....	<b>55</b>
4.1 COMPONENTES PRINCIPAIS DO RADIER ESTAQUEADO .....	55
4.2 VANTAGENS DO RADIER ESTAQUEADO .....	55
4.3 DESAFIOS E CONSIDERAÇÕES .....	56
4.4 FUNCIONAMENTO DO RADIER ESTAQUEADO.....	57
<b>4.4.1 Ensaios requeridos</b> .....	<b>57</b>
4.5 CUIDADO NA EXECUÇÃO .....	66
4.6 EXEMPLOS REAIS .....	66
<b>5 RADIER ESTAQUEADO - EXECUÇÃO</b> .....	<b>67</b>
5.1 RADIER .....	67
5.2 ESTUDO DO CONCRETO UTILIZADO .....	71
<b>5.2.1 Estudo do traço do concreto</b> .....	<b>71</b>
<b>5.2.2 Estudo da infiltração de água no concreto</b> .....	<b>72</b>
<b>5.2.3 Considerações e escolha do impermeabilizante</b> .....	<b>73</b>
<b>5.2.4 Penetron</b> .....	<b>73</b>
<b>5.2.5 Ensaio de temperatura do concreto</b> .....	<b>75</b>
<b>6 ANÁLISE FINANCEIRA</b> .....	<b>78</b>
6.1 ORÇAMENTO INICIAL .....	78
6.2 PROJETO EXECUTIVO (JULHO/23).....	79
6.3 ALTERAÇÃO DE PROJETO PARA RADIER (NOVEMBRO/23) .....	81
6.4 ORÇAMENTO REALIZADO .....	82
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>
<b>ANEXO A – RELATÓRIO DE SONDADEGEOTÉCNICA (SPT)</b> .....	<b>87</b>
<b>ANEXO B – MONITORAMENTO DAS LAMELAS</b> .....	<b>94</b>
<b>ANEXO C – PROJETO DE DRENAGEM</b> .....	<b>96</b>
<b>ANEXO D – PROJETOS DAS ESTACAS E DETALHAMENTO DO RADIER</b> .....	<b>98</b>
<b>ANEXO E – RELATÓRIO ENSAIO DE PLACA (PCP)</b> .....	<b>102</b>
<b>ANEXO F – RELATÓRIO ENSAIO PCE</b> .....	<b>109</b>
<b>ANEXO G – PROJETOS DE ARMADURA DO RADIER DA TORRE A</b> .....	<b>116</b>
<b>ANEXO H – ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO IMPERMEABILIZADO</b> .....	<b>126</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O radier estaqueado, uma solução de fundação que combina a eficiência das fundações superficiais (radier) com a capacidade de carga das fundações profundas (estacas), é empregado em casos especiais devido à combinação de grandes cargas e condições de subsolo, que dificultam o emprego de somente fundações superficiais ou profundas. Essa solução híbrida surge como uma forma de compatibilizar a técnica construtiva e os custos.

O fato de ser utilizado em casos especiais, faz com que o método não seja amplamente difundido, resultando em falta de familiaridade com a técnica, escassez de mão de obra especializada e percepção de custos elevados. Diante disso, este trabalho se propõe a apresentar um estudo de caso detalhado da execução de um radier estaqueado em uma edificação mista, com o intuito de desmistificar a técnica e apresentar seus benefícios. Serão abordados aspectos cruciais, como a análise geotécnica do solo, a execução do radier e das estacas e o sistema de drenagem, com foco na qualidade e economia. A partir dessa análise aprofundada, espera-se que este estudo sirva como um guia prático para profissionais da construção civil, demonstrando a viabilidade e as vantagens da utilização do radier estaqueado em diferentes contextos, impulsionando sua adoção e contribuindo para o desenvolvimento da engenharia de fundações na região de Porto Alegre.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo de caso é analisar a viabilidade técnica, executiva e financeira da utilização do radier estaqueado em uma edificação mista, no bairro Bela Vista de Porto Alegre. Para alcançar esse objetivo, serão investigados os seguintes aspectos:

- a) Análise técnica: Serão abordados os conceitos e fundamentos do radier estaqueado, incluindo suas vantagens e desvantagens, os critérios normativos aplicáveis e os ensaios geotécnicos e de materiais necessários para garantir a segurança e a eficácia da fundação.
- b) Análise executiva: Serão detalhadas as etapas de execução do radier estaqueado, desde a preparação do terreno até a concretagem final, com ênfase nas particularidades e desafios enfrentados nesse processo.
- c) Análise financeira: Será realizado um comparativo entre diferentes cenários de execução, considerando os custos de materiais, mão de obra, equipamentos e tempo de execução, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica do radier estaqueado em

relação a outras soluções de fundação.

## 1.2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo de caso envolve a coleta e análise de dados primários e secundários. Os dados primários serão obtidos por meio de acompanhamento *in loco* da execução do radier estaqueado, incluindo registros fotográficos, vídeos e anotações detalhadas das etapas construtivas. Além disso, serão coletados dados sobre os materiais utilizados, os equipamentos empregados e os custos envolvidos na obra. Os dados secundários serão obtidos por meio de revisão bibliográfica de livros, artigos científicos e normas técnicas, a fim de embasar a análise técnica do radier estaqueado e contextualizar o estudo de caso.

A análise dos dados coletados será realizada de forma qualitativa e quantitativa. A análise qualitativa buscará interpretar os desafios e as particularidades da execução do radier estaqueado, com base nas observações *in loco* e na revisão bibliográfica. A análise quantitativa envolverá o tratamento dos dados coletados sobre os custos da obra, a fim de comparar a viabilidade econômica do radier estaqueado com outras soluções de fundação.

Espera-se que os resultados deste estudo de caso contribuam para ampliar o conhecimento sobre o radier estaqueado na região metropolitana de Porto Alegre, oferecendo subsídios para a tomada de decisão em projetos futuros e incentivando a utilização dessa técnica de fundação eficiente e vantajosa.

## 1.3 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O desenvolvimento deste relatório será feito com base em um empreendimento que está sendo executado no bairro Bela Vista da cidade de Porto Alegre/RS. O empreendimento é uma parceria entre duas grandes empresas de Porto Alegre, que por questões comerciais, não terão seus nomes divulgados, assim como o nome do empreendimento e sua localização. Na Figura 1 é apresentada uma renderização do projeto arquitetônico.

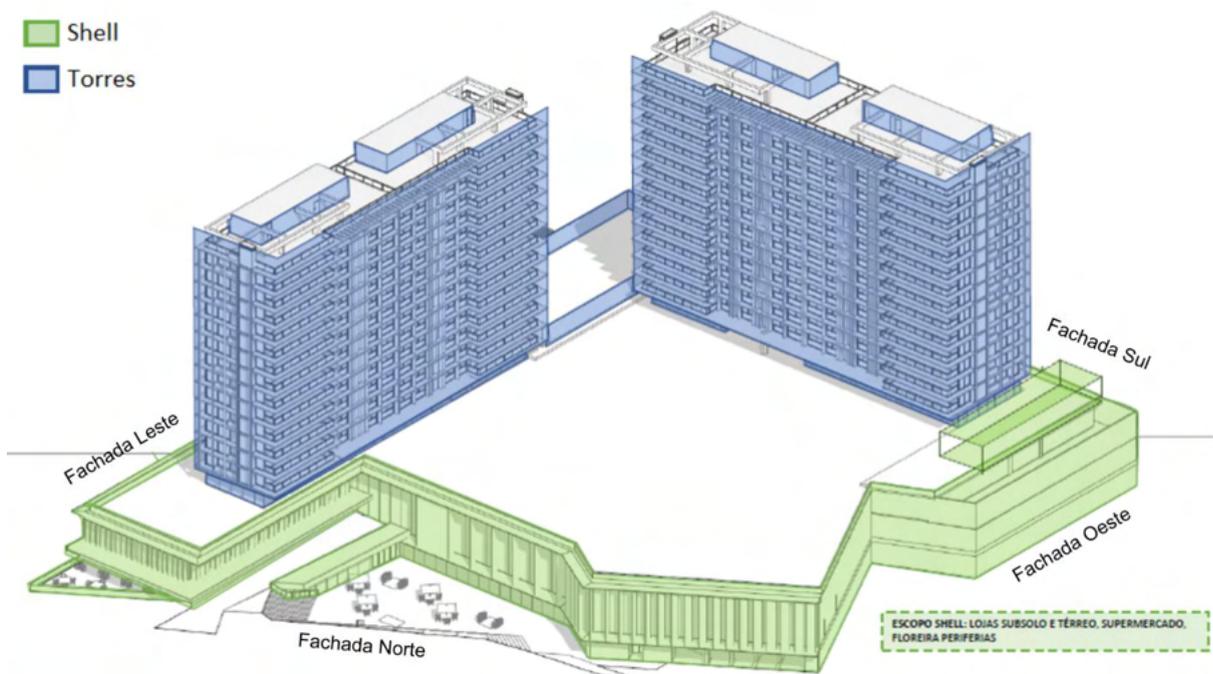
Figura 1 – Imagem do empreendimento



Fonte: Projeto arquitetônico do empreendimento

A construção é mista, com parte comercial e parte residencial de alto padrão. A parcela comercial conta com 5 pavimentos, sendo 3 níveis de subsolo, térreo e 2º pavimento pertencentes ao denominado “Shell”, que será evidenciado na Figura 2.

Figura 2 – Separação do empreendimento em suas áreas executivas, Shell e Torres



Fonte: Plano de ataque do empreendimento

Já a parcela denominada “Torres”, terá 16 pavimentos, que nascem a partir do 3º pavimento (lazer residencial), 4º pavimento (apartamentos com *Garden*), 5º ao 16º pavimento (apartamentos tipo) e 17º pavimento (apartamento com cobertura). No total serão 56 unidades divididas em 2 torres de igual número de unidades, porém com diferentes áreas.

A Torre A conta com dois apartamentos por pavimento com orientação solar Norte, sendo cada um de 330,40m<sup>2</sup> e o apartamento com cobertura possuindo 602,29m<sup>2</sup> sendo 330,40m<sup>2</sup> cobertos e 271,89m<sup>2</sup> descobertos. Os apartamentos da Torre A possuem 4 vagas de garagem e depósito. Na figura abaixo consta renderização de living decorado de apartamento tipo da Torre A.

Figura 3 – Living do apartamento tipo da Torre A



Fonte: Projeto arquitetônico do empreendimento

Já a Torre B conta com dois apartamentos por pavimento, sendo cada um de 273,93m<sup>2</sup> e o apartamento com cobertura possuindo 502m<sup>2</sup> sendo 273,93m<sup>2</sup> cobertos e 228,07m<sup>2</sup> descobertos. Os apartamentos da Torre B possuem 3 ou 4 vagas de garagem e depósito. Na Figura 4 é apresentada uma renderização do *living* decorado de um apartamento tipo da Torre B.

Figura 4 – *Living* do apartamento tipo da Torre B



Fonte: Projeto arquitetônico do empreendimento

As áreas de uso comum às torres, possuem piscinas externa e interna, quadra de tênis, quadra poliesportiva, fitness, salão de festa, área *gourmet*, jardim, *spa*, *pet place*, *playground*, pista de *skate* e quadra de beach tennis, conforme apresentado nas Figuras 5 e 6. Ao todo são 10.235,63m<sup>2</sup> de terreno e 53.641,83m<sup>2</sup> de área construída.

Figura 5 – Axométrica do 3º pavimento das Torres



Fonte: Projeto arquitetônico do empreendimento

Figura 6 – Vista aérea do lazer externo



Fonte: Projeto arquitetônico do empreendimento

## 2 ANÁLISES PRELIMINARES

### 2.1 SONDAGEM

Para o desenvolvimento do projeto de fundações foram executados ensaios do tipo SPT, afim de caracterizar o solo do terreno.

Sendo o ensaio mais executado no Brasil, o SPT (*Standard Penetration Test*) é um ensaio geotécnico de sondagem a percussão, capaz de amostrar o tipo e resistência do solo através da profundidade perfurada e o nível d'água encontrado (Falconi *et al.*, 2019). O ensaio é desenvolvido com a cravação de um amostrador padrão com peso e altura de lançamento especificados, de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020).

Por se tratar de um terreno com mais de 10.000m<sup>2</sup> foram executados 20 ensaios, totalizando 387,31 metros lineares perfurados. Deste total, 298,58m foram em solo, e 88,73m foram de sondagem rotativa/mista após impenetrável à sondagem SPT. A sondagem rotativa é um método de investigação geotécnica que utiliza um equipamento especializado para perfurar o solo e rochas, coletando amostras cilíndricas contínuas chamadas de "testemunhos". Essas amostras fornecem informações valiosas sobre as características do subsolo, como tipo de rocha, grau de alteração, fraturas e outras propriedades geomecânicas.

O Anexo A apresenta uma seção do relatório emitido pela empresa que realizou os ensaios, contendo o descritivo dos mesmos, mapa de locação dos furos além de alguns perfis individuais de cada sondagem.

### 2.2 PIEZÔMETROS

Através dos resultados obtidos com a sondagem SPT, foi possível identificar que o terreno possui cota elevada de nível de água do lençol freático. Como o empreendimento citado possui 3 subsolos e o nível de água é alto, foi previsto execução de uma laje de subpressão para conter essa pressão negativa gerada pela água.

Com o objetivo de validar a carga de subpressão foram instalados piezômetros rasos e piezômetros profundos.

Piezômetros são dispositivos utilizados em obras de construção civil para monitorar o nível de água subterrânea e a pressão da água nos poros do solo. Há alguns tipos disponíveis no mercado, dentre eles o empregado na obra, o piezômetro de Casagrande, também conhecido como piezômetro de tubo aberto, muito difundido devido à sua simplicidade e eficácia.

Os piezômetros de Casagrande consistem em um tubo de *standpipe*, que é um tubo de plástico ou metal inserido verticalmente em um furo de sondagem. Na extremidade inferior do tubo, há uma ponta filtrante (elemento poroso) que permite a entrada de água do solo. A ponta porosa é rodeada por material filtrante, como areia, e vedada acima com bentonita ou argamassa para impedir a entrada de água superficial ou contaminantes.

O funcionamento do piezômetro de Casagrande começa com a instalação do tubo no solo até a profundidade desejada, com material filtrante ao redor da ponta porosa. A água do solo entra no tubo até equilibrar com a pressão da água nos poros do solo. Para medir o nível da água, usa-se uma fita métrica ou um medidor de nível de água, refletindo a pressão da água no solo na profundidade da ponta filtrante.

Neste empreendimento em questão, foram instalados oito piezômetros ao todo, sendo quatro rasos (PZ 01, PZ 02, PZ 03 e PZ 04) e quatro profundos (PZ 01-A, PZ 02-A, PZ 03-A e PZ 04-A). A instalação dos mesmos iniciou pela perfuração (Figura 7), que nos piezômetros rasos foram realizadas utilizando trado manual mecanizado e perfuratriz hidráulica com trado helicoidal (*Hollow Stem Auger*), que consiste em uma escavação manual combinada a um cabeçote rotativo hidráulico. O diâmetro utilizado para as perfurações foi de 6” (aproximadamente 150 mm) enquanto a profundidade final das perfurações é apresentada na Tabela 1. Já para a instalação dos piezômetros profundos, foi utilizada a sonda rotativa com revestimento (Figura 8). A sondagem rotativa é executada por meio de sondas rotativas equipadas com hastes, coroa de corte e barrilete amostrador. As hastes transmitem torque e pressão à coroa de corte, que por sua vez, perfura o solo. O barrilete amostrador, acoplado às hastes, recolhe o testemunho de rocha para posterior análise.

Tabela 1 – Profundidades dos piezômetros

Piezômetro	Profundidade PZ (m)
PZ 01	4,10
PZ 01-A	12,50
PZ 02	3,30
PZ 02-A	12
PZ 03	6,10
PZ 03-A	14
PZ 04	5,20
PZ 04-A	14

Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

Figura 7 – Perfuração para instalação do piezômetro denominado como PZ 01



Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

Figura 8 – Perfuração dos piezômetros profundos com sondagem rotativa



Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

Após as perfurações, tendo sido registradas as principais entradas de água, foi conduzida a instalação dos piezômetros. Os critérios de instalação foram acordados de acordo com parâmetros do projetista. Os piezômetros foram instalados com tubos PVC de 50 mm (2") de diâmetro (Figura 9), com as seções filtrantes ranhuradas manualmente em toda sua extensão submersa e envoltos com manta geotêxtil. Cabe destacar que o tubo ranhurado foi posicionado em interface que considera as oscilações sazonais do nível d'água.

Figura 9 – Etapa de instalação do piezômetro com sonda rotativa, com inserção do tubo PVC Geomecânico



Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

O espaço anular entre a parede do furo e o tubo de PVC foi preenchido com areia pré-filtro, da base de cada furo em direção ao topo, até o final de sua respectiva seção filtrante, ultrapassando alguns centímetros da mesma. Com o objetivo de assegurar a impermeabilização de outros horizontes pedológicos e entradas d'água que se encontram acima do topo da seção filtrante, o preenchimento do espaço anular se deu com material selante – bentonita (Figura 10), até a boca do poço, na superfície.

Figura 10 – Etapa de preenchimento do espaço anular com material selante – bentonita



Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

Após o preenchimento do espaço anular com os referidos materiais, foram realizados os acabamentos dos poços (laje de proteção), que utiliza calda de cimento acima da camada de bentonita e também no entorno do piezômetro (Figura 11), sobre o nível do solo e com caimentos para as laterais, para evitar acúmulos junto ao tubo e eventuais infiltrações. Por fim, o piezômetro foi fechado com tampão CAP (Figura 12).

Figura 11 – Etapa de acabamento do piezômetro com instalação da laje de proteção, que utiliza calda de cimento



Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

Figura 12 – Etapa de instalação finalizada, com piezômetro fechado com tampão CAP



Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

Após o término das instalações dos piezômetros no empreendimento, foram realizadas – semanalmente – medições do nível d'água (NA) em todos os poços presentes. Seus resultados estão evidenciados adiante, na Tabela 2.

Tabela 2 – Leitura do nível de água nos piezômetros ao longo dos dias

PZ	Nível de água (m)										17/01/24	24/01/24	31/01/24
	08/11/23	16/11/24	23/11/23	29/11/23	06/12/23	13/12/23	20/12/23	26/12/23	04/01/24	10/01/24			
01	0,92	0,82	0,82	0,86	0,86	0,88	0,93	0,97	0,92	0,89	Sem acesso	Sem acesso	Sem acesso
01-A	Transbordante												
02	1,72	1,65	1,66	1,68	1,68	1,72	1,71	1,75	1,7	1,7	Sem acesso	Sem acesso	Sem acesso
02-A	1,01	0,92	0,92	0,96	1,01	1,05	1,09	1,14	1,11	1,13			
03	3,02	3,17	3,21	3,12	3,37	3,44	3,52	3,49	3,54	3,5	3,59	3,64	3,67
03-A	4,66	4,65	4,73	4,74	4,85	4,84	4,91	4,91	4,92	4,9	5,01	5,02	5,07
04	2,69	2,56	2,68	2,84	2,83	2,82	2,82	2,6	2,85	2,84	2,89	2,87	2,86
04-A	2,36	1,75	2,4	2,43	2,5	2,52	2,57	2,84	2,6	2,59	2,68	2,69	2,71

Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

A Tabela 3 demonstra a relação dos resultados dos testes realizados em conjunto com sua classificação de material segundo Feitosa *et al.* (2008).

Tabela 3 – Faixa de valores de coeficiente de permeabilidade em sedimentos inconsolidados e sua respectiva classificação

PZ	Coeficiente de Permeabilidade "K" (cm/s)	Material (Textura)
01*	$7,25 \cdot 10^{-6}$	Argila; Areia argilosa; silte; silte arenoso
01-A*	$1,08 \cdot 10^{-4}$	Areia siltosa; areia fina; areia argilosa; silte; silte arenoso
02*	$1,33 \cdot 10^{-3}$	Areia bem distribuída; areia siltosa; areia fina
02-A*	$7,14 \cdot 10^{-4}$	Areia siltosa; areia fina; areia argilosa; silte; silte arenoso
03*	$2,04 \cdot 10^{-4}$	Areia siltosa; areia fina; areia argilosa; silte; silte arenoso
03-A*	$1,20 \cdot 10^{-4}$	Areia siltosa; areia fina; areia argilosa; silte; silte arenoso
04*	$3,38 \cdot 10^{-4}$	Areia siltosa; areia fina; areia argilosa; silte; silte arenoso
04-A*	$4,37 \cdot 10^{-4}$	Areia siltosa; areia fina; areia argilosa; silte; silte arenoso

Fonte: Relatório de instalação de piezômetros e ensaios de permeabilidade

Os piezômetros rasos comprovaram o que apareceu nos ensaios de SPT, sendo cota de nível de água 3m abaixo da superfície. Já os piezômetros profundos identificaram que a pressão manométrica era acima do previsto, sendo de 6,8mca.

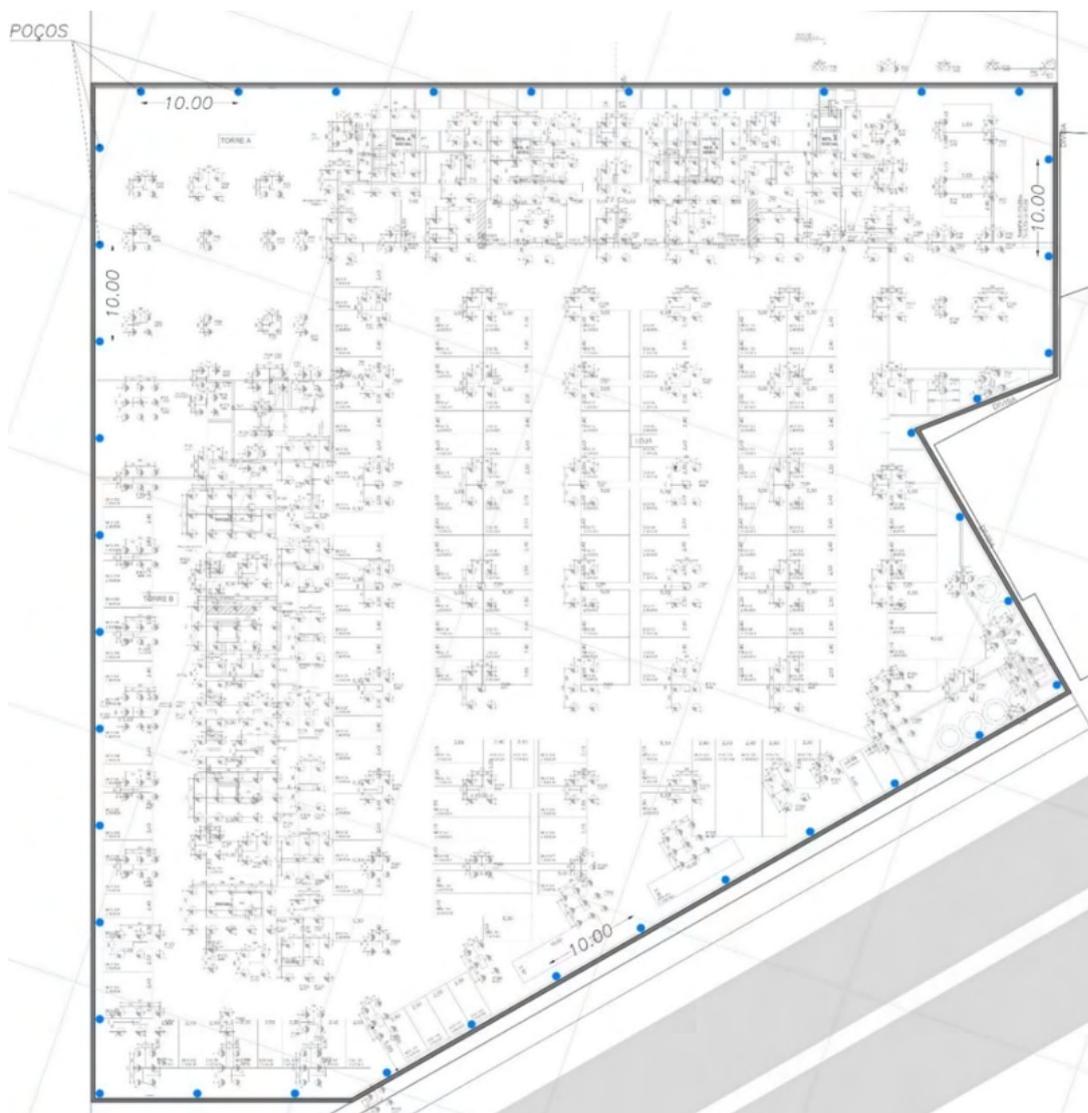
## 3 CONTEXTUALIZAÇÃO

### 3.1 PROJETO INICIAL

#### 3.1.1 Rebaixamento de lençol freático

Em função dos dados obtidos nos piezômetros foi considerada como a melhor opção o rebaixamento do lençol freático com poços profundos. O projeto inicial indicou a necessidade de execução de 39 poços, de Ø40cm distanciados em 10 metros entre si percorrendo o perímetro interno de toda contenção (paredes de diafragma) e com bombas individuais de 3m<sup>3</sup>/h de vazão projetada, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Projeto prévio de rebaixamento do lençol freático



Fonte: Projeto prévio de rebaixamento do lençol freático

Cada poço deveria atingir 10 metros abaixo da cota de escavação final, ou seja, a partir da cota do 3° subsolo, e como o terreno deste empreendimento possui grandes variações, estes poços seriam executados com profundidades totais entre 17 e 22m, do fundo dos poços até a cota natural do terreno. Conforme tabela abaixo, o valor total do serviço previsto ficou em R\$ 2.250.000,00.

Tabela 4 – Orçamento para execução do projeto prévio de rebaixamento do lençol freático

Elemento	Custo
Execução de poços (mão de obra + material – inclui bombas)	R\$ 649.005,00
Mão de obra de instalação elétrica e hidráulica + material	R\$ 147.275,00
Mão de obra de apoio e manutenção dos sistemas	R\$ 270.600,00
Gerador + combustível	R\$ 157.500,00
Locação de bombas superficiais	R\$ 101.250,00
Sistema de coleta de água superficial	R\$ 344.000,00
Custo para novos poços, bombas ou sistemas necessários	R\$ 580.370,00
Total	R\$ 2.250.000,00

Fonte: Orçamento realizado com quantitativo enviado pelo projetista

Durante o processo de escavação se verificou que não existia grande vazão de água proveniente do solo. O solo, apesar de estar sempre úmido, possui baixa permeabilidade. Tal afirmação fica clara ao se verificar que as paredes diafragma permaneceram estanques durante o processo de escavação (conclusão com base nas leituras mensais de movimentação das mesmas, feita pela empresa de topografia contratada. Relatório comparativo das leituras no Anexo B).

Com essas novas informações, o rebaixamento profundo foi substituído por rebaixamento superficial. Este rebaixamento ocorreu com criação de poços de captação que acompanharam o processo de escavação até a cota final. Quando tal cota foi atingida, 16 poços principais foram executados (conforme Anexo C) com bombas de 130m<sup>3</sup>/h de vazão cada e profundidades variáveis entre 4 e 5m, do 3° subsolo ao fundo dos poços. Além destes, outros poços menores foram instalados conforme necessidade ao longo do terreno, drenando água para os poços principais. O ganho financeiro desta solução teve um impacto muito positivo reduzindo o custo total para R\$ 893.350,00 conforme tabela abaixo.

Tabela 5 – Orçamento para execução do projeto de rebaixamento superficial

Elemento	Custo
Bomba 45m <sup>3</sup> /h	R\$ 45.000,00
Bomba 135m <sup>3</sup> /h	R\$ 307.200,00
Mão obra manutenção bombas	R\$ 270.600,00
Montagem do sistema (material + mão de obra) rebaixamento	R\$ 150.500,00
Gerador	R\$ 45.120,00
Diesel	R\$ 39.930,00
Manutenção bombas + material	R\$ 35.000,00
Total	R\$ 893.350,00

Fonte: Orçamento realizado com quantitativo enviado pelo projetista

### 3.1.2 Projeto de Parede de Diafragma

Por se tratar de um empreendimento com três níveis de subsolo, foi necessário adotar uma solução de contenção. Foi optado por parede diafragma ancorada por tirantes provisórios em todo o perímetro da edificação, que é considerada uma das contenções mais seguras e utilizadas atualmente.

Parede diafragma é um sistema de contenção, muito usado em construções que contém subsolos. O sistema é composto por uma parede de concreto armado embutida no solo, afim de reduzir a movimentação do solo restante durante a escavação do terreno. Para isso se faz uso do *Clamshell* (Figura 14), um equipamento que executa a escavação e permite que se faça a concretagem de baixo para cima. A estabilidade do solo durante a escavação é feita com substâncias fluídas sintéticas, como o polímero (que foi o método utilizado na obra).

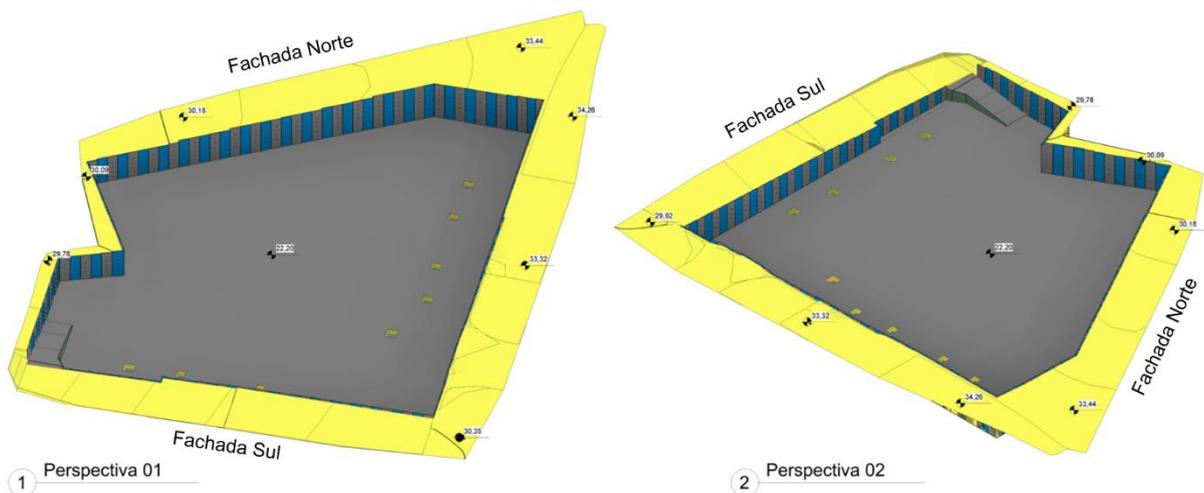
Figura 14 – *Clamshell* executando uma lamela na projeção da Torre B



Fonte: Da autora (2023)

O projeto inicialmente foi desenvolvido com ficha de 3m, no entanto, devido a proximidade de execução de escavação dos poços dos elevadores tais fichas foram aumentadas para 6m em alguns locais. A Figura 15 apresenta o projeto de estudo de execução da parede diafragma, feito com uso do software Revit.

Figura 15 – Estudo de execução da parede diafragma



Fonte: Projeto BIM do empreendimento

### 3.1.3 Projeto de fundações

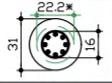
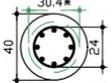
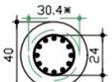
O projeto de fundações, foi concebido 100% em estaca tipo raiz devido aos resultados

obtidos nos ensaios de SPT, tal solução elevou muito o custo do projeto.

A estaca raiz é um tipo de fundação profunda muito utilizada em terrenos com solos muito resistentes, como saprólito ou rocha, ou em locais onde há restrições de espaço para a mobilização de equipamentos maiores. Este método é caracterizado pelo uso de perfuratrizes rotativas que utilizam circulação de água ou lama bentonítica para estabilizar as paredes do furo durante a perfuração, conforme é explanado no item 3.2.4.2.

O projeto considerava estacas com profundidade média de 12m, sendo 33 estacas Ø31cm e 1294 estacas Ø40cm, de acordo com o apresentado na Tabela 6. Além de um acréscimo de 1,50m na profundidade das estacas para ancoragem no bloco de fundação. Salienta-se que este projeto não considerava a carga de subpressão constatada pelos ensaios dos piezômetros.

Tabela 6 – Quantitativo e detalhamento de armadura das estacas previstas

TABELA DE ARMADURA DAS ESTACAS RAIZ						
DIÂMETROS	QUANTIDADES	CROQUI	LONGITUDINAL (em todo o comprimento da estaca)	ANCORAGEM DENTRO DO BLOCO (cm)	ESTRIBO	Traspasse para estribo circular (cm)
Estacas Ø31	33		8Ø20	50	Ø5c/20	10
Estacas Ø40	1293		8Ø20	90	Ø5c/20	10
Estacas Ø40 PCE (P15-E)	1		12Ø20	90	Ø5c/20	10

Fonte: Projeto preliminar de fundações

Na tentativa de reduzir os custos em agosto de 2022, foram executados quatro furos teste com máquina de hélice contínua, pela empresa que já estava contratada para execução do estaqueamento. Abaixo resultados extraídos da sondagem:

- Furo 1 – cota topo 32m – impenetrável em cota 10m
- Furo 2 – cota topo 28,76 – impenetrável em 6,76m
- Furo 3 – cota topo 30,37 – impenetrável em 10,37m
- Furo 4 – cota topo 31,63m – impenetrável em 9,49m

A estaca hélice contínua é um tipo de fundação profunda utilizada na engenharia civil para suportar cargas elevadas, como as de edifícios altos ou estruturas pesadas. A execução desse tipo de estaca envolve uma série de etapas detalhadas e o uso de equipamentos

especializados, conforme será explicitado no item 3.2.4.1.

Com os resultados obtidos, o projeto de estaqueamento foi alterado para 72% de estaca tipo hélice contínua e 28% em estaca raiz, porém por questões de segurança se manteve a relação 50% hélice contínua e 50% raiz no orçamento inicial do empreendimento.

### **3.1.4 Laje de subpressão**

Em decorrência da presença d'água no terreno, medida através da instalação dos piezômetros, os quais confirmaram a presença de quase 7mca de pressão manométrica, foi necessário ser incluído no projeto uma laje de subpressão que suportasse tal carga.

Uma laje de subpressão, também conhecida como laje submersa ou laje de contraforte, é um elemento estrutural essencial em engenharia de fundações, projetado para resistir à pressão hidrostática exercida pela água subterrânea ou outros fluídos que possam exercer força ascendente sobre a estrutura.

Comumente utilizada em estruturas subterrâneas, como subsolos, garagens, estações de metrô, tanques de armazenamento de líquidos e fundações de edifícios, a laje de subpressão desempenha um papel crucial na estabilidade e segurança das construções. Sua principal função é resistir à pressão hidrostática causada pela presença de água no solo, evitando que essa pressão provoque levantamento ou rachaduras na estrutura.

Projetada com reforço adicional para suportar a carga ascendente, a laje de subpressão pode incluir sistemas de drenagem para aliviar a pressão hidrostática, como drenos franceses ou bombas de sumidouro. Essa medida é fundamental para garantir a integridade estrutural e a durabilidade das construções subterrâneas. Além disso, muitas vezes, essas lajes são equipadas com sistemas de impermeabilização para prevenir a infiltração de água, assegurando a durabilidade e a integridade da estrutura ao longo do tempo.

As aplicações típicas das lajes de subpressão incluem garagens subterrâneas, que são protegidas contra infiltrações de água subterrânea, mantendo os veículos e a estrutura seca. Nas estações de metrô, essas lajes asseguram que as linhas ferroviárias permaneçam livres de água, contribuindo para a segurança e a eficiência do transporte público. Nos tanques de água, elas evitam a intrusão de água externa, mantendo a qualidade da água armazenada. Já nas fundações de edifícios, especialmente em áreas com lençol freático alto, as lajes de subpressão mantêm a estabilidade e a segurança da estrutura.

A primeira versão desta laje foi dimensionada com espessura de concreto variando entre 25 e 40cm e taxa de aço de 181,2kg/m<sup>3</sup>, com aditivo cristalizante no concreto. Foi considerado

um contrapiso de concreto armado de 8cm sobre a laje de subpressão.

A laje foi projetada atirantada, assim, considerou-se um critério estimado de uma malha de 6m x 6m para quantificação. Através do critério supracitado, foi considerado um total de 251 tirantes, de comprimento igual à estaca (12m), totalizando 3.012m de tirante de 40 mm, que seriam inseridos em estacas adicionais do tipo raíz.

Devido ao histórico de patologias em lajes de subpressão atirantadas foi solicitado um novo estudo, o qual resultou em uma nova versão de projetos com previsão de uma laje de 50cm, sem necessidade de tirantes mas com utilização de estacas extras.

Para ser possível executar a subpressão antes de iniciar a estrutura, o projeto de estaqueamento foi desenvolvido com muitas estacas com armadura especial (12m). Isso onerou a execução em, aproximadamente, R\$ 1.000.000,00. Para reverter este cenário a engenharia optou em executar a laje de subpressão, em alguns setores, em datas futuras. Deste modo a carga hidrostática poderia ser dissipada por estes setores até que a carga da torre seja suficiente para conter a subpressão. Com este ajuste executivo o excesso de armaduras especiais foi revertido.

### **3.1.5 Projeto executivo de blocos**

O volume de concreto previsto em Orçamento era de 3480m<sup>3</sup> e o novo projeto desenvolvido após definições da subpressão, do tipo de estaqueamento e fechamento das cargas da estrutura ficou em 7070m<sup>3</sup>. Este novo cenário duplicou o custo da atividade. Sendo alguns blocos com mais de 700m<sup>3</sup> e escavações na casa dos 6m de profundidade.

Tal projeto foi considerado um desafio de engenharia muito oneroso pelos motivos abaixo:

- Blocos muito profundos e muito próximos da parede diafragma. Alguns blocos necessitavam de 6m de escavação, atingindo assim a mesma cota de fundo da ficha da parede diafragma causando um risco muito grande de cedimento da mesma nessa região;
- Pelo motivo acima citado, seria necessário realizar um tipo de contenção especial para escavação do bloco (sistema metálico de contenção ou estacas justapostas) que elevaria muito o custo de fôrmas;
- Risco de desmonte de rocha devido a grande profundidade de escavação;
- Risco de ter que se executar rebaixamento profundo do lençol para poder permitir a escavação.

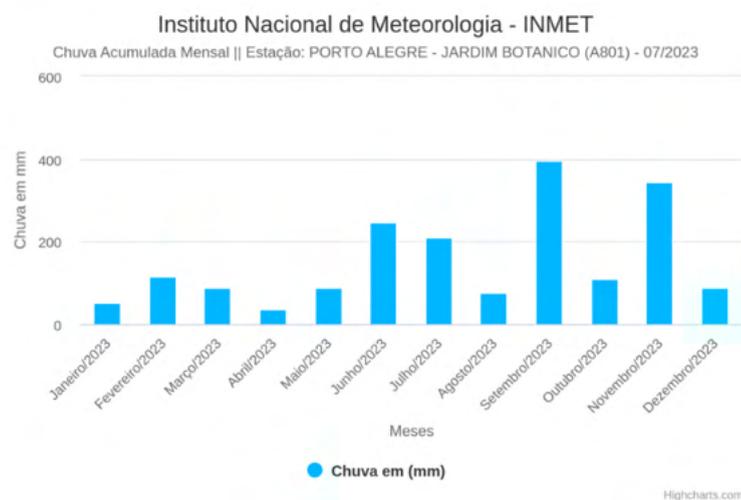
### 3.1.6 Radier

Durante reuniões com equipe de engenharia e projetistas novas possibilidades foram aventadas. Dentre elas a execução de um Radier Estaqueado. Com dados preliminares enviados pelo novo projetista, baseado no ensaio de SPT e sondagens mistas, se verificou que o custo para execução do Radier seria mais econômico que o projeto atual de blocos e com menor dificuldade técnica, devido a baixa profundidade. Radier estaqueado é um tipo de fundação mista, que de acordo com Falconi *et al.* (2019), são aquelas compostas por dois elementos, um vertical e um horizontal, que transferem as cargas estruturais ao solo por três maneiras: ao longo do fuste e da ponta do elemento vertical (estacas) e também pelo seu topo (radier), conforme será explanado no Capítulo 4.

### 3.1.7 Cronograma

Pelo cronograma inicial, as atividades iniciais de estaqueamento estavam previstas para 25/07/2023, porém em decorrência das fortes chuvas presentes (conforme mostra Gráfico 1) que se estenderam até Novembro de 2023, foi necessário postergar o início das execuções para 06/12/2023.

Gráfico 1 – Chuva acumulada mensal registrada no ano de 2023 pela estação de controle do INMET no Jardim Botânico de Porto Alegre/RS



Além das chuvas, outro empecilho para o início das execuções era a indefinição de

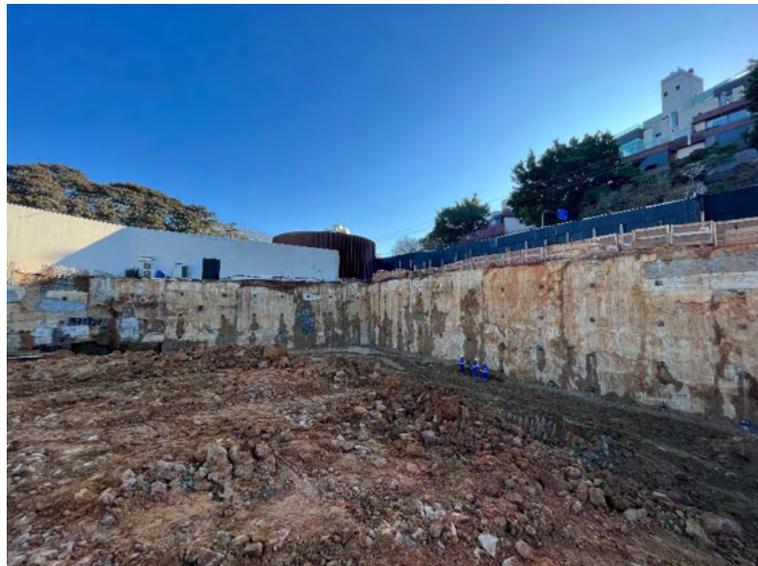
projeto, que só permitiu início do estaqueamento em 15/10/23, quando o devido projeto executivo foi liberado.

## 3.2 PROJETO EXECUTADO

### 3.2.1 Parede diafragma

Conforme mencionado no item 3.1.2, o método de contenção adotado para este empreendimento foi a parede diafragma (Figura 16), que foi executada em todo o perímetro da obra atingindo um comprimento total de 412m. A execução da parede diafragma se faz em seções, denominadas lamelas, neste empreendimento foram 128 lamelas que na maior parte dos casos contaram com 3,2m de largura, somente duas lamelas que ficam na rampa de acesso do residencial, na fachada Sul, que contaram com 4,27m de largura. A profundidade das lamelas ficou restrita a presença de alteração de rocha e rocha, com média de 12,10m de profundidade, com lamelas atingindo máximo de 16,70m na fachada Leste com a fachada Norte.

Figura 16 – Trecho da parede diafragma executada na projeção da Torre B



Fonte: Da autora (2023)

As especificações do concreto a ser utilizado, foram definidas pelo projetista como:  $f_{ck} \geq 30\text{Mpa}$ , consumo mínimo de cimento de  $400\text{kg/m}^3$ , relação água/cimento  $\leq 0,55$ , slump de  $22 \pm 3\text{cm}$ , Brita 1, % de argamassa em massa  $\geq 55\%$  e exsudação máxima de 4% do volume total de água. Para garantir a segurança da resistência do concreto utilizado, foram feitos ensaios de rompimento à compressão de corpos de prova extraídos a cada lamela executada, conforme

determinado pela NBR 5739 (ABNT, 2018), dos quais foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos dos ensaios de rompimento à compressão aos 28 dias

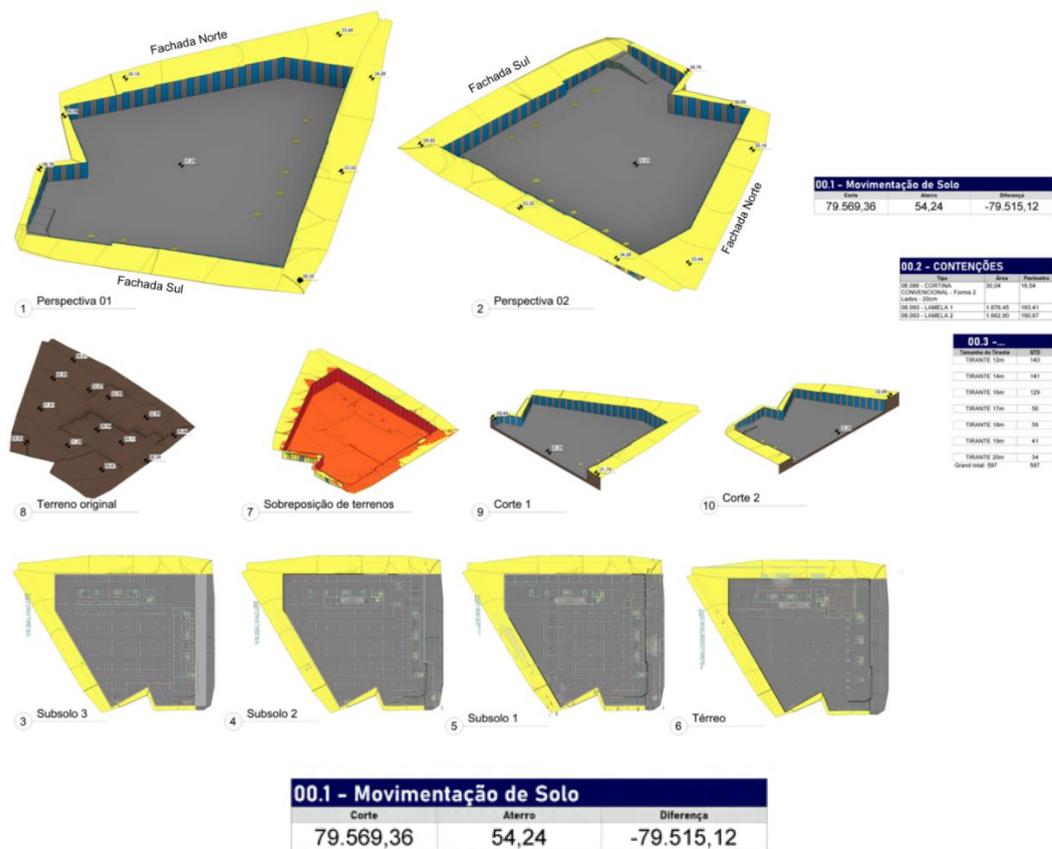
	Média	Mínima	Máxima
Resistência (Mpa)	40,8	31,8	54,9

Fonte: Compilação dos dados obtidos nos laudos da empresa responsável pelos ensaios, especializada em tecnologia do concreto

### 3.2.2 Escavação

Antes da escavação, o terreno tinha sua cota superior do nível da avenida da fachada Norte. Após a escavação, sua cota passou a ser de 22,20m. O quantitativo de movimentação de terra foi obtido através de medição no software Revit, confrontando os níveis do planialtimétrico com o projeto arquitetônico (Figura 17).

Figura 17 – Estudo de execução da escavação



Fonte: Projeto BIM do empreendimento

O volume final de escavação ficou em 79.569,36m<sup>3</sup> e foi feito por partes, de acordo com o avanço da execução dos tirantes.

### 3.2.3 Tirantes

Para que fosse possível manter a estabilidade da parede diafragma, conforme mencionado no item 3.1.2, foi necessário fazer sua ancoragem no solo através do uso de tirantes provisórios protendidos (Figura 18).

Figura 18 – Execução de tirante na projeção da Torre B



Fonte: Da autora (2023)

Os tirantes de aço são elementos estruturais de tração utilizados para estabilizar e ancorar estruturas. Eles são essencialmente barras ou cabos de aço que transmitem forças de tração a partir da estrutura que estão sustentando para um ponto de ancoragem, geralmente no solo ou em uma outra estrutura estável. No caso deste empreendimento, os tirantes servem como ancoragem da parede diafragma no solo, contendo o movimento que elas tendem a fazer pela força do mesmo.

Os tirantes foram projetados para serem utilizados provisoriamente, até que a estrutura

dos subsolos seja executada e faça a sustentação da parede diafragma, inutilizando os tirantes. Quando a supraestrutura for concluída, os tirantes serão desprotendidos, cortados, tamponados e impermeabilizados, afim de conter a água que tende a percolar pelo furo dos mesmos.

Nesta construção, foram executados ao todo 473 tirantes, sendo 437 previstos no projeto inicial, 17 acrescidos na primeira revisão de projeto e 19 acrescidos na segunda revisão de projeto. Os tirantes atingiram um total (comprimento livre + comprimento ancorado) de no mínimo 12m e no máximo 22m, com cargas de trabalho variando entre 33tf e 50tf, que foram verificadas individualmente através de testes de tração executados no momento da protensão dos mesmos.

Para estes testes, utiliza-se o anexo D da NBR 5629 (ABNT, 2018) que indica dois formatos de ensaio para tirantes provisórios, no primeiro tipo “C” aplicado em 10% dos tirantes, a força aplicada é de 1,5x a resistência do tirante, enquanto no ensaio tipo “D”, aplicado nos outros 90% dos tirantes, a força é de 1,2x a resistência desejada. Os ensaios acontecem em estágios de carga e descarga que duram em média 5 minutos cada, variam de acordo com a resistência desejada, e são detalhados nos quadros resumo extraídos do projeto e apresentados na Tabela 8.

O procedimento inicia com a protensão do tirante nos estágios mencionados, de acordo com seu tipo (C ou D), que avança a cada 5 minutos, ao fim da protensão, o mesmo é desprotendido na mesma regra de avanço da protensão, ao final já totalmente descarregado, é novamente protendido, porém desta vez na sua carga de trabalho real, e ancorado na parede diafragma.

Abaixo constam recortes dos projetos da parede diafragma, onde os tirantes são detalhados.

Tabela 8 – Recortes dos projetos de parede diafragma, que detalham a execução dos tirantes

TIRANTES PROVISÓRIOS – DYWIDAG GEWI PLUS (69/79) Ø32mm ou INCOTEP THB32 ou equivalente											
TIPO	N°	COMPRIMENTOS			L.TOTAL GERAL (m)	CARGAS		ENSAIO			
		L.LIVRE (m)	L.ANCORADO (m)	L.TOTAL (m)		TRABALHO-Ft (tf)	INCORP.-Fi (tf)	TIPO C * (10% dos tirantes)		TIPO D ** (90% dos tirantes)	
								N°	CARGA ENSAIO (tf)	N°	CARGA ENSAIO (tf)
A	29	4	8	12	348	33	25	3	50	26	40
B	30	6	8	14	420	33	25	3	50	27	40
C	30	8	8	16	480	33	25	3	50	27	40
Total	89				1248						

\* Ensaio tipo C: tirante provisório com carga a ser aplicada no ensaio de recebimento de até 1,5Ft (estágios de carga e descarga 10tf/20tf/27tf/33tf/40tf/50 tf)  
 \*\* Ensaio tipo D: tirante provisório com carga a ser aplicada no ensaio de recebimento de até 1,2Ft (estágios de carga e descarga 10tf/20tf/27tf/33tf/40 tf)

TIRANTES PROVISÓRIOS – DYWIDAG GEWI PLUS (69/79) Ø36mm ou INCOTEP INCO35D ou equivalente											
TIPO	N°	COMPRIMENTOS			L.TOTAL GERAL (m)	CARGAS		ENSAIO			
		L.LIVRE (m)	L.ANCORADO (m)	L.TOTAL (m)		TRABALHO-Ft (tf)	INCORP.-Fi (tf)	TIPO C * (10% dos tirantes)		TIPO D ** (90% dos tirantes)	
								N°	CARGA ENSAIO (tf)	N°	CARGA ENSAIO (tf)
F'	14	4	10	14	196	40	32	1	60	13	48
F	71	4	10	14	994	40	32	7	60	64	48
G	67	6	10	16	1072	40	32	7	60	60	48
H	59	8	10	18	1062	40	32	6	60	53	48
I	28	9	10	19	532	40	32	3	60	25	48
J	10	10	10	20	200	40	32	1	60	9	48
Total	249				4056						

\* Ensaio tipo C: tirante provisório com carga a ser aplicada no ensaio de recebimento de até 1,5Ft (estágios de carga e descarga 12tf/24tf/32tf/40tf/48tf/60 tf)  
 \*\* Ensaio tipo D: tirante provisório com carga a ser aplicada no ensaio de recebimento de até 1,2Ft (estágios de carga e descarga 12tf/24tf/32tf/40tf/48 tf)

TIRANTES PROVISÓRIOS – DYWIDAG DW Ø36mm(95/105) ou INCOTEP INCO 50D ou equivalente											
TIPO	N°	COMPRIMENTOS			L.TOTAL GERAL (m)	CARGAS		ENSAIO			
		L.LIVRE (m)	L.ANCORADO (m)	L.TOTAL (m)		TRABALHO-Ft (tf)	INCORP.-Fi (tf)	TIPO C * (10% dos tirantes)		TIPO D ** (90% dos tirantes)	
								N°	CARGA ENSAIO (tf)	N°	CARGA ENSAIO (tf)
K	27	4	12	16	432	50	40	3	75	24	60
L	27	6	12	18	486	50	40	3	75	24	60
M	27	8	12	20	540	50	40	3	75	24	60
N	27	9	12	21	567	50	40	3	75	24	60
O	27	10	12	22	594	50	40	3	75	24	60
Total	135				432						

\* Ensaio tipo C: tirante provisório com carga a ser aplicada no ensaio de recebimento de até 1,5Ft (estágios de carga e descarga 15tf/30tf/40tf/50tf/60tf/75 tf)  
 \*\* Ensaio tipo D: tirante provisório com carga a ser aplicada no ensaio de recebimento de até 1,2Ft (estágios de carga e descarga 15tf/30tf/40tf/50tf/60 tf)

Fonte: Projetos de parede diafragma

### 3.2.4 Estacas

Conforme mencionado na contextualização do projeto inicial, houve uma indefinição de projeto que fez com que houvesse um atraso significativo no início do estaqueamento da obra. O projeto que previa 72% de estaca hélice contínua e 28% de estaca raiz, foi executado com 6% de estaca hélice contínua e 94% de estaca raiz, o que impactou muito o orçamento, conforme será explicitado na análise financeira do Capítulo 6.

Abaixo serão apresentadas as etapas executivas e especificidades de cada método, e no Anexo D, os projetos de locação das estacas e detalhamento de execução do radier.

#### 3.2.4.1 Hélice Contínua

Conforme já descrito no item 3.1.3, a estaca hélice contínua é um tipo de fundação

profunda de concreto moldada *in loco*, regulamentada pelo Anexo N da NBR 6122 (ABNT, 2022) e muito empregada na engenharia civil para suportar cargas elevadas, como as de edifícios altos ou estruturas pesadas.

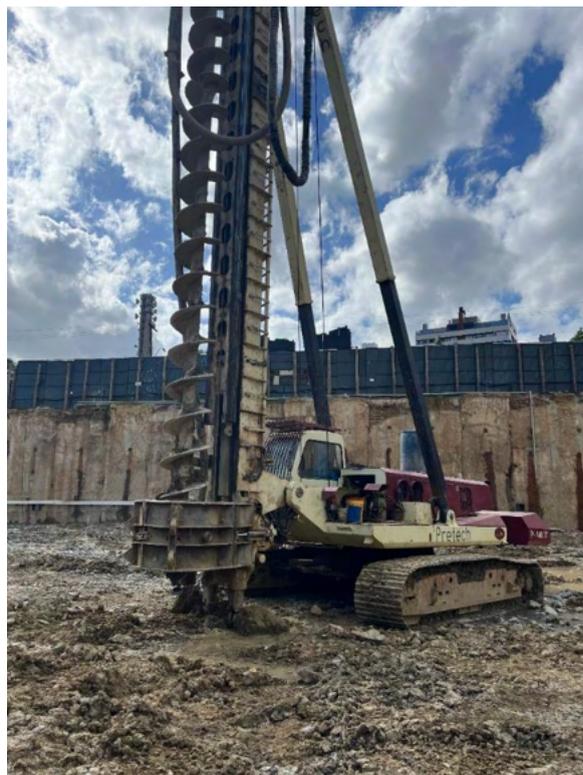
A estaca hélice contínua encontra ampla aplicação em áreas urbanas, próximas a estruturas preexistentes, escolas, hospitais e edifícios históricos, devido à sua capacidade de execução sem causar distúrbios, vibrações ou descompressão do terreno. Além disso, é frequentemente utilizada em obras industriais e conjuntos habitacionais, especialmente quando há um grande número de estacas com diâmetros uniformes, devido à alta produtividade que esse método oferece.

#### 3.2.4.1.1 Passo a Passo da Execução de Estaca Hélice Contínua

##### a) Mobilização do equipamento:

O equipamento principal utilizado é a perfuratriz (Figura 19), que possui uma haste de perfuração com uma hélice contínua. Antes de iniciar, é necessário preparar o terreno e posicionar a perfuratriz no local onde a estaca será executada.

Figura 19 – Perfuratriz com Hélice Contínua



Fonte: Da autora (2023)

b) Perfuração:

A perfuração da estaca hélice contínua é realizada através da cravação da hélice no solo até a profundidade definida no projeto. O processo utiliza uma mesa rotativa no topo da hélice, que aplica o torque necessário para vencer a resistência do terreno.

A haste de perfuração, composta por uma hélice espiral em torno de um tubo central, possui dentes na extremidade inferior que facilitam a penetração no solo. Em terrenos mais resistentes, esses dentes podem ser substituídos por pontas de vídia para maior eficiência.

Durante a perfuração, uma tampa de proteção, geralmente recuperável, impede a entrada de solo no tubo central. Essa tampa é expulsa pelo concreto no início da concretagem.

Na fase de perfuração, a única força vertical atuante é o peso da própria hélice e do solo contido nela. O avanço da hélice é sempre menor que um passo por rotação, e essa relação diminui à medida que a resistência do terreno aumenta.

A perfuração é um processo contínuo, sem retirada da hélice do terreno, o que garante a principal característica da estaca hélice contínua: a não descompressão significativa do solo. Essa característica permite sua execução tanto em solos coesivos quanto arenosos, independentemente da presença do lençol freático (Falconi *et al.*, 2019).

No caso desta obra, o projeto previa execução de maior quantidade de estacas do tipo hélice contínua, porém em decorrência da grande presença rochosa do terreno, não foi possível progredir com essa programação, tendo de converter o projeto das estacas restantes, para estaca raíz.

Com relação a profundidade de execução, foi definido pelo projetista que o mínimo exigido era de 8m, e que estacas que não atingissem essa profundidade, não poderiam ser concretadas e deveriam ser convertidas para estaca raíz. Ao todo, foram executadas 58 estacas de Ø70cm.

c) Concretagem simultânea:

Ao atingir a profundidade desejada, o concreto é bombeado através do tubo central da hélice, preenchendo o espaço deixado por ela à medida que é extraída do terreno. A hélice pode ser retirada sem girar ou, em solos arenosos, com uma rotação lenta no mesmo sentido da perfuração.

A velocidade de extração da hélice durante a concretagem impacta diretamente a pressão e o consumo de concreto. É crucial que a retirada da hélice e o preenchimento com

concreto sejam sincronizados, evitando a formação de vazios que podem levar a estrangulamentos ou seccionamentos da estaca.

A limpeza do solo aderido às lâminas da hélice pode ser feita manualmente ou com um limpador hidráulico acoplado ao equipamento. O solo removido é, então, retirado com o auxílio de uma pá carregadeira.

Normalmente, o concreto preenche a estaca até a superfície de trabalho. No entanto, é possível interromper o preenchimento abaixo da superfície, desde que sejam tomadas precauções para garantir a estabilidade do furo no trecho não concretado e a correta colocação da armadura.

O concreto definido pelo projetista para esse projeto foi  $f_{ck} \geq 30\text{Mpa}$ , consumo mínimo de cimento de  $400\text{kg/m}^3$ , relação água/cimento  $\leq 0,60$ , slump de  $22 \pm 3\text{cm}$ , Brita 0 e exsudação inferior a 4% do volume total de água.

Para que se garantisse a resistência do concreto aplicado, foram extraídos corpos de prova de cada estaca concretada, afim de realizar o ensaio de rompimento a compressão e extrair a resistência atingida aos 7 e 28 dias após a execução. O resumo dos resultados obtidos nestes ensaios está apresentado na tabela abaixo.

Tabela 9 - Resultados obtidos dos ensaios de rompimento à compressão aos 28 dias

	Média	Mínima	Máxima
Resistência (Mpa)	47,8	32,5	58,2

Fonte: compilação dos dados obtidos nos laudos da empresa responsável pelos ensaios, especializada em tecnologia do concreto

d) Inserção da armadura:

A execução de estacas hélice contínua exige a inserção da armadura após a concretagem, o que traz desafios específicos a esse processo. A armadura, em formato de gaiola, é inserida na estaca por gravidade ou com o auxílio de um pilão leve ou vibrador. Devem ser construídas com barras grossas, estribos helicoidais soldados às barras longitudinais e uma extremidade inferior levemente afunilada para facilitar a inserção no concreto e evitar deformações.

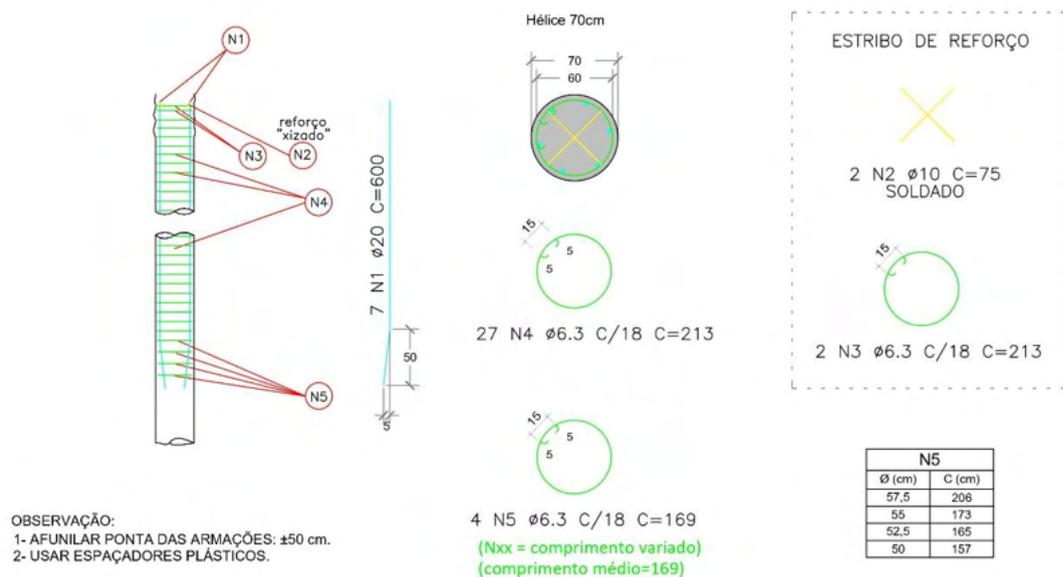
Estacas submetidas somente à compressão podem manter apenas armadura estrutural mínima de 4m, desde que o concreto tenha resistência suficiente para suportar os esforços, conforme a NBR 6122 (ABNT, 2022). A utilização de armadura mínima é feita para garantir a integridade da estaca em caso de cargas acidentais ou variações nas condições do solo. A armadura de ligação com o bloco é uma decisão do projetista. Para estacas sujeitas a esforços

transversais ou de tração que requerem gaiolas longas, é preferível o uso de espirais em vez de estribos, evitando emendas por transpasse. Essas gaiolas devem ser rígidas o suficiente para permitir sua inserção no concreto, por gravidade ou com auxílio de pilão ou vibrador.

A centralização da armadura no furo é garantida por espaçadores tipo pastilha ou roletes, assegurando o recobrimento mínimo necessário.

Nesta obra, a armação da estaca hélice foi definida como 7Ø20mm est. Ø6,3mm c/15 com cobertura nominal de 5cm, conforme detalhamento apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Detalhamento da armadura utilizada nas estacas tipo hélice contínua



Fonte: Detalhamento enviado pelo projetista das fundações

### 3.2.4.1.2 Vantagens da estaca hélice contínua

- Redução de vibrações e ruídos: Comparada a outros métodos de fundação profunda, como a cravação de estacas pré-moldadas, a hélice contínua gera menos ruído e vibrações.
- Rapidez na execução: O processo contínuo de perfuração, concretagem e inserção de armadura permite uma execução rápida.
- Estabilidade das paredes do furo: A hélice ajuda a manter as paredes do furo estáveis durante a perfuração, reduzindo o risco de colapso.

#### 3.2.4.1.3 Desvantagens da Estaca Hélice Contínua

- a) Restrição de uso: Devido ao tamanho do equipamento, as áreas de trabalho precisam ser planas e permitir fácil movimentação.
- b) Viabilidade comercial: Em função do custo de mobilização dos equipamentos, é preciso um planejamento mínimo de estacas que viabilize a execução.

#### 3.2.4.1.4 Considerações Finais

A execução de estacas hélice contínua requer uma equipe de profissionais experientes e um controle rigoroso de qualidade durante todas as etapas. O sucesso deste tipo de fundação depende da correta operação dos equipamentos e da precisão na execução das etapas descritas.

#### 3.2.4.2 Estaca raiz

A estaca raiz é um tipo de fundação profunda amplamente utilizada em terrenos com solos muito resistentes (impenetrável ao SPT), saprólito ou rocha, ou em locais com restrições de espaço para a mobilização de equipamentos maiores, conforme já esclarecido no item 3.1.3.

Segundo Velloso e Lopes (2011), originalmente concebidas para a contenção de encostas, as estacas raiz eram cravadas em reticulados. Sua aplicação se expandiu para o reforço de fundações e, posteriormente, consolidou-se como um método convencional de fundação.

Tem embasamento executivo no Anexo K da NBR 6122 (ABNT, 2022), e teve aplicação direta neste empreendimento, em decorrência da presença significativa de rochas que impossibilitavam a execução da hélice contínua.

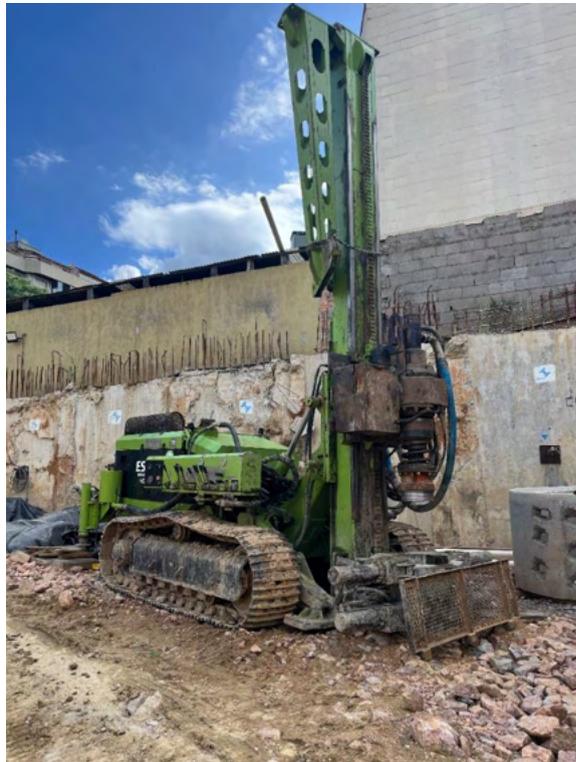
##### 3.2.4.2.1 Passo a Passo da Execução de Estaca Raiz

- a) Mobilização do equipamento:

A perfuratriz (Figura 21), que pode ser montada sobre um caminhão ou em uma estrutura menor, é posicionada no local exato da estaca.

Verificações iniciais são feitas para garantir o alinhamento e a posição correta da perfuratriz.

Figura 21 – Perfuratriz Rotativa



Fonte: Da autora (2023)

b) Perfuração inicial:

A perfuração em solo é realizada pela perfuratriz rotativa, através da rotação de tubos, auxiliada pela circulação de água injetada em seu interior e que retorna à superfície externamente. Esses tubos são emendados (por rosca) conforme a perfuração avança e, posteriormente, recuperados após a instalação da armadura e o preenchimento com argamassa.

O revestimento idealmente deve ser instalado em toda a extensão da perfuração. Contudo, se as condições do terreno permitirem e for devidamente justificado tecnicamente, pode ser parcial, desde que seu comprimento atenda aos requisitos de segurança e estabilidade do furo. Nesse caso, a perfuração abaixo dos tubos também é feita por rotação, com circulação de água, utilizando uma ferramenta de corte.

Quando o revestimento é parcial, a armadura deve ser centralizada no furo, evitando contato com as paredes da perfuração. Isso previne a remoção de solo que, misturado à argamassa, comprometeria a qualidade da estaca e a aderência da armadura. A centralização da armadura pode ser obtida por diferentes métodos, como o uso de espaçadores do tipo rolete ou outros dispositivos adequados.

Para facilitar a perfuração e reduzir o atrito entre o revestimento e o solo, o diâmetro da

base do furo pode ser alargado.

Os detritos da perfuração são levados à superfície pela água, que retorna pelo espaço anular entre o revestimento e o terreno. Assim, o diâmetro final da estaca dependerá do tipo de solo, do método de perfuração e do projeto da estaca, porém, normalmente é maior que o diâmetro externo do revestimento.

A rotação do revestimento é realizada por sistemas mecânicos ou hidráulicos. Existe uma variedade de equipamentos, desde os menores, para locais com pé-direito baixo (cerca de 3 metros) e espaços limitados, até os mais robustos, geralmente sobre esteiras, com motores a diesel e lança hidráulica, que permitem perfurações verticais e inclinadas.

Para perfurar diferentes materiais (alvenaria, concreto ou rocha), podem ser usadas ferramentas de corte com pastilhas de vídia ou diamante, ou a rotopercussão com martelos de fundo acionados por ar comprimido. As dimensões da ferramenta de corte ou do martelo de fundo são limitadas pelo diâmetro interno do revestimento, já que operam dentro dele (Falconi *et al.*, 2019).

Neste projeto se usou como regra as definições do projetista que consideraram que as estacas deveriam possuir 12m de profundidade, com pelo menos 4m de embutimento em rocha e para casos onde a rocha começa em nível próximo a superfície, comprimento mínimo aceitável de 10m com pelo menos 6m de embutimento em rocha.

Ao todo, foram 965 estacas de  $\Phi 40\text{cm}$  executadas que totalizaram 11.018m, sendo 3.209m em solo, 1.313m em alteração rochosa e 6.496m em rocha.

#### c) Instalação da armadura:

Após a perfuração atingir a cota de projeto, continua-se a injetar água, sem avançar a perfuração, para promover a limpeza do furo. A seguir instala-se a armadura (constante ou variável ao longo do fuste), geralmente constituída por barras de aço montadas em gaiola. Recomenda-se o uso de gaiola mesmo em estacas de menor diâmetro (abaixo de 160mm) para garantir um melhor confinamento do concreto e evitar a segregação.

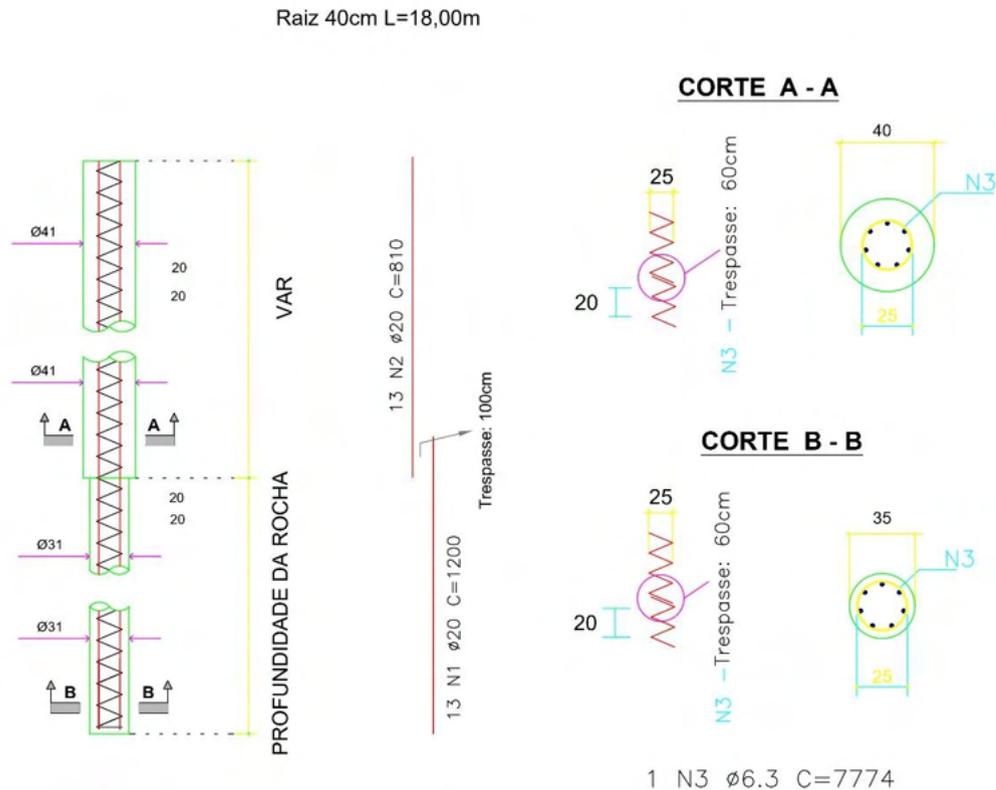
Nas estacas trabalhando à compressão, as emendas das barras podem ser feitas por simples transpasse (devidamente fretado), porém, nas estacas trabalhando à tração, as emendas podem ser feitas por solda, luvas rosqueadas, luvas prensadas ou transpasse com barras de alta aderência, desde que atendam aos requisitos de dimensionamento e detalhamento da NBR 6122 (ABNT, 2022).

Uma vez que o furo atinge a profundidade desejada, uma armadura de aço (geralmente

composta por barras longitudinais e estribos) é introduzida no furo. A armadura deve ser posicionada de modo a ficar centralizada dentro do furo.

Para este projeto, as armaduras foram compostas por 13Ø20mm est. Ø6,3mm c/26, conforme detalhamento apresentado na figura abaixo.

Figura 22 - Detalhamento da armadura utilizada nas estacas tipo raíz



Fonte: Detalhamento enviado pelo projetista das fundações

#### d) Injeção de argamassa:

Após a instalação da armadura, um tubo de injeção (de material resistente à pressão e que não interfira na qualidade da argamassa) é inserido até o fundo da perfuração. A argamassa (mistura de cimento, água e, em alguns casos, aditivos), preparada em misturador de alta turbulência e com resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) mínima de 20Mpa aos 28 dias (conforme NBR 6122 (ABNT, 2022)), é então injetada de baixo para cima até retornar limpa pela boca do tubo de revestimento, indicando o preenchimento completo do furo.

Na sequência, um tampão metálico conectado a um compressor é rosqueado na extremidade superior do revestimento para possibilitar a aplicação de golpes de ar comprimido durante a extração do revestimento, auxiliada por macacos hidráulicos. À medida que os tubos

são extraídos, o nível da argamassa diminui, sendo necessário completá-lo antes da aplicação de um novo golpe de ar comprimido. Essa operação é repetida ao longo da retirada do revestimento.

As estacas raíz foram executadas por duas equipes, com um pico de sete máquinas trabalhando simultaneamente no canteiro. A norma não exige que a execução da argamassa seja feita *in loco* ou em usina, sendo assim, no canteiro havia uma equipe que realizou 100% das estacas com argamassa feita *in loco* e outra equipe com parte *in loco* e parte usinada.

A resistência da argamassa desse projeto foi definida em 20Mpa, com ensaios atingindo resistências de quase 50Mpa (argamassa feita *in loco*). Foram moldados corpos de prova para todas estacas realizadas e estes, foram testados no ensaio de rompimento a compressão, dos quais se extraíram os resultados detalhados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados obtidos dos ensaios de rompimento à compressão aos 28 dias

	Média	Mínima	Máxima
Resistência (Mpa)	27,8	24,6	49,2

Fonte: compilação dos dados obtidos nos laudos da empresa responsável pelos ensaios, especializada em tecnologia do concreto

#### 3.2.4.2.2 Vantagens da Estaca Raíz

- a) Flexibilidade em terrenos com subsolo impenetrável ao SPT, matacão ou rocha: Pode ser usada em uma variedade de condições de solo, incluindo áreas rochosas ou com presença de obstruções.
- b) Baixa vibração: O método de perfuração e injeção minimiza vibrações, tornando-o ideal para áreas urbanas ou próximas a estruturas sensíveis.
- c) Precisão na execução: Permite a instalação de estacas em locais de difícil acesso ou com restrições de espaço.

#### 3.2.4.2.3 Desvantagens da Estaca Raíz

- a) Tempo de execução: por trabalhar fracionando a rocha com compressão, acaba avançando de forma mais lenta, tendo como alta produtividade a produção de 4 estacas por máquina por dia.
- b) Custo: por necessitar de compressor e possuir menor produtividade, tem seu custo mais elevado. Além disso, a argamassa é mais cara e acaba percolando entre as fissuras da

rocha muito mais do que o concreto da hélice contínua, o que faz sua perda ser mais suntuosa e onerosa.

#### *3.2.4.2.4 Considerações Finais*

A execução de estacas raiz requer planejamento cuidadoso e o uso de equipamentos adequados. Cada etapa do processo deve ser monitorada para garantir que a estaca atenda aos requisitos de projeto e desempenho estrutural. Além disso, a escolha de materiais de qualidade e a experiência da equipe de execução são fatores críticos para o sucesso deste tipo de fundação.

#### **3.2.4.3 Sistema de drenagem**

Conforme já mencionado na contextualização do projeto inicial, por questões financeiras, o sistema de rebaixamento profundo foi substituído por rebaixamento superficial. Este sistema funciona com a criação de poços de captação e colchão drenante, que faz o direcionamento da água.

Para que toda a área do terreno fosse escoada, de forma a não permitir a infiltração na estrutura, 16 poços foram projetados, sendo 4 na projeção da Torre A, 3 na projeção da Torre B, 6 na projeção das Lojas, 2 na região das Docas e 1 na região da Rampa, conforme projeto apresentado no Anexo C.

Afim de garantir o pleno funcionamento da rede de poços, é necessário executar um sistema que faça o direcionamento da água até os mesmos, e para essa solução adotou-se o colchão drenante.

Um colchão drenante é uma camada de material granular permeável, como areia ou brita, colocada para facilitar a drenagem da água, evitando seu acúmulo.

Foi dimensionado provisoriamente para este empreendimento, afim de permitir a drenagem da água ascendente do terreno, até que a laje de subpressão e supraestrutura sejam feitas e trabalhem de forma independente na contenção da água, inutilizando o colchão drenante.

A execução do colchão drenante passa pelas seguintes etapas:

- a) Planejamento e projeto

Análise do solo: avaliação do solo para entender suas características e determinar a necessidade

específica de drenagem.

Nesta obra, chegou-se a conclusão de que um colchão drenante era necessário, em decorrência da grande presença de água identificada através dos piezômetros instalados, conforme detalhado no capítulo 2 (Análises preliminares).

Projeto de drenagem: desenvolvimento de projeto que defina a espessura do colchão drenante, os materiais a serem utilizados e a localização dos drenos (se necessários).

O projeto do colchão drenante foi desenvolvido por escritório contratado, está apresentado no Anexo C, e contou com espessuras totais que variam de 40cm a 52cm.

#### b) Preparação do terreno

Escavação: escavação da área onde o colchão drenante será instalado até a profundidade projetada, certificando-se de que a base da escavação esteja nivelada.

Compactação: compactação do fundo da escavação para criar uma base sólida e uniforme para o colchão drenante.

#### c) Instalação do geotêxtil

Geotêxtil: Instalação de uma camada de geotêxtil no fundo e nas laterais da escavação. O geotêxtil atua como um filtro, permitindo a passagem da água enquanto retém as partículas de solo, prevenindo a contaminação do material drenante. Neste empreendimento, de acordo com projeto, foi utilizado Geotêxtil de 10kN de resistência (Figura 23).

Figura 23 – Instalação do Geotêxtil na área das Docas



Fonte: Da autora (2024)

d) Colocação do material drenante

Material granular: Adição de camada de material granular, como brita ou cascalho, sobre o geotêxtil. A espessura dessa camada depende do projeto, mas geralmente varia entre 20cm e 50cm. Para este projeto, a espessura da camada de brita depende da cota de fundo do rebaixo da laje, considerando 28cm quando a cota for inferior a 1,60m e 40cm quando a cota for igual ou superior a 1,60m, portanto, a camada total de material drenante (brita) varia entre 35cm e 47cm. Para os casos em que o rebaixo é menor que 1,60m, considera-se 28cm de brita n°4 (Ø50mm a 76mm) e 7cm de brita n°1 (Ø9,5mm a 19mm) para preencher os grandes vazios deixados pela brita n°4. Já para os casos de rebaixo  $\geq 1,6m$ , considera-se 40cm de brita n°4 e 7cm de brita n°1 (Figura 24).

Figura 24 – Adição do material drenante (Brita n°4 e brita n°1) em capitel da Torre A



Fonte: Da autora (2024)

Nível e compactação: distribuição do material de forma uniforme e compactação leve para garantir estabilidade. Evita-se compactar demais, pois isso pode reduzir a permeabilidade do colchão drenante.

e) Instalação de sistemas auxiliares de drenagem (se necessário)

Tubos drenantes: Em casos onde é necessário um escoamento mais direcionado da água, instalam-se tubos drenantes perfurados ao longo do colchão drenante. Esses tubos devem ser envoltos em material granular e cobertos com geotêxtil. Para este projeto foram dimensionados aproximadamente 1.200m de Tubo perfurado corrugado PEAD DN170mm (Figura 25), afim de criar uma malha de drenagem que direcione a água para os poços profundos já previamente executados.

Figura 25 – Tubos de drenagem já preparados para instalação, envoltos em Geotêxtil



Fonte: Da autora (2024)

**Drenos verticais:** Para áreas com alta presença de água subterrânea, drenos verticais podem ser instalados para facilitar a drenagem profunda. Neste caso específico, os drenos verticais foram os próprios poços profundos, que já foram dimensionados para distribuir a água que percolasse até o topo do colchão, evitando que houvesse pressão d'água no radier.

#### f) Finalização

**Geotêxtil (se aplicado):** Instalar uma camada dupla de geotêxtil sobre a camada superior do material drenante para encapsulá-lo completamente. Para este projeto não foi necessário instalar esta camada dupla pois a contenção do material foi feita com lona e uma fina camada de concreto magro, executado para nivelar e facilitar a execução do radier.

**Cobertura:** Adicione uma camada de solo ou outro material conforme especificado no projeto, para finalizar a superfície da área.

#### g) Considerações importantes

**Escolha de materiais:** Deve-se utilizar materiais de alta permeabilidade, como brita ou cascalho

e evitar materiais que possam compactar e reduzir a eficiência de drenagem, como areia muito fina ou argila.

**Manutenção:** Periodicamente, deve ser verificada a eficiência do colchão drenante e, se necessário, fazer limpezas ou reparos para remover qualquer obstrução que possa comprometer a drenagem. Neste projeto não será necessário fazer esse acompanhamento, uma vez que o colchão já foi dimensionado provisoriamente, para um período superior ao que realmente será necessário, até que as fundações e supraestrutura sejam concluídas (aproximadamente 1 ano após a execução do colchão drenante).

**Projeto personalizado:** Cada projeto de colchão drenante deve ser adaptado às condições específicas do local, incluindo a topografia, tipo de solo e necessidades de drenagem.

#### **3.2.4.4 Radier**

Conforme especificado na contextualização do projeto inicial, foi necessário para fins executivos e financeiros, adotar como solução de fundação o radier estaqueado, que será explanado conceitualmente no Capítulo 4 e executivamente no Capítulo 5.

#### **3.2.4.5 Laje de subpressão**

A laje de subpressão neste empreendimento teve aplicação em decorrência da alta presença de água, e conforme mencionado anteriormente no item 3.1.4, trabalha em conjunto com os demais elementos, colchão drenante e radier, tendo função quase que exclusiva de resistir estruturalmente ao esforço exercido pela água ascendente.

A laje de subpressão foi dimensionada em conjunto com o radier estaqueado, ou seja, foi considerado no cálculo as necessidades agrupadas, que cada um dos elementos teria individualmente, gerando um único elemento de concreto armado. Para fins de definição, entende-se como laje de subpressão os últimos 60cm concretados do radier, e por se tratar de um elemento único, se considera como armadura e concreto, os mesmos utilizados no radier e detalhados no Capítulo 5.

## 4 RADIER ESTAQUEADO – CONCEITO

O radier estaqueado é um tipo de fundação que combina elementos de fundações superficiais e profundas. Segundo Falconi *et al.* (2019, p. 226), “Quando todos os pilares de uma estrutura transmitirem as cargas ao solo através de uma única sapata, tem-se o que se denomina uma fundação em radier”, que neste caso, é apoiado diretamente sobre o solo e também sustentado por estacas. Esse sistema distribui as cargas da edificação tanto para o solo quanto para as estacas, oferecendo uma solução eficiente para evitar recalques excessivos e melhorar a capacidade de carga.

### 4.1 COMPONENTES PRINCIPAIS DO RADIER ESTAQUEADO

- a) Radier (laje de concreto): É uma laje espessa de concreto que cobre toda a área da fundação da edificação. O radier atua como uma plataforma que distribui as cargas da estrutura para as estacas e para o solo.
- b) Estacas: São elementos estruturais profundos que transferem as cargas do radier para camadas mais profundas do solo com maior capacidade de carga. As estacas são cravadas ou perfuradas até atingirem essas camadas mais competentes.

### 4.2 VANTAGENS DO RADIER ESTAQUEADO

- a) Melhor distribuição de cargas: Ao combinar o radier e as estacas, as cargas são distribuídas de maneira mais uniforme, o que reduz a pressão sobre o solo e minimiza recalques diferenciais.
- b) Economia de materiais: Comparado a fundações que utilizam apenas estacas ou apenas radiers, o radier estaqueado pode ser mais econômico, pois otimiza o uso de materiais ao distribuir cargas de maneira mais eficiente.
- c) Redução de recalques: Este sistema é eficaz para evitar recalques significativos, que podem ocorrer em solos menos competentes ou em áreas onde a carga da estrutura é muito alta.

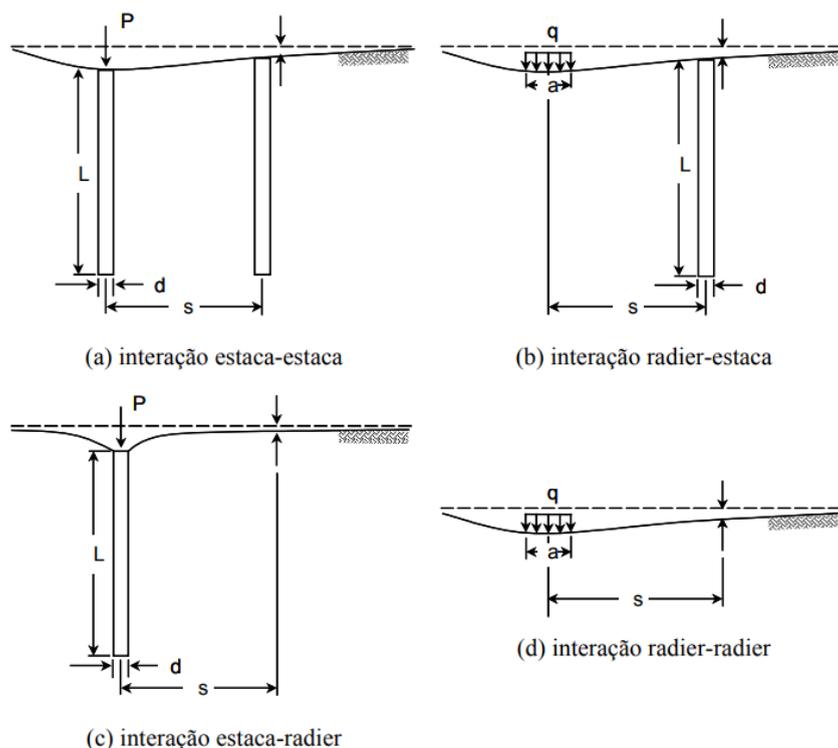
- d) Aplicações: Construções altas e pesadas: É particularmente útil em edifícios altos onde as cargas são muito elevadas e concentradas. Por exemplo, o Burj Khalifa em Dubai utiliza um radier estaqueado para suportar sua enorme altura e peso.
- e) Solo de baixa capacidade de carga: Ideal em solos que não possuem alta capacidade de carga superficial, onde a combinação de radier e estacas ajuda a estabilizar a fundação.

#### 4.3 DESAFIOS E CONSIDERAÇÕES

- a) Cálculo e projeto: O projeto de um radier estaqueado requer cálculos precisos e o uso de métodos avançados de análise, como o Método dos Elementos Finitos, para garantir que as cargas sejam distribuídas adequadamente entre o radier e as estacas. Estes cálculos devem prever as interações que ocorrem na estrutura (Figura 26), sendo elas:

- Interação Estaca / Estaca
- Interação Radier / Estaca
- Interação Estaca / Radier
- Interação Radier / Radier

Figura 26 – Interações realizadas na estrutura



Fonte: Capítulo 2 de Análises De Recalque Em Radiers Estaqueados – PUC/Rio

As estacas no sistema de Radier são consideradas como molas lineares ou não lineares, sofrendo em momentos compressão e outros tração.

#### 4.4 FUNCIONAMENTO DO RADIER ESTAQUEADO

O radier estaqueado funciona transmitindo a carga de três modos diferentes:

- a) Base horizontal do radier – descarrega a carga diretamente no solo por compressão, em toda a área do radier (parte superficial da fundação);
- b) Fuste lateral das estacas – funciona na área lateral das estacas, por atrito com o solo (parte profunda da fundação);
- c) Carga de ponta das estacas – descarrega a carga diretamente no solo pela área da ponta da estaca, por compressão (parte profunda da fundação).

##### 4.4.1 Ensaios requeridos

Para a execução deste empreendimento, o projetista solicitou a realização de uma série de ensaios, os quais serão detalhados a seguir, com a apresentação dos resultados brutos, sem interpretação em sua maioria. É importante ressaltar que, devido à complexidade técnica da análise dos dados, que requer expertise em geotecnia, a maioria dos resultados foi encaminhada diretamente ao projetista, responsável pelo dimensionamento das fundações, para avaliação e incorporação ao projeto.

- a) Ensaio de placa (carga lenta) (11 ensaios) – Sendo uma das melhores maneiras de determinar as características de deformação dos solos, coleta suas informações através da reprodução no solo da carga que a fundação direta irá impor (Figura 27). O ensaio é regido pela NBR 6489 (ABNT, 2019) e é executado aplicando-se cargas da ordem de 5 a 10% da carga de ruptura prevista, de onde se extraem as leituras de recalque nos tempos 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos ou até que haja estabilização dos mesmos (Falconi *et al.*, 2019). Analisa a capacidade de suporte do solo e o deslocamento dos elementos da fundação. A partir deste é possível se extrair o coeficiente de reação vertical, parâmetros de deformação, de resistência e recalque por extrapolação.

Figura 27 – Ensaio de placa sendo realizado



Fonte: Da autora (2024)

A seguir, será apresentado na Tabela 11 um compilado dos resultados obtidos nos ensaios, e no Anexo E, um trecho do relatório contendo os dados completos obtidos em um dos ensaios.

Tabela 11 - Resultados obtidos nos ensaios de placa realizados

	Seção da placa utilizada (cm)	Máxima tensão aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	Deslocamento máximo (mm)	Observações
PCP01	Ø55	1,8	8,22	1*
PCP02	Ø42	2,4	36,61	
PCP03	Ø55	1,8	2,13	1*
PCP04	Ø55	1,8	30,60	
PCP05	Ø42	1,8	15,33	
PCP06	Ø55	1,8	2,38	1*

Fonte: compilação de dados dos laudos enviados pela empresa especializada responsável pelos ensaios

1\* - Ensaio interrompido em função do aumento rápido do nível d'água no interior da cava durante a execução do ensaio, gerando risco de dano aos relógios comparadores.

- b) Ensaio de PCE (11 ensaios) – Regido pela NBR 16903 (ABNT, 2020), o ensaio de Prova de Carga Estática (PCE) em estacas é um procedimento fundamental para avaliar o comportamento de estacas e fundações profundas sob carregamento. Ele consiste em aplicar cargas estáticas crescentes à estaca (Figura 28), simulando as condições de serviço da obra, e monitorar os deslocamentos correspondentes. A aplicação da carga é feita de forma gradual, em etapas, no topo do bloco de coroamento da estaca ensaiada, mediante a utilização de um sistema composto por um cilindro hidráulico, acionado por uma bomba hidráulica, sendo a carga monitorada por um manômetro aferido. O controle dos deslocamentos do topo do bloco de coroamento é feito mediante a utilização de quatro relógios comparadores (para registrar os deslocamentos da estaca em diferentes pontos e sob diferentes cargas), com precisão de 0,01mm. A fixação destes relógios é feita mediante a utilização de garras magnéticas instaladas em vigas de referência metálicas. O ensaio foi dividido em 10 estágios, com acréscimos de 0,10 da carga máxima em cada um, variando de 0 tf a 320 tf para a estaca raiz e de 0 tf a 340 tf para a estaca hélice contínua monitorada. A progressão para o próximo estágio ocorria após a estabilização dos deslocamentos no estágio anterior, conforme a NBR 16903 (ABNT, 2020). Os estágios de descarregamento foram conduzidos com diferenças de carga de 0,25 da carga máxima do ensaio. Os dados coletados são utilizados para construir a curva carga-deslocamento, que é essencial para a interpretação dos resultados. O ensaio PCE tem por objetivo determinar a capacidade de carga da estaca, avaliar a curva carga-deslocamento, verificar o comportamento da estaca em diferentes estágios de carga e validar o projeto da fundação.

Figura 28 – Ensaio PCE sendo executado



Fonte: Da autora (2024)

A análise técnica, elaborada pelo especialista realizador dos ensaios, será apresentada no quadro a seguir, acompanhada de um exemplo dos dados obtidos nos relatórios, disponível no Anexo F.

Para as estacas tipo raíz, foi adotado como padrão em todos ensaios, seção de 400mm, carga de trabalho de 160tf e carga de ensaio de 320tf.

Quadro 1 - Resumo dos resultados obtidos nos ensaios para as estacas raíz

Estaca	L perfurado (m)		Parecer
	Solo	Rocha	
H1	8	4	Apresentou deslocamentos de grandeza considerável, levando em conta que a mesma está inserida em rocha.
EF4	7	4	Não apresentou comportamento adequado, devido ruptura identificada na execução do ensaio durante a passagem do 8º para o 9º estágio de carregamento.
EA4	8	4	Apresentou comportamento adequado até o 9º estágio de carregamento, sendo o ensaio interrompido devido à dano no bloco de coroamento que impediu a continuidade da aplicação de carga.

Fonte: Relatório enviado pela empresa contratada para realização dos ensaios

Para as estacas tipo hélice contínua, foi adotado como padrão em todos ensaios, seção de 700mm, carga de trabalho de 170tf e carga de ensaio de 340tf, e a análise técnica apresentada no quadro abaixo.

Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos nos ensaios para as estacas hélice contínua

Estaca	L perfurado (m)	Parecer
G1	14,47	Apresentou comportamento adequado, não indicando ruptura da interação solo-estaca.
ED7	12,56	Não apresentou comportamento adequado, devido a deslocamentos excessivos apresentados durante a execução do ensaio (8º Estágio).
EE3	11,12	Apresentou comportamento adequado, não indicando ruptura da interação solo-estaca.
EC3	11,04	Apresentou comportamento adequado, não indicando ruptura da interação solo-estaca.
EB4	8,00	Apresentou comportamento adequado, não indicando ruptura da interação solo-estaca.

Fonte: Relatório enviado pela empresa contratada para realização dos ensaios

- c) Ensaio de PDA (17 ensaios) – O ensaio de Prova de Carga Dinâmica (PDA) em estacas é um método utilizado para avaliar a capacidade de carga máxima mobilizada em estacas, baseado na análise da resposta da estaca a impactos controlados. Regido pela NBR 13208 (ABNT, 2007), é uma alternativa mais rápida e econômica em relação ao ensaio de Prova de Carga Estática (PCE), sendo frequentemente utilizado em obras de grande porte com várias estacas. Para a sua execução, a estaca é preparada com sensores

(acelerômetros e extensômetros) em sua cabeça, que deve estar limpa e nivelada. Um martelo ou peso, conforme a norma, impacta a estaca a uma altura predeterminada, e os sensores registram a resposta da estaca (força, velocidade e deslocamento). Os dados coletados são processados por softwares específicos para estimar a capacidade de carga da estaca, e a norma define os critérios de aceitação ou rejeição com base nos resultados. Neste empreendimento, os ensaios PDA tinham caráter confirmatório dos demais ensaios já realizados, porém, em sua maioria não puderam ser concluídos em função de danos na cabeça dos blocos durante a execução dos ensaios, que causaram o cancelamento e invalidação dos resultados obtidos. Abaixo consta figura deste ensaio, sendo realizado no empreendimento de análise.

Figura 29 – Ensaio PDA sendo executado



Fonte: Da autora (2024)

- d) Ensaio PIT (150 ensaios) – O ensaio PIT (*Pile Integrity Test*) é um método não destrutivo utilizado para avaliar a integridade estrutural de estacas de concreto, baseado na análise da propagação de ondas sonoras geradas por um impacto controlado em sua cabeça. No Brasil, embora não haja uma norma específica, a norma americana ASTM D5882 (ASTM, 2016) é frequentemente utilizada como referência. O ensaio consiste em fixar um acelerômetro na cabeça da estaca para medir as vibrações geradas por um

impacto com martelo manual ou mecânico. O acelerômetro registra as ondas sonoras que se propagam pela estaca, e o sinal gerado é armazenado para posterior análise por softwares específicos, os quais identificam possíveis anomalias na estaca, como fissuras ou vazios. Este método rápido e eficiente permite identificar problemas que podem comprometer a segurança e o desempenho da fundação.

- e) Ensaio Cone CPTU – Não tendo norma brasileira que regulamente o procedimento, normalmente se faz uso da ASTM D5778 (ASTM, 2020), o ensaio CPTU (*Cone Penetration Test with Pore Pressure Measurement*), também conhecido como ensaio de "Piezocone", consiste na cravação contínua de uma haste com ponta cônica a velocidade constante e controlada (Figura 30), fornecendo informações do solo, como o módulo de elasticidade, resistência de ponta ( $q_t$ ), atrito lateral ( $f_s$ ), poro-pressão ( $u$ ) e estima parâmetros de resistência do solo, adensamento, etc. Durante a cravação, as resistências são medidas por um sistema de subtração, utilizando duas células de carga: a primeira, próxima à ponta, mede apenas a resistência de ponta, enquanto a segunda, acima da primeira, mede a resistência total (ponta + lateral), obtendo-se o atrito lateral pela diferença entre as leituras. Simultaneamente, um transdutor de pressão, acoplado a um elemento poroso e posicionado próximo à ponta do cone, mede a pressão neutra ( $u$ ) durante o ensaio, crucial para a avaliação das condições de poro-pressão no solo e interpretação dos resultados (Velloso; Lopes, 2011).

Figura 30 – Ensaio CPTU sendo executado



Fonte: Da autora (2023)

Foram realizados 4 perfis de piezocone, totalizando 30,22m de sondagem, com as profundidades listadas na tabela abaixo.

Tabela 12 - Profundidades atingidas nos ensaios de Piezocone

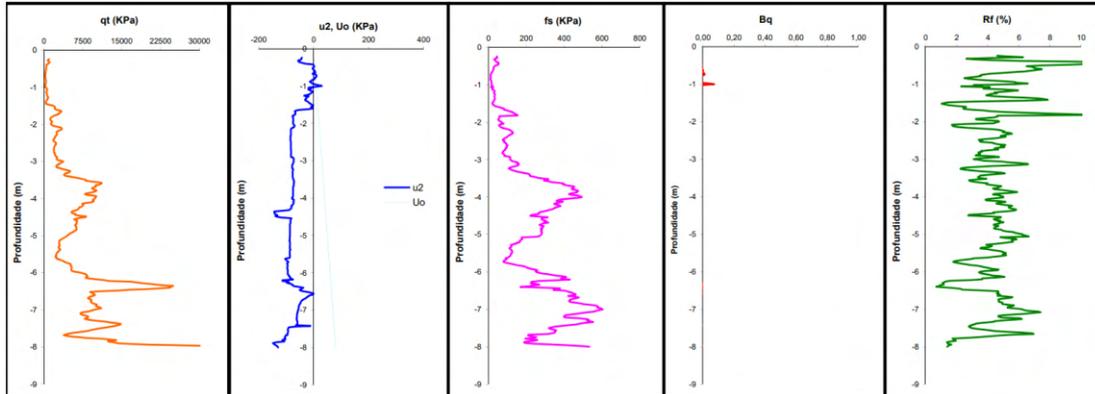
ENSAIO	COTA	PROF.
CPTU 01	22,45	8,00
CPTU 02	24,57	10,00
CPTU 03	23,74	6,58
CPTU 04	22,24	5,64

Fonte: Relatório enviado por empresa especializada responsável pelo ensaio de Piezocone.

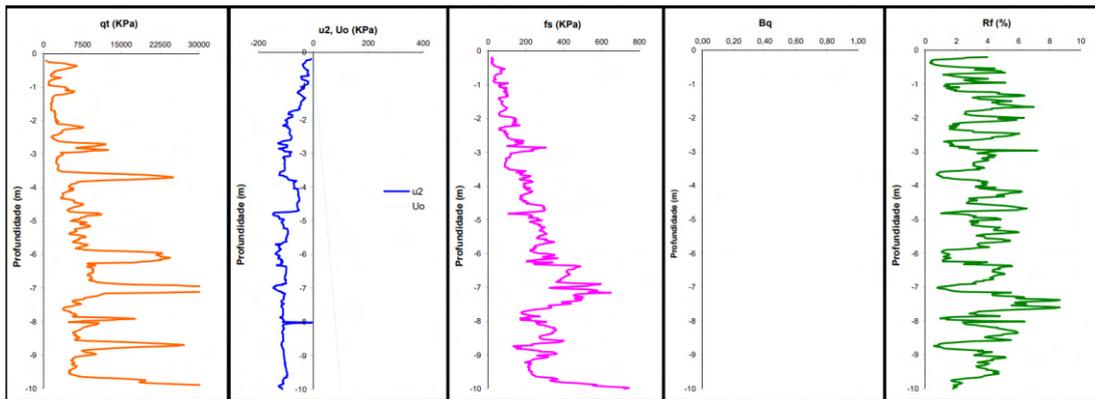
Os resultados são mostrados no Gráfico 2, através dos gráficos de resistência de ponta (qt) versus profundidade; Poro pressão (u) versus profundidade; Atrito lateral (fs) versus profundidade; Parâmetro de razão de poro pressão (Bq) versus profundidade, e Razão de atrito (Rf) versus profundidade.

Gráfico 2 - Resultados obtidos nos ensaios de Piezocone

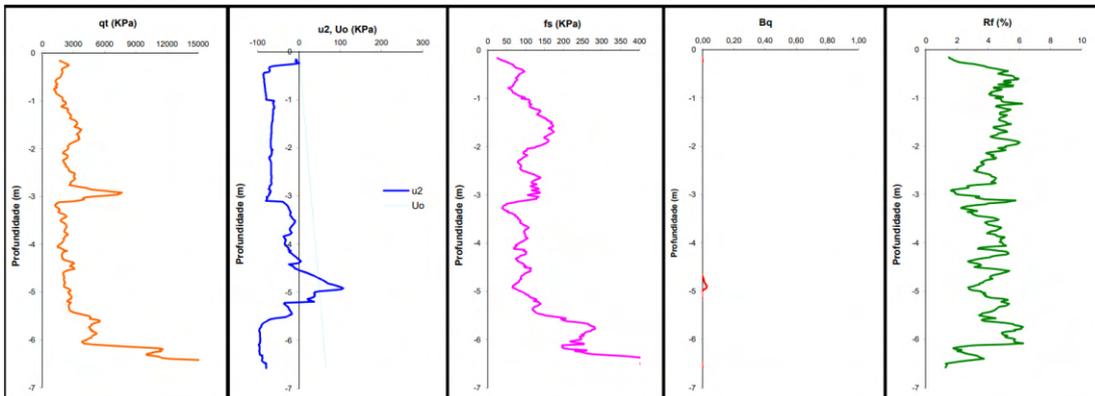
## CPTU 01



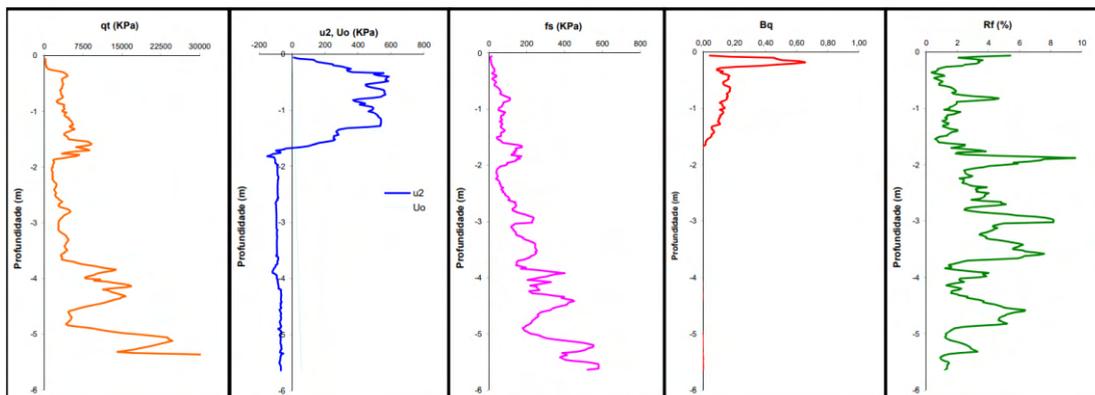
## CPTU 02



## CPTU 03



## CPTU 04



Fonte: Relatório enviado por empresa especializada responsável pelo ensaio de Piezocone

#### 4.5 CUIDADO NA EXECUÇÃO

A execução deve ser feita com precisão para evitar problemas como fissuras no radier. É crucial seguir as especificações de projeto rigorosamente, incluindo a correta cura do concreto e o posicionamento das estacas.

#### 4.6 EXEMPLOS REAIS

- a) Burj Khalifa: O edifício mais alto do mundo, o Burj Khalifa, utiliza um radier estaqueado com uma espessura de 3,5 metros, suportado por 194 estacas de 1,5 metros de diâmetro e 43 metros de comprimento.

## 5 RADIER ESTAQUEADO - EXECUÇÃO

A execução do radier estaqueado passa por algumas etapas. Na sequência, será explanado o procedimento para este empreendimento em questão.

### 5.1 RADIER

Antes de entrar na execução propriamente dita do radier, será explanado sobre sua setorização. Por se tratar de uma grande área de construção, foi necessário criar um plano de execução para o radier, o setorizando e dividindo suas execuções em equipes distintas, conforme apresentado na figura abaixo.

Figura 31 - Setorização da obra para execução do radier



Fonte: Setorização criada para Plano de ataque da obra sobre projeto de supraestrutura

Nem todos os projetos de radier incluem a execução prévia de um colchão drenante. Neste empreendimento específico, a execução do radier iniciou-se na instalação das fôrmas, uma vez que as etapas iniciais, já haviam sido concluídas com a execução do colchão drenante. No entanto, o procedimento padrão para a execução de um radier inclui as seguintes etapas preliminares:

### 1. Preparação do terreno

- a) Estudo do solo: Antes de iniciar a execução do radier, é fundamental realizar um estudo geotécnico do solo para determinar suas características e a profundidade da fundação.
- b) Limpeza e nivelamento: A área onde o radier será construído deve ser limpa de qualquer vegetação, detritos e outras obstruções. Em seguida, o solo é nivelado e compactado para garantir uma base estável.
- c) Escavação: Caso necessário, é feita uma escavação superficial para acomodar o radier e qualquer camada de base adicional, como brita.

### 2. Execução da camada de base

- a) Colocação de brita: Uma camada de brita é espalhada sobre o solo compactado. Essa camada ajuda na drenagem e na distribuição das cargas.
- b) Compactação: A brita é compactada para proporcionar uma superfície firme e estável para o radier.

Como mencionado anteriormente, o radier em estudo iniciou a partir das etapas que serão explicitadas abaixo, por já ter os procedimentos detalhados acima, executados na etapa do colchão drenante.

### 3. Instalação das fôrmas

- a) Montagem das fôrmas: As fôrmas (de madeira, aço ou outro material) são montadas ao redor do perímetro do radier. Elas definem a forma e a espessura da laje de concreto. Foram escolhidas para este projeto, fôrmas confeccionadas em tábuas de madeira, conforme Figura 32.

Figura 32 - Confeção das fôrmas na região das Docas, para concretagem do radier



Fonte: Da autora (2024)

b) Colocação da armadura

Colocação das barras de aço: Barras de aço são dispostas em forma de malha (armadura) sobre a camada de brita. A armadura é projetada para suportar as cargas e tensões que o concreto enfrentará.

Neste projeto a etapa de montagem das armaduras precedeu a confecção das fôrmas, pois o projeto de armaduras (conforme será mencionado na sequência) previu uma malha de aço extremamente concentrada, que teria sua execução dificultada caso fosse prevista posteriormente a confecção das fôrmas.

O projeto de armaduras foi dimensionado com uma densa camada de aço, afim de sustentar tanto a compressão realizada pelo peso da estrutura, quanto a tração pela pressão da água ascendente presente. Foram utilizadas barras de Ø6,3mm, Ø8mm, Ø10mm, Ø12,5mm, Ø16mm, Ø20mm, Ø25mm e Ø32mm, porém pelo grande volume de pranchas de projeto (mais de 40 pranchas), somente serão apresentadas no Anexo G, as respectivas ao setor da Torre A, e abaixo, na Tabela 13 um resumo do quantitativo de todos setores.

Tabela 13 - Quantitativo acumulado do peso de aço necessário para execução do radier

	Ø6,3mm	Ø8mm	Ø10mm	Ø12,5mm	Ø16mm	Ø20mm	Ø25mm	Ø32mm	Total
Peso (kg)	29,2	6.477,1	27.094,4	43.594,3	281.764,3	255.440,3	335.176,3	186.197,9	1.135.773,8
Peso (ton)	0,0	6,5	27,1	43,6	281,8	255,4	335,2	186,2	1.135,8
%	0,00%	0,57%	2,39%	3,84%	24,81%	22,49%	29,51%	16,39%	

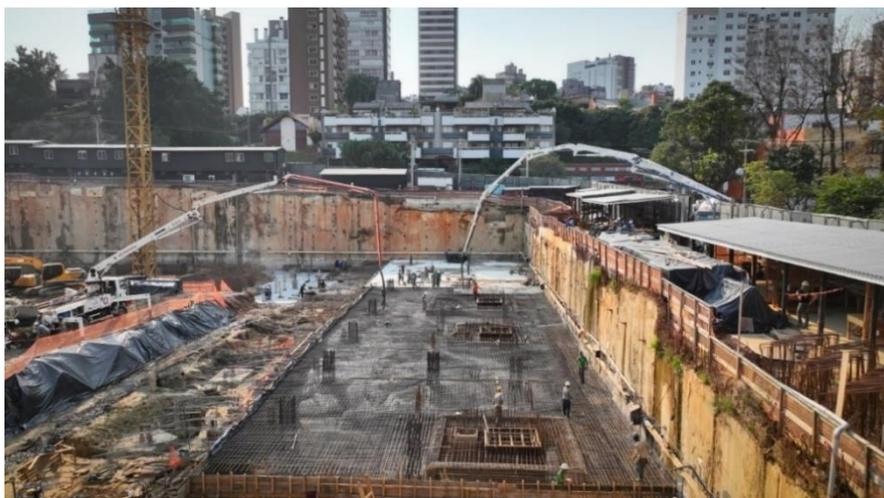
Fonte: Tabelas de quantitativos dos projetos de armadura do radier

- c) Espaçadores: Espaçadores são utilizados para garantir que a armadura fique corretamente posicionada dentro do concreto, geralmente a uma certa distância da base e do topo da laje. Por se tratar de grande quantidade de aço e volume de concreto, utilizou-se o espaçador tipo multiapoio (centopéia) neste empreendimento.

#### 4. Concretagem

- a) Preparação do concreto: O concreto é preparado de acordo com as especificações do projeto, que incluem a proporção correta de cimento, areia, brita e água. Neste projeto, em decorrência do grande volume previsto de concretagem, foi necessário tomar algumas providências específicas, como um estudo aprofundado do concreto a ser utilizado, feito por laboratório especializado em tecnologia do concreto e ensaio de concretagem, feito pelo mesmo laboratório para rastrear o aquecimento do concreto. Além disso, depois da inutilização do colchão drenante, o radier ficará em contato com a água do terreno, e para evitar danos decorrentes da percolação desta água, se fez uso de impermeabilização do próprio concreto, conforme será detalhado abaixo, junto dos demais itens mencionados anteriormente.
- b) Lançamento do concreto: O concreto é lançado (despejado) sobre a armadura de aço dentro das fôrmas. Esse processo deve ser feito de maneira contínua para evitar juntas frias. A Figura 33 mostra a concretagem que foi realizada no dia 03 de agosto de 2024, da maior parte do radier da Torre A, somando 1244m<sup>3</sup> de concreto.

Figura 33 - Concretagem da área quase total do radier da Torre A, 1244m<sup>3</sup> de concreto



Fonte: Da autora (2024)

- c) Vibração: O concreto é vibrado para eliminar bolhas de ar e garantir que ele preencha completamente o espaço dentro das fôrmas, envolvendo a armadura.

## 5.2 ESTUDO DO CONCRETO UTILIZADO

Conforme já mencionado, o radier deste empreendimento foi dimensionado desconsiderando para fins de resistência à água, a existência do colchão drenante pois o mesmo foi executado de forma provisória, até que as torres sejam concluídas. Tendo isso em vista, sabe-se que após a inutilização do colchão, o radier irá passar a ter contato direto com a água ascendente do terreno.

Para escolher com maior assertividade o impermeabilizante a ser usado no concreto, se contratou uma empresa especializada em tecnologia do concreto para executar alguns testes, com três diferentes aditivos impermeabilizantes por cristalização, Xypex, Penetron e Silium. Alguns dos testes, assim como seus resultados serão explanados abaixo.

### 5.2.1 Estudo do traço do concreto

Um dos ensaios consistiu em avaliar o desempenho na ruptura a compressão, de corpos de prova moldados com o traço referência desenvolvido, adicionando-se os impermeabilizantes. Para este ensaio, mantiveram-se as proporções na maior parte dos casos, excetuando somente a quantidade adicionada de cristalizante em função do funcionamento próprio de cada produto. Os traços reproduzidos assim como as resistências atingidas nos rompimentos a compressão, serão apresentados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Traços reproduzidos

Material	Fornecedor	REF	XYPEX 1%	PENETRON 0,8%	SILIUM 0,8%
Cimento CP II F 40	Votorantim	321	321	321	321
Areia fina	Apolo	399	399	399	399
Areia artificial	Mineração Vera Cruz	467	467	467	467
Brita 0	Vila Rica	341	341	341	341
Brita 1	Vila Rica	796	796	796	796
Aditivo Polifuncional	Sika	3,85	3,85	3,85	3,85
Aditivo cristalizante	*	-	3,21	2,57	2,57
Água	Rede pública	172	172	172	172

\* Foram testados os três fornecedores listados nas colunas ao lado do traço REF.

Fonte: Relatório de ensaio dos traços de concreto desenvolvidos por escritório especializado em Tecnologia do Concreto

Tabela 15 - Resultados obtidos no rompimento à compressão dos corpos de prova

Traço	Data da moldagem	Idade (dias)	Data do ensaio	Dimensões (cm) (Alt. x Ø)	Resistência à compressão (MPa)	
					Individual	Exemplar
REF	24/10/2023	3	27/10/2023	19,9 x 10,0	37,9	37,9
				19,9 x 10,0	37,2	
		7	31/10/2023	19,8 x 10,0	45,0	45,0
				19,8 x 10,0	42,9	
		28	21/11/2023	19,7 x 10,0	54,0	54,9
				19,7 x 10,0	54,9	
		63	26/12/2023	19,7 x 10,0	57,0	57,6
				19,8 x 10,0	57,6	
XYPEX 1%	24/10/2023	3	27/10/2023	19,9 x 10,0	39,3	39,3
				19,9 x 10,0	39,0	
		7	31/10/2023	19,7 x 10,0	43,2	45,8
				19,6 x 10,0	45,8	
		28	21/11/2023	19,7 x 10,0	53,0	53,0
				19,8 x 10,0	52,2	
		63	26/12/2023	19,7 x 10,0	55,8	56,4
				19,8 x 10,0	56,4	
PENETRON 0,8%	24/10/2023	3	27/10/2023	19,9 x 10,0	38,7	38,7
				19,9 x 10,0	35,1	
		7	31/10/2023	19,8 x 10,0	47,0	47,0
				19,8 x 10,0	45,3	
		28	21/11/2023	19,9 x 10,0	52,4	54,4
				19,8 x 10,0	54,4	
		63	26/12/2023	19,7 x 10,0	57,0	57,0
				19,8 x 10,0	55,3	
Traço	Data da moldagem	Idade (dias)	Data do ensaio	Dimensões (cm) (Alt. x Ø)	Resistência à compressão (MPa)	
SILIUM 0,8%	24/10/2023	3	27/10/2023	19,9 x 10,0	37,6	37,6
				19,9 x 10,0	33,3	
		7	31/10/2023	19,9 x 10,0	42,3	42,3
				19,9 x 10,0	41,2	
		28	21/11/2023	19,8 x 10,0	52,0	53,1
				19,8 x 10,0	53,1	
		63	26/12/2023	19,7 x 10,0	55,2	56,6
				19,8 x 10,0	56,6	

Fonte: Relatório de ensaio dos traços de concreto desenvolvidos por escritório especializado em Tecnologia do Concreto

### 5.2.2 Estudo da infiltração de água no concreto

Para avaliar a infiltração da água no radier quando o colchão drenante cessar seu efeito, foi executado o Procedimento de teste de penetração de água - GT - Redutor de permeabilidade de 08/2021 em analogia à ABNT NBR 10787 (ABNT, 2011) – Concreto endurecido - Determinação da penetração de água sob pressão. Com este ensaio foi possível avaliar a penetração da água no concreto após 14 dias sob pressão. O relatório completo do ensaio consta no Anexo H, e os resultados obtidos estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 16 – Resultados obtidos no ensaio de penetração de água

Penetração de água sob pressão - mm			
Traço	CP	Individual	média
REF	1	22	23
	2	21	
	3	25	
PENETRON 0,8%	1	17	16
	2	16	
	3	15	
XYPEX 1%	1	15	18
	2	21	
	3	18	
SILIUM 1%	1	19	18
	2	19	
	3	15	

Fonte: Relatório de ensaio de penetração de água sob pressão dos traços de concreto desenvolvidos, por escritório especializado em Tecnologia do Concreto

### 5.2.3 Considerações e escolha do impermeabilizante

Com base nos resultados obtidos nos ensaios apresentados acima, assim como outras análises feitas pela empresa contratada e corpo de engenharia, escolheu-se como impermeabilizante a ser usado neste projeto, o Penetron.

Um dado importante considerado na escolha deste produto, uma vez que foi definido que a mistura do concreto com o impermeabilizante será feita na própria usina do concreto, foi a garantia de aplicação do mesmo, ou seja, o fornecedor garantiu que ao misturar o Penetron, uma fina camada de produto deve ficar evidente na superfície, na cor verde, que pode ser visualizada a olho nu no momento da concretagem, garantindo para a equipe do canteiro que a mistura em usina foi feita e permitindo verificar a homogeneidade da mesma.

### 5.2.4 Penetron

Conforme mencionado no item 5.2.3, o aditivo escolhido para atuar na impermeabilização do radier, foi o Aditivo autocicatrizante para impermeabilização e proteção do concreto Penetron Admix. O Penetron Admix é um aditivo usado para impermeabilização por cristalização integral, incorporado à mistura de concreto durante sua produção.

Composto de cimento Portland, substâncias químicas ativas e um marcador químico (que quando misturado com água, ganha coloração esverdeada para comprovar a mistura, conforme Figura 34), reage com a umidade do concreto recém-misturado e com os subprodutos

da hidratação do cimento, formando uma estrutura cristalina insolúvel nos poros e capilares do concreto. Dessa forma, o concreto torna-se permanentemente impermeável à penetração de água ou outros líquidos em qualquer direção. Além disso, o concreto é protegido contra a deterioração provocada por agentes agressivos do ambiente.

Figura 34 - Ativação do marcador químico do aditivo, sinalizando sua mistura no concreto



Fonte: Da autora (2024)

Neste empreendimento, por uma questão de dinâmica e segurança na efetivação da mistura, optou-se por fazê-la ainda na usina, antes do concreto sair para entrega na obra, utilizando assim o tempo do percurso para homogeneizar bem a massa.

Afim de evitar infiltração de água nas juntas de concretagem, utiliza-se o complemento do produto mencionado acima, composto do Primer para fixação do Penebar e da Fita hidroexpansiva para tratamento de junta de concretagem Penebar SW. A aplicação neste caso se inicia com a limpeza completa da área em que se quer instalar a fita, depois aplica-se com rolo ou pincel o Primer e por último, se instala a fita por cima do primer (Figura 35), que age dilatando quando em contato com a água, garantindo assim a estanqueidade na área das juntas.

Figura 35 - Aplicação do primer e instalação da fita hidroexpansiva para tratamento de junta de concretagem



Fonte: Da autora (2024)

### 5.2.5 Ensaio de temperatura do concreto

A hidratação do cimento é uma reação exotérmica, ou seja, libera calor, este calor quando excessivo pode causar dois problemas ao concreto.

O primeiro deles são fissuras devido ao gradiente térmico, que pode provocar tensões de tração causadas pela existência de restrições à movimentação do concreto que superam a sua resistência à tração. A probabilidade de ocorrência de fissuras de origem dessa natureza é elevada quando o gradiente entre a temperatura superficial do elemento estrutural e a temperatura ambiente é superior a 40°C.

O segundo problema é a etringita tardia, que se forma no concreto já endurecido e gera um efeito expansivo com conseqüente formação de fissuras, os estudos mais recentes indicam que esse problema pode, eventualmente, ocorrer caso a temperatura do concreto ultrapasse 70°C na fase inicial de hidratação do cimento e depende ainda da presença de água em contato com o concreto.

Por estes motivos, no dia 05 de junho de 2024 foi realizada a concretagem teste na obra, a partir da reprodução de um bloco de 1,5m<sup>3</sup>, sendo instalados dois sensores em alturas diferentes, conforme ilustra a Figura 36, a fim de monitorar a temperatura do concreto no bloco em questão para conhecimento do pico de calor. Além disso, foi realizado o controle do recebimento do concreto, onde se verificou a temperatura de chegada, abatimento pelo tronco de cone (*slump test*) e moldagem dos corpos de prova para ensaios nas idades de 7, 28 e 63 dias.

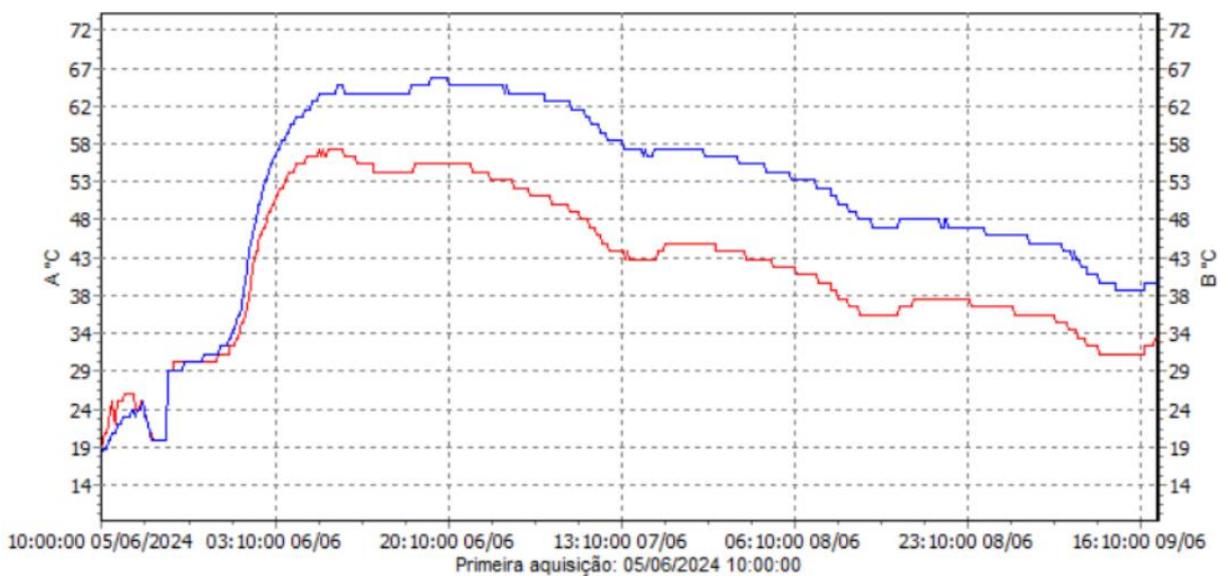
Figura 36 - Instalação dos sensores nas armaduras



Fonte: Relatório do monitoramento de temperatura do concreto, realizado pelo escritório contratado de Tecnologia do Concreto

Os valores de temperatura medidos por dois termopares posicionados no centro do bloco estão apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Evolução da temperatura do concreto



Fonte: Relatório do monitoramento de temperatura do concreto, realizado pelo escritório contratado de Tecnologia do Concreto

É possível observar no Gráfico 3 que o pico máximo de temperatura ficou próximo aos 65°C e ocorreu aproximadamente entre 24h e 36h após o início da concretagem, atendendo aos objetivos esperados e evitando os riscos das manifestações patológicas de origem térmica. Além disso, a temperatura de chegada do concreto em obra foi verificada com o auxílio de um termômetro espeto e registrou-se a temperatura de 27°C.

A partir dos dados obtidos neste modelo, é possível estimar o mesmo comportamento na estrutura, não apresentando risco de danos em função da temperatura. Recomenda-se que a temperatura no recebimento do concreto seja inferior a 25°C para assegurar o comportamento esperado.

## 5. Acabamento

a) Nivelamento e alisamento: Após a concretagem, a superfície do radier é nivelada e alisada para garantir um acabamento adequado.

## 6. Cura

a) Cura do concreto: O concreto deve ser mantido úmido por um período de tempo adequado (geralmente de 7 a 14 dias) para garantir uma cura adequada. Isso pode ser feito por meio de rega contínua, coberturas úmidas, ou aplicação de produtos de cura.

## 7. Desforma

a) Retirada das fôrmas: Após o período de cura inicial, as fôrmas são retiradas. Isso geralmente ocorre após cerca de 7 dias, mas pode variar dependendo do projeto e das condições climáticas.

## 8. Verificação Final

a) Inspeção: Uma inspeção final é realizada para verificar a integridade do radier e garantir que todas as especificações do projeto foram cumpridas.

## 6 ANÁLISE FINANCEIRA

De acordo com o material apresentado ao longo dos capítulos, foi possível perceber que os projetos passaram por uma série de modificações em decorrência de sua exequibilidade e, principalmente, dos custos financeiros para execução. A seguir serão apresentados os cenários de estudo usados para definição do tipo de fundação que foi adotada.

### 6.1 ORÇAMENTO INICIAL

Considerações sobre o orçamento inicial apresentado na Tabela 17:

- a) Ensaio de fundação: ensaios PCE, PDA e PIT que são os convencionais para as fundações executadas;
- b) Estaqueamento: 632 estacas hélice contínua e 302 estacas raiz. Executivamente se acreditava na possibilidade de 72% de estaca tipo hélice contínua e 28% em estaca raiz, porém por questões de segurança se manteve no orçamento inicial a proporção de 50% estacas raiz e 50% estacas hélice contínua;  
Peso total do aço considerado: 153.633kg;  
Equipamentos: mobilização no pico de 2 máquinas para estaca hélice contínua (produtividade de 10 estacas/máquina/dia) e 3 máquinas para estaca raiz (produtividade de 2 estacas/máquina/dia);  
Duração total: 5 meses;
- c) Drenagem: Bombas para drenagem superficial;
- d) Blocos de fundação: estimativa passada pelo projetista sendo 3.480m<sup>3</sup> de concreto e 231.000kg de aço;  
Equipe: previsão de 4 equipes trabalhando simultaneamente;  
Duração total: 6 meses;
- e) Laje de subpressão: estimativa do projetista com 25cm e 40cm de espessura (conforme setorização da Figura 37) resultando em 2.750m<sup>3</sup> de concreto e taxa de aço de 181,2kg/m<sup>3</sup> gerando peso aproximado de 498.300kg de aço.  
Equipe: previsão de 5 equipes trabalhando simultaneamente;  
Duração total: 9,4 meses;

Figura 37 - Espessura de execução da laje de subpressão de acordo com setorização prevista pelo projetista no orçamento inicial



Fonte: Detalhamento enviado pelo projetista das fundações na época

Tabela 17 - Custos do projeto definido no orçamento inicial

Elemento	Custo
Ensaio de fundação	R\$ 183.350,00
Estaqueamento	R\$ 8.835.785,08
Drenagem	R\$ 326.534,40
Blocos de fundação	R\$ 6.867.408,79
Laje de subpressão	R\$ 6.759.187,62
<b>Total</b>	<b>R\$ 22.972.265,89</b>

Fonte: Orçamento realizado com projetos e definições acima

## 6.2 PROJETO EXECUTIVO (JULHO/23)

Considerações sobre o orçamento do projeto executivo apresentado na Tabela 18:

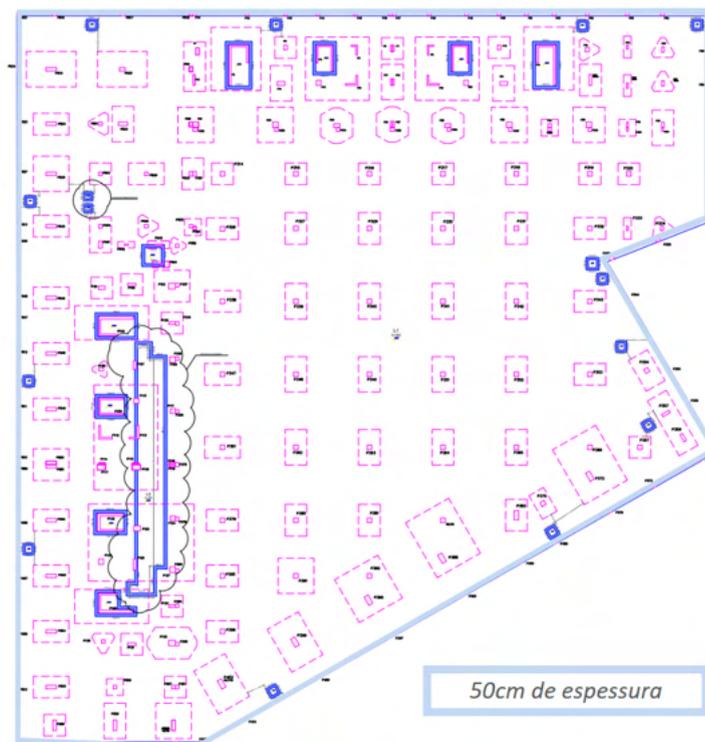
- Ensaio de fundação: ensaios PCE, PDA e PIT que são os convencionais para as fundações executadas;
- Estaqueamento: 686 estacas hélice contínua e 297 estacas raiz. Proporção exequível

---

Radier estaqueado: análise técnica, executiva e financeira para uma edificação mista: estudo de caso

- ajustada para 23% de estacas raíz e 77% de estacas hélice contínua;  
 Peso total do aço considerado: 216.880kg;  
 Equipamentos: mobilização no pico de 1 máquina para estaca hélice contínua (produtividade de 10 estacas/máquina/dia) e 4 máquinas para estaca raíz (produtividade de 2 estacas/máquina/dia);  
 Duração total: 5 meses;
- c) Drenagem: Rebaixamento de lençol freático com poços profundos;
- d) Blocos de fundação: estimativa passada pelo projetista sendo 7.070,3m<sup>3</sup> de concreto e 340.788kg de aço;  
 Blocos de aproximadamente 750m<sup>3</sup> próximos da parede diafragma;  
 Equipe: previsão de 4 equipes trabalhando simultaneamente;  
 Duração total: 10 a 12 meses;
- e) Laje de subpressão: 50cm de espessura (conforme Figura 38) resultando em 4.694m<sup>3</sup> de concreto e taxa de aço de 81,58kg/m<sup>3</sup> gerando peso aproximado de 382.975kg de aço.  
 Equipe: previsão de 5 equipes trabalhando simultaneamente;  
 Duração total: 11 meses;

Figura 38 - Espessura de execução da laje de subpressão de acordo com determinação do projetista no projeto executivo de Julho/23



Fonte: Detalhamento enviado pelo projetista das fundações na época

- f) Despesas indiretas consideradas: 4 a 6 meses de energia elétrica; água; equipe; acompanhamento da LI; consumo de EPI, escritório, copa e limpeza; internet; catraca; impressora; grua; alarme e vigilante noturno;

Tabela 18 - Custos definidos no projeto executivo de Julho/23

Elemento	Custo
Ensaio de fundação	R\$ 183.350,00
Estaqueamento	R\$ 9.596.409,60
Drenagem	R\$ 2.250.000,00
Blocos de fundação	R\$ 12.476.080,09
Laje de subpressão	R\$ 7.828.566,61
Despesas indiretas	R\$ 1.361.098,30
Total	R\$ 33.695.504,60

Fonte: Orçamento realizado com projetos e definições acima

### 6.3 ALTERAÇÃO DE PROJETO PARA RADIER (NOVEMBRO/23)

Considerações sobre o orçamento da alteração de projeto para radier, detalhado na Tabela 19:

- a) Ensaio de fundação: ensaios especiais PCE, placa e cone, exigidos para a elaboração do projeto de fundações;
- b) Estaqueamento: 588 estacas hélice contínua e 1,75 estacas raiz para cada hélice contínua que não pudesse ser executada, resultando em 412 estacas hélice contínua e 309 estacas raiz considerando a proporção prevista de 70% estaca hélice contínua e 30% estaca raiz;  
Equipamentos: mobilização no pico de 1 máquina para estaca hélice contínua (produtividade de 10 estacas/máquina/dia) e 4 máquinas para estaca raiz (produtividade de 2 estacas/máquina/dia);  
Duração total: 4 meses;
- c) Drenagem: Sistema de rebaixamento de lençol freático com poços superficiais
- d) Radier: estimativa passada pelo projetista sendo 4.470m<sup>3</sup> de concreto e 256.330kg de aço;  
Equipe: previsão de 4 equipes trabalhando simultaneamente;  
Produtividade estimada: Torres 40m<sup>3</sup>/dia - Lojas 80m<sup>3</sup>/dia  
Duração total: 5 meses;
- e) Laje de subpressão: 50cm de espessura resultando em 4.286m<sup>3</sup> de concreto e taxa de aço de 57kg/m<sup>3</sup> gerando peso aproximado de 245.783kg de aço.

Equipe: previsão de 4 equipes trabalhando simultaneamente;

Duração total: 9 meses;

- f) Despesas indiretas consideradas: 3 meses de energia elétrica; água; equipe; acompanhamento da LI; consumo de EPI, escritório, copa e limpeza; internet; catraca; impressora; grua; alarme e vigilante noturno;

Tabela 19 - Custos definidos no projeto alterado para radier em Novembro/23

Elemento	Custo
Ensaio de fundação	R\$ 430.000,00
Estaqueamento	R\$ 7.161.414,48
Drenagem	R\$ 893.350,00
Radier	R\$ 6.598.538,90
Laje de subpressão	R\$ 6.474.180,91
Despesas indiretas	R\$ 816.658,98
Total	R\$ 22.374.143,27

Fonte: Orçamento realizado com projetos e definições acima

#### 6.4 ORÇAMENTO REALIZADO

Considerações sobre o orçamento executado, apresentado na Tabela 20:

- a) Ensaio de fundação: ensaios PCE, PDA, placa, PIT e cone, exigidos para a elaboração do projeto de fundações;
- b) Estaqueamento: 58 estacas hélice contínua e 965 estacas raiz, resultando em proporção de 6% estaca hélice contínua e 94% estaca raiz;  
Equipamentos: mobilização no pico de 1 máquina para estaca hélice contínua (produtividade de 2 estacas/máquina/dia pela dificuldade de chegar na profundidade útil mínima de projeto) e 7 máquinas para estaca raiz (produtividade de 3 estacas/máquina/dia);  
Duração total: 6 meses;
- c) Drenagem: Sistema de rebaixamento de lençol freático com poços superficiais
- d) Radier: 5.481m<sup>3</sup> de concreto e 527.157kg de aço;  
Equipe: 4 equipes trabalhando simultaneamente;  
Produtividade estimada: Torres 40m<sup>3</sup>/dia - Lojas 80m<sup>3</sup>/dia  
Duração total: 5 meses;

- e) Laje de subpressão: 60cm de espessura resultando em 5.142m<sup>3</sup> de concreto e taxa de aço de 104kg/m<sup>3</sup> gerando peso de 534.163kg de aço.  
Equipe: previsão de 4 equipes trabalhando simultaneamente;  
Duração total: 9 meses;
- f) Aditivo Penetron: aplicado no concreto do radier e laje de subpressão, sendo 26.177,22kg de aditivo para o concreto, 1.825kg de aditivo para a interface com a parede diafragma, 2.280m de fita hidroexpansiva e 34,7l de primer;
- g) Despesas indiretas consideradas: 4 meses de energia elétrica; água; equipe; acompanhamento da LI; consumo de EPI, escritório, copa e limpeza; internet; catraca; impressora; grua; alarme e vigilante noturno;

Tabela 20 - Custos do projeto executado

Elemento	Custo
Ensaio de fundação	R\$ 612.034,59
Estaqueamento	R\$ 11.090.793,21
Drenagem	R\$ 893.350,00
Radier	R\$ 8.953.556,31
Laje de subpressão	R\$ 7.711.031,37
Aditivo Penetron	R\$ 908.041,09
Despesas indiretas	R\$ 1.088.879,00
Total	R\$ 31.257.685,60

Fonte: Controle de custos dos serviços realizados da obra

## 7 CONCLUSÃO

A execução da fundação deste empreendimento foi marcada por desafios significativos, principalmente devido à presença de água e complexidades executivas. A necessidade de adaptar o projeto inicial e optar por um radier estaqueado ressalta a importância da flexibilidade e expertise técnica na construção civil. A presença de um lençol freático elevado e condições geotécnicas desafiadoras demandaram uma mudança de estratégia, evidenciando a crucialidade de análises preliminares detalhadas e da capacidade de se adaptar a imprevistos.

A equipe de engenharia, composta por nove profissionais dedicados, incluindo quatro engenheiros civis, um mestre e dois contramestres de obras, foi essencial para superar esses desafios. A divisão da equipe em áreas de atuação, sendo equipe de canteiro (que fez o levantamento dos materiais necessários e controle de execução dos serviços) e equipe de custos e qualidade (que gerenciou a contratação dos materiais e serviços, controle de custos da obra, além do gerenciamento de toda documentação necessária), garantiu o controle em todas as etapas.

Em relação a escolha de fundação feita, a obra entende que o caminho adotado foi o melhor de acordo com o cenário apresentado em cada etapa de avanço, considerando não só as questões financeiras, mas também dificuldades executivas que acarretariam indiretamente em aumento de custos e prazo, mas para se ter certeza se esta de fato foi a melhor escolha, se faz necessária uma avaliação muito mais técnica, tanto no dimensionamento do projeto, quanto na parte executiva.

Apesar dos obstáculos, a obra progrediu de forma eficiente, com ações preventivas e corretivas para lidar com imprevistos. No momento, a etapa de fundação está em fase de conclusão, com as concretagens finais em andamento.

Este estudo de caso demonstra que mesmo em regiões onde o radier estaqueado é menos comum, sua aplicação pode ser viável e vantajosa, desde que haja planejamento cuidadoso, acompanhamento técnico especializado e gestão eficiente. A experiência reforça a importância da busca por soluções inovadoras e da adaptação às particularidades de cada obra, visando sempre a segurança, a qualidade e a economia na construção civil.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D5778:2020:** Standard Test Method for Determining Design Strength of Clayey Soil Using Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D5882:2016:** Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10787:2011:** Concreto endurecido — Determinação da penetração de água sob pressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13208:2007:** Estacas - Ensaio de carregamento dinâmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16903:2020:** Solo — Prova de carga estática em fundação profunda. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5629:2018:** Tirantes ancorados no terreno — Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739:2018:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6122:2022:** Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6484:2020:** Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6489:2019:** Solo - Prova de carga estática em fundação direta. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BACELAR, C. J. R. **Análises de recalque em radiers estaqueados.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=3957@1>. Acesso em: 11 maio 2024.

FALCONI, F.; CORRÊA, C. N.; ORLANDO, C.; SCHMIDT, C.; ANTUNES, W. R.; ALBUQUERQUE, P. J.; HACHICH, W.; NIYAMA, S. **Fundações:** teoria e prática. 3 ed. [s.l.]: Oficina de Textos, 2019.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia:** Conceitos e aplicações. 3a Edição Revisada e Ampliada. CPRM Serviço Geológico Nacional, 2008. p. 77 – 91.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Gráfico precipitação. **INMET**, Brasília, 2024. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

RADIER: O que é radier? Como calcular? Tipos de radier? **Estruturas e BIM**, [s.l.], 26 jan. 2021. Disponível em: <https://estruturasebim.com/radier-o-que-e-como-calcular-tipos>. Acesso em: 10 jun. 2024.

VELLOSO, D. de A. **Fundações**. v. 2. [s.l.]: Oficina de Textos, 2010.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações**. 2 ed. [s.l.]: Oficina de Textos, 2011.

## **ANEXO A – RELATÓRIO DE SONDAGEM GEOTÉCNICA (SPT)**

PORTO ALEGRE, 03 DE AGOSTO DE 2022.

À

Porto Alegre/RS

Ref.: OBRA SP22-017-R –

Ass.: Relatório de Sondagem

Prezados Senhores:

Conforme solicitação de V.S., estamos apresentando o relatório de sondagem geotécnica da obra em epígrafe, constante de **20 furos, FA, FB, FBa, FC, FD, FE, FF, FG, FGA, FH, FI, Fla, FJ, FK, FL, FLa, FM, FN, FO e FP**, totalizando **387,31** metros lineares perfurados, dos quais **298,58 m** foram de sondagem SPT em solo e **88,73 m** foram de sondagem rotativa/mista após impenetrável à sondagem SPT.

A extração das amostras SPT foi realizada com o amostrador padrão com as seguintes características: diâmetro interno 1.3/8", diâmetro externo 2".

As perfurações foram feitas por percussão simples com auxílio de circulação de água e protegidas por um revestimento de 2.1/2".

Durante o ensaio de penetração "standard" observou-se o número de golpes de um soquete de 65 kg, que cai por gravidade de uma altura de 75 cm em queda livre, para penetrar 45 cm do amostrador caracterizado acima, nas camadas de solo atravessadas.

Até a profundidade de 3,00 metros foram executados dois ensaios a cada metro perfurado, prosseguindo com um ensaio a cada metro perfurado até o final do furo.

Após o impenetrável à sondagem SPT, extraiu-se amostras por meio de sonda rotativa usando-se barrilete de diâmetro BX.

Em cada manobra, foi anotada a recuperação obtida, ou seja, a relação expressa em porcentagem entre o comprimento da amostra recuperada e a altura da manobra, assim como o número de fragmentos por metro.

Anexo enviamos planta de locação dos furos e os perfis individuais dos furos conforme a ABNT prescreve.

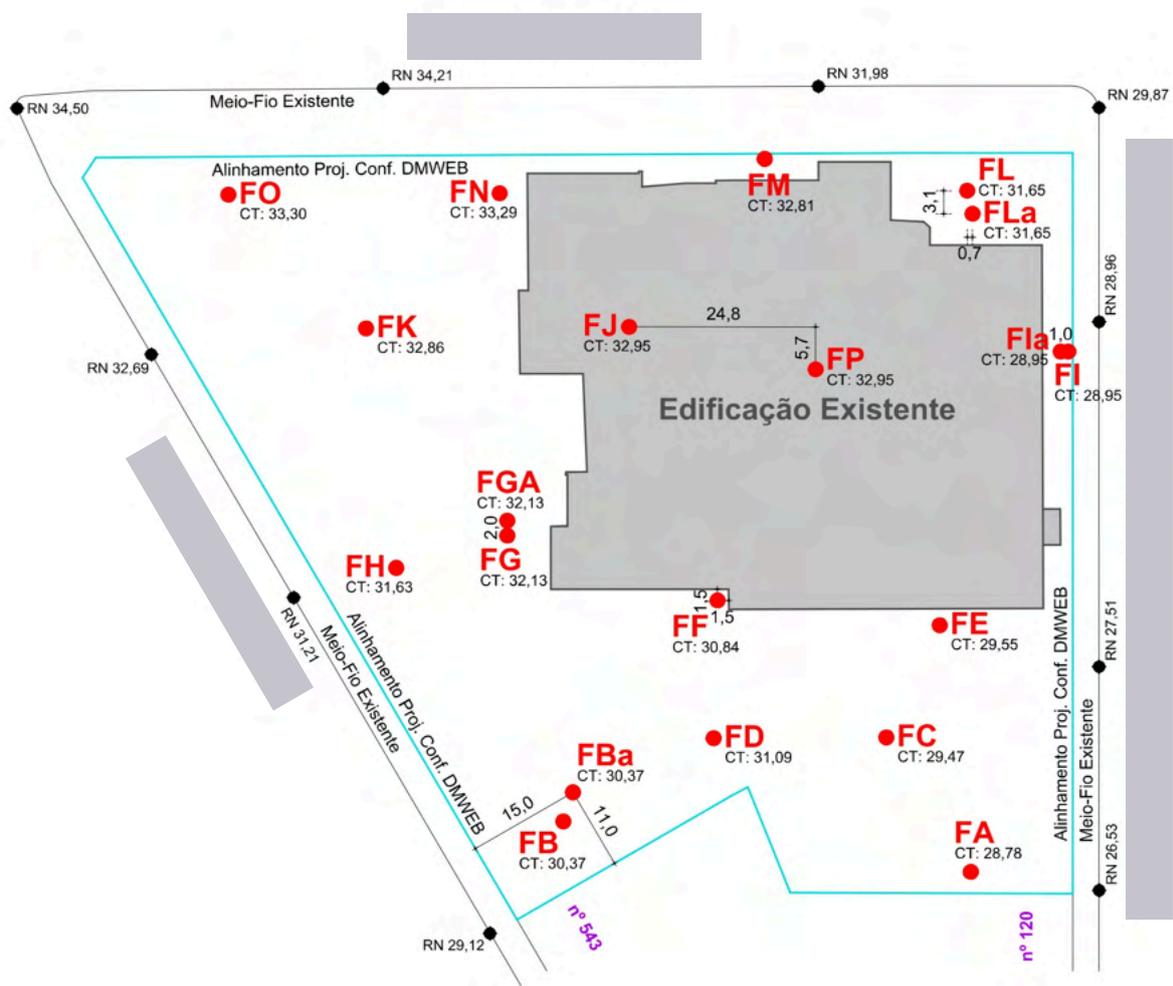
Prontos para qualquer maior esclarecimento, subscrevemo-nos.

Atenciosamente

# LOCAÇÃO DE FUROS



Polígono Local



**OBS:**

- O NÚMERO DE FUROS, BEM COMO A LOCALIZAÇÃO DOS MESMOS NA OBRA FORAM DEFINIDOS PELA CONSULTORIA GEOTÉCNICA;
- A LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM NA OBRA, BEM COMO A COTA DO TERRENO NO LOCAL DE CADA FURO FORAM FORNECIDAS PELA EMPRESA DE TOPOGRAFIA CONTRATADA PELO CLIENTE.

CLIENTE: \_\_\_\_\_

OBRA: \_\_\_\_\_

SP	PRANCHA	ESCALA	PERCUSSÃO	ROTATIVA/MISTA	DESENHO	RESP. TÉCNICOS:
22-017-R	01/35	S/ ESC	INÍCIO: 03/02/2022 FIM: 26/07/2022	INÍCIO: 18/04/2022 FIM: 29/07/2022	YMS	_____



SONDAGEM		COTA		PESO: 65 kg		REVESTIMENTO: Ø= 2.1/2" (63,5 mm)			
FI		28,95 m		ALTURA DE QUEDA: 75 cm		AMOSTRADOR ØINT.=1.3/8"= 34,9mm ØEXT.= 2" = 50,0mm			
NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR			PROFUNDIDADE (m)	AMOSTRAS	PROFUND. DA CAMADA (m)	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS		MÉTODO DE SONDAGEM	REVESTIMENTO (m)
Nº DE GOLPES		GRÁFICO							
*	**	5	15	25	35	45			
3/15	5						0,15	Aterro variado. (Escavação Manual)	
4	4						1,00	Silte argiloso, arenoso, com pedregulhos de aterro variado, cor marrom variada, consistência mole.	
5	4						1,50	Argila arenosa, cor marrom variada, consistência mole.	
3	3						2	Argila arenosa, cor cinza escura, consistência mole.	
4	4						2,60		
4	5						3		
4	5						4	Argila arenosa, cor cinza escura variada, consistência de mole a média.	
5	5						5		
5	6						6		
7	8						6,00	Silte arenoso, cor cinza escura variada, pouco compacto.	
29	34						7,00	Areia de granulação variada, argilosa, cor amarela variada, compacta.	
35	40						7,80		
57	31/15						8	Areia de granulação variada, siltosa, com pedregulhos, cor amarela variada, de compacta a muito compacta.	
43/08	--						9		
							10		
							10,76	LIMITE DE SONDAGEM IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO DE LAVAGEM "Para determinação do material impenetrável, somente com o uso de Sondagem Rotativa".	
							11		
							12		
							13		
							14		
							15		
							16		
							17		
							18		
		90	70	50	30	10	NÍVEL D'ÁGUA		1º - 0 cm
		80	60	40	20		INICIAL: 1,48 m (em 14/02/2022)		2º - 1 cm
		RECUPERAÇÃO (%)					APÓS 24 H: 1,20 m		3º - 0 cm
CLIENTE:									
OBRA:									
SP	PRANCHA	ESCALA	PERCUSSÃO	ROTATIVA/MISTA	DESENHO	RESP. TÉCNICOS:			
22-017-R	18/35	S/ ESC	INÍCIO: 14/02/2022 FIM: 14/02/2022	INÍCIO: FIM:	YMS				
*	1ª E 2ª PENETRAÇÃO			ROTATIVA: (N) fragmentos / m					
**	2ª E 3ª PENETRAÇÃO			(F) em fragmentos					

SONDAGEM		COTA		PESO: 65 kg		REVESTIMENTO: Ø= 2.1/2" (63,5 mm)			
FO		33,30 m		ALTURA DE QUEDA: 75 cm		AMOSTRADOR ØINT.=1.3/8"= 34,9mm ØEXT.= 2" = 50,0mm			
NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR				PROFUNDIDADE (m)	AMOSTRAS	PROFUND. DA CAMADA (m)	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	MÉTODO DE SONDAGEM	REVESTIMENTO (m)
Nº DE GOLPES		GRÁFICO							
*	**	5	15	25	35	40			
--	--								
9	10						1	Piso e aterro variado. (Escavação Manual)	
10	10						2	Silte arenoso, cor marrom escura, medianamente compacto.	
7	5						3	Silte arenoso, cor marrom variada, medianamente compacto.	
7	8						4	Silte arenoso, cor marrom escura, pouco compacto.	
6	5						5	Areia de granulometria fina, siltosa, cor marrom clara, pouco compacta.	
7	8						6		
11	13						7	Silte arenoso, cor cinza variada, de pouco compacto a medianamente compacto.	
11	11						8		
11	13						9	Silte argiloso, arenoso, cor cinza e marrom clara variadas, consistência rija.	
25	22						10		
19	18						11	Silte arenoso, micáceo, cor marrom, de medianamente compacto a compacto.	
17	17						12		
14	15						13	Silte arenoso, micáceo, cor cinza e marrom variadas, medianamente compacto.	
15	17						14		
18	21						15	Silte arenoso, micáceo, cor cinza, compacto.	
58/20	30/05						16		
38/10	--						17	Areia de granulação variada, siltosa, com pedregulhos, micácea, cor cinza variada, muito compacta.	
36/07	--						18		
		90	70	50	30	10			
		80	60	40	20				
		RECUPERAÇÃO (%)		NÍVEL D'ÁGUA		ENSAYO DE LAVAGEM POR TEMPO (3 ESTÁGIOS DE 10 MINUTOS)		1º - 1 cm	
		54%		INICIAL: Não tem até 3,00 m (em 07/02/2022)		PROFUNDIDADE DE INÍCIO: 15,73 m		2º - 1 cm	
		39%		APÓS 24 H: 3,00 m (em 02/05/2022)				3º - 1 cm	
		5%							
CLIENTE:									
OBRA:									
SP	PRANCHA	ESCALA	PERCUSSÃO	ROTATIVA/MISTA	DESENHO	RESP. TÉCNICOS:			
22-017-R	32/35	S/ ESC	INÍCIO: 07/02/2022 FIM: 07/02/2022	INÍCIO: 25/04/2022 FIM: 27/04/2022	YMS				
*	1ª E 2ª PENETRAÇÃO				ROTATIVA: (N) fragmentos / m				
**	2ª E 3ª PENETRAÇÃO				(F) em fragmentos				

SONDAGEM FO (contin.)		COTA 33,30 m		PESO: 65 kg		REVESTIMENTO: Ø= 2.1/2" (63,5 mm)	
				ALTURA DE QUEDA: 75 cm		AMOSTRADOR ØINT.=1.3/8"= 34,9mm ØEXT.= 2" = 50,0mm	
NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR		PROFUNDIDADE (m)		AMOSTRAS		CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	
Nº DE GOLPES		GRÁFICO					
*	**	5	15	25	35	45	
				5%	15		18,60
		57%		5			19
							20
				10%	7		20,15
							21
				7%	F		22
							22,00
							22,10
							23
							24
				55%	7		24,50
				28%	17		25
							26
		80%			2		27
							27,50
							28
							29
							30
							31
							32
							33
							34
							35
							36
		NÍVEL D'ÁGUA		INICIAL: Não tem até 3,00 m (em 07/02/2022)		ENSAIO DE LAVAGEM POR TEMPO (3 ESTÁGIOS DE 10 MINUTOS)	
		RECUPERAÇÃO (%)		APÓS 24 H: 3,00 m (em 02/05/2022)		1º - 1 cm	
						2º - 1 cm	
						3º - 1 cm	
CLIENTE:							
OBRA:							
SP	PRANCHA	ESCALA	PERCUSSÃO	ROTATIVA/MISTA	DESENHO	RESP. TÉCNICOS:	
22-017-R	33/35	S/ ESC	INÍCIO: 07/02/2022 FIM: 07/02/2022	INÍCIO: 25/04/2022 FIM: 27/04/2022	YMS		
*	1ª E 2ª PENETRAÇÃO			ROTATIVA: (N) fragmentos / m			
**	2ª E 3ª PENETRAÇÃO			(F) em fragmentos			

## **ANEXO B – MONITORAMENTO DAS LAMELAS**

# Planilha de verticalidade - monitoramento de lamelas

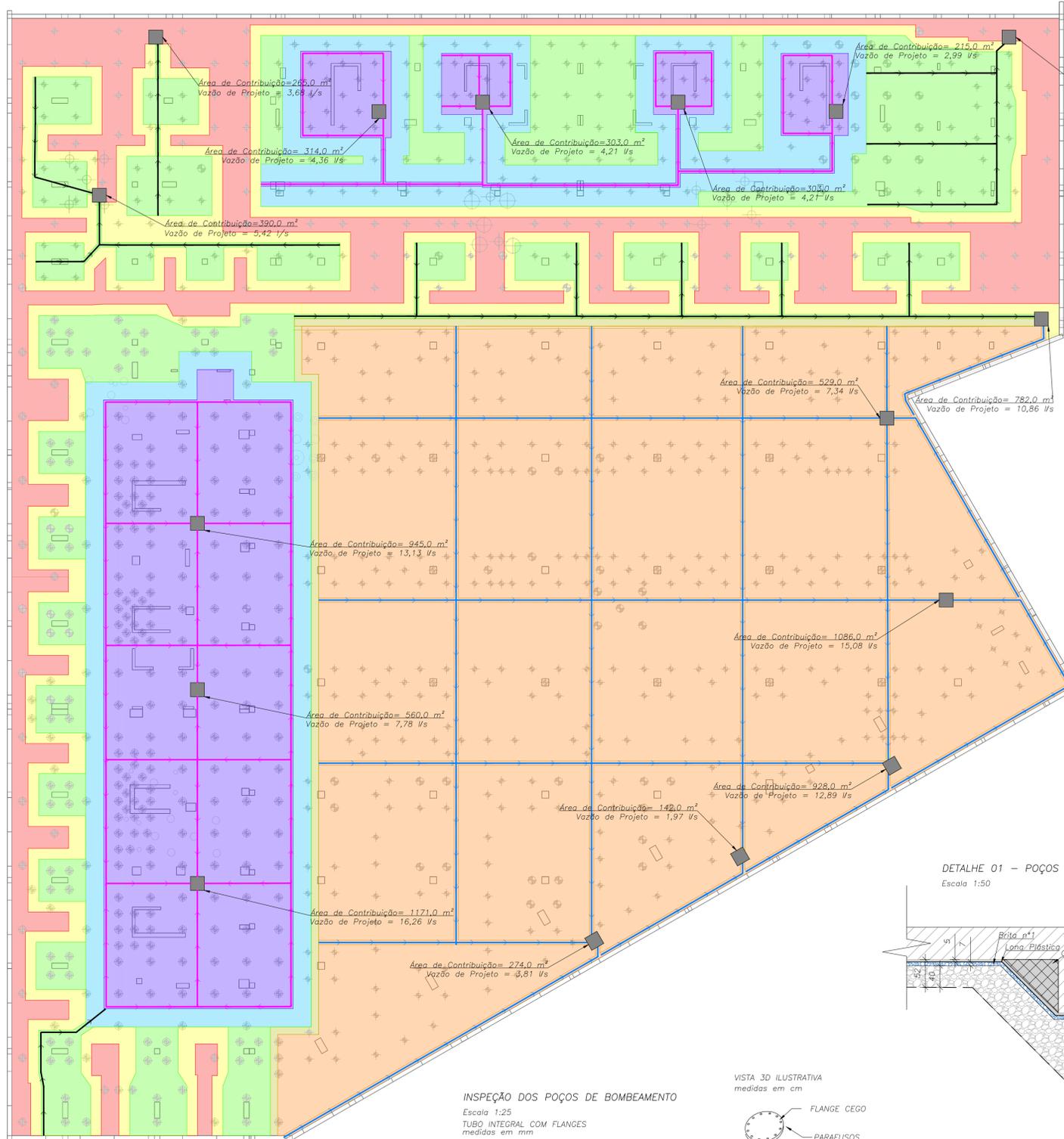
Resumo dos resultados das duas últimas leituras realizadas, enviados através de relatório pela empresa de topografia contratada.

Ponto visado	10ª Leitura	11ª Leitura	Variação	Vel. Desloc.	Variação (mm)	Vel. Desloc.
	(m)	(m)	(mm)	(no período)	Acumulada	(acumulado)
	20/04/2024	13/06/2024	54 dias	(µ/dia)	335 dias	(µ/dia)
PM01	498,172	498,166	6,00	111,11	27,00	80,60
PM02	498,183	498,176	7,00	129,63	33,00	98,51
PM03	498,178	498,171	7,00	129,63	34,00	101,49
PM04	498,146	498,139	7,00	129,63	34,00	101,49
PM05	498,203	498,196	7,00	129,63	38,00	113,43
PM06	498,170	498,165	5,00	92,59	40,00	119,40
PM07	498,118					
PM08	498,180	498,176	4,00	74,07	37,00	110,45
PM09	498,138	498,135	3,00	55,56	35,00	104,48
PM10	498,097	498,093	4,00	74,07	36,00	107,46
PM11	498,114	498,107	7,00	129,63	33,00	98,51
PM12	498,172	498,160	12,00	222,22	34,00	101,49
PM13	498,191	498,190	1,00	18,52	23,00	68,66
PM14	498,147	498,144	3,00	55,56	24,00	71,64
PM15	498,136	498,132	4,00	74,07	24,00	71,64
PM16	498,112	498,109	3,00	55,56	22,00	65,67
PM17	498,123	498,124	-1,00	-18,52	21,00	62,69
PM18	498,169					
PM19	498,156	498,156	0,00	0,00	21,00	62,69
PM20	498,158	498,155	3,00	55,56	20,00	59,70
PM21	498,143	498,141	2,00	37,04	5,00	14,93
PM22	498,107	498,107	0,00	0,00	18,00	53,73
PM23	498,121	498,121	0,00	0,00	17,00	50,75
PM24	498,134	498,134	0,00	0,00	19,00	56,72
PM25	498,120	498,120	0,00	0,00	14,00	41,79
PM26	498,166	498,166	0,00	0,00	12,00	35,82
PM27						
PM28						
PM29						
PM30						
PM31	198,244	198,244	0,00	0,00	0,00	0,00
PM32	198,200	198,200	0,00	0,00	0,00	0,00
PM33	198,167	198,167	0,00	0,00	0,00	0,00
PM34	198,204	198,204	0,00	0,00	0,00	0,00
PM35	198,221	198,221	0,00	0,00	0,00	0,00
PM36	198,189	198,189	0,00	0,00	0,00	0,00
PM37	198,238	198,238	0,00	0,00	0,00	0,00
PM38	198,170	198,170	0,00	0,00	0,00	0,00
PM39	198,210	198,210	0,00	0,00	0,00	0,00
PM40	198,207	198,207	0,00	0,00	0,00	0,00
PM41	198,218	198,218	0,00	0,00	0,00	0,00
PM42	198,221	198,221	0,00	0,00	0,00	0,00
PM43	468,406	468,406	0,00	0,00	7,00	20,90
PM44	467,515	467,515	0,00	0,00	3,00	8,96
PM45	466,566	466,566	0,00	0,00	5,00	14,93
PM46	465,771	465,771	0,00	0,00	4,00	11,94
PM47	464,787	464,787	0,00	0,00	4,00	11,94
PM48	463,855	463,855	0,00	0,00	6,00	17,91
PM49	184,177	184,176	1,00	18,52	5,00	14,93
PM50	185,367	185,368	-1,00	-18,52	4,00	11,94
PM51	186,415	186,415	0,00	0,00	7,00	20,90
PM52	187,797	187,798	-1,00	-18,52	7,00	20,90
PM53	189,013	189,013	0,00	0,00	6,00	17,91
PM54	190,583	190,584	-1,00	-18,52	6,00	17,91
PM55	191,574	191,577	-3,00	-55,56	9,00	26,87
PM56	192,923	192,926	-3,00	-55,56	8,00	23,88
PM57	194,580	194,583	-3,00	-55,56	12,00	35,82
PM58						
PM59						
PM60						
PM61	434,945					
PM62	433,776					
PM63	431,966					
PM64	430,719	430,719	0,00	0,00	0,00	0,00

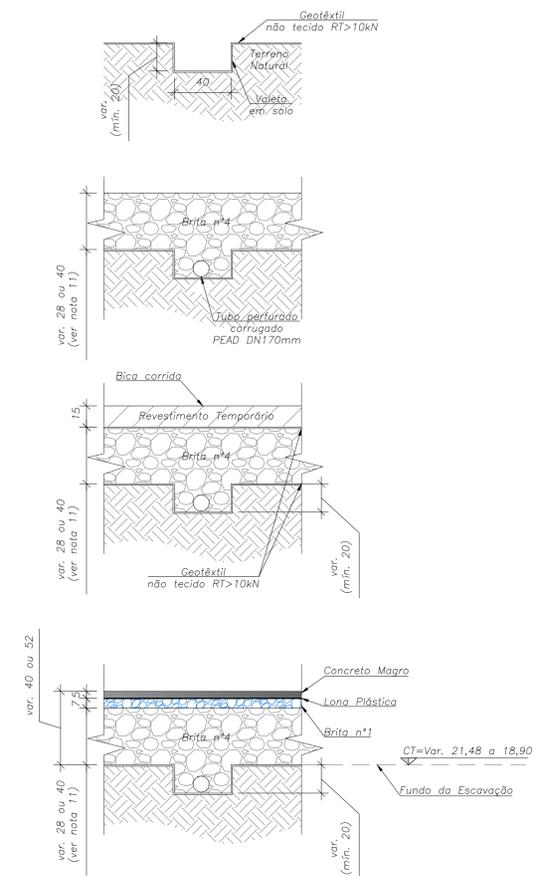
Ponto visado	10ª Leitura	11ª Leitura	Variação	Vel. Desloc.	Variação (mm)	Vel. Desloc.
	(m)	(m)	(mm)	(no período)	Acumulada	(acumulado)
	20/04/2024	13/06/2024	54 dias	(µ/dia)	335 dias	(µ/dia)
PM65	429,160	429,160	0,00	0,00	0,00	0,00
PM66	427,856	427,856	0,00	0,00	2,00	5,97
PM67	425,518	425,518	0,00	0,00	0,00	0,00
PM68	424,189	424,189	0,00	0,00	0,00	0,00
PM69	422,027	422,027	0,00	0,00	0,00	0,00
PM70	420,164	420,164	0,00	0,00	0,00	0,00
PM71	418,654	418,654	0,00	0,00	0,00	0,00
PM72	417,402	417,400	-2,00	-37,04	0,00	0,00
PM73	415,316	415,316	0,00	0,00	2,00	5,97
PM74	413,959	413,956	-3,00	-55,56	0,00	0,00
PM75	412,785	412,785	0,00	0,00	2,00	5,97
PM76	411,116	411,104	-12,00	-222,22	4,00	11,94
PM77	409,415	409,406	-9,00	-166,67	2,00	5,97
PM78	407,599	407,584	-15,00	-277,78	8,00	23,88
PM79	406,299	406,291	-8,00	-148,15	13,00	38,81
PM80	404,626	404,637	11,00	203,70	39,00	116,42
PM81	403,016	403,016	0,00	0,00	27,00	80,60
PM82	401,296	401,286	-10,00	-185,19	16,00	47,76
PM83	399,855					
PM84						
PM85	396,830					
PM86	394,978	394,974	-4,00	-74,07	15,00	44,78
PM87	0,000					
PM88	393,742	393,740	-2,00	-37,04	15,00	44,78
PM89	393,715	393,713	-2,00	-37,04	14,00	41,79
PM90	393,733	393,731	-2,00	-37,04	11,00	32,84
PM91	393,700	393,694	-6,00	-111,11	4,00	11,94
PM92	393,710	393,710	0,00	0,00	11,00	32,84
PM93	393,749	393,739	-10,00	-185,19	2,00	5,97
PM94	393,689	393,689	0,00	0,00	7,00	20,90
PM95	393,691	393,691	0,00	0,00	0,00	0,00
PM96	100,203	100,203	0,00	0,00	0,00	0,00
PM97	100,243	100,246	3,00	55,56	5,00	14,93
PM98	100,218	100,221	3,00	55,56	5,00	14,93
PM99	100,218	100,220	2,00	37,04	8,00	23,88
PM100	100,270	100,271	1,00	18,52	13,00	38,81
PM101	100,216	100,217	1,00	18,52	14,00	41,79
PM102	100,240	100,239	-1,00	-18,52	15,00	44,78
PM103	100,249	100,248	-1,00	-18,52	15,00	44,78
PM104	100,202	100,200	-2,00	-37,04	16,00	47,76
PM105	100,222	100,219	-3,00	-55,56	16,00	47,76
PM106	100,219	100,216	-3,00	-55,56	16,00	47,76
PM107	100,257	100,252	-5,00	-92,59	15,00	44,78
PM108	100,260	100,253	-7,00	-129,63	11,00	32,84
PM109	100,263	100,254	-9,00	-166,67	13,00	38,81
PM110	100,214	100,207	-7,00	-129,63	17,00	50,75
PM111	100,223	100,214	-9,00	-166,67	15,00	44,78
PM112	100,215	100,205	-10,00	-185,19	13,00	38,81
PM113	100,189	100,180	-9,00	-166,67	15,00	44,78
PM114	100,184	100,173	-11,00	-203,70	13,00	38,81
PM115	100,187	100,180	-7,00	-129,63	18,00	53,73
PM116	100,215	100,210	-5,00	-92,59	16,00	47,76
PM117	100,185	100,194	9,00	166,67	22,00	65,67
PM118	100,183	100,190	7,00	129,63	24,00	71,64
PM119	100,211	100,211	0,00	0,00	18,00	53,73
PM120	100,195	100,202	7,00	129,63	24,00	71,64
PM121	100,184	100,192	8,00	148,15	26,00	77,61
PM122	100,223	100,231	8,00	148,15	28,00	83,58
PM123	100,196	100,203	7,00	129,63	28,00	83,58
PM124	100,214	100,219	5,00	92,59	26,00	77,61
PM125	100,239	100,240	1,00	18,52	25,00	74,63
PM126	100,242	100,243	1,00	18,52	23,00	68,66
PM127	100,215	100,214	-1,00	-18,52	19,00	56,72
PM128	100,189	100,186	-3,00	-55,56	8,00	307,69

CONVENÇÕES: \*Variação (deslocamento) = negativo (-) para fora da obra e positivo (+) para dentro da obra.

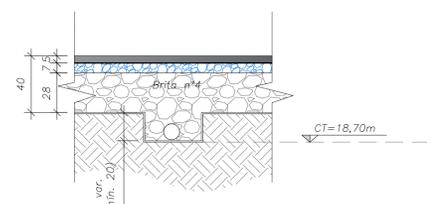
**ANEXO C – PROJETO DE DRENAGEM**



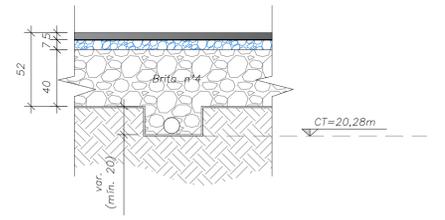
Detalhe das Valetas de Drenagem  
Escala 1:25  
Dimensões em cm



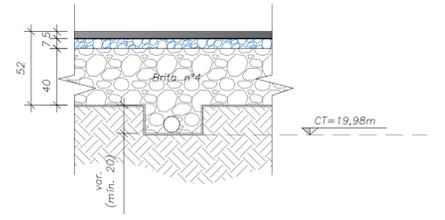
Detalhe Dreno Tipo II  
Escala 1:25  
Dimensões em cm



Detalhe Dreno Tipo I  
Escala 1:25  
Dimensões em cm



Detalhe Dreno Tipo III  
Escala 1:25  
Dimensões em cm

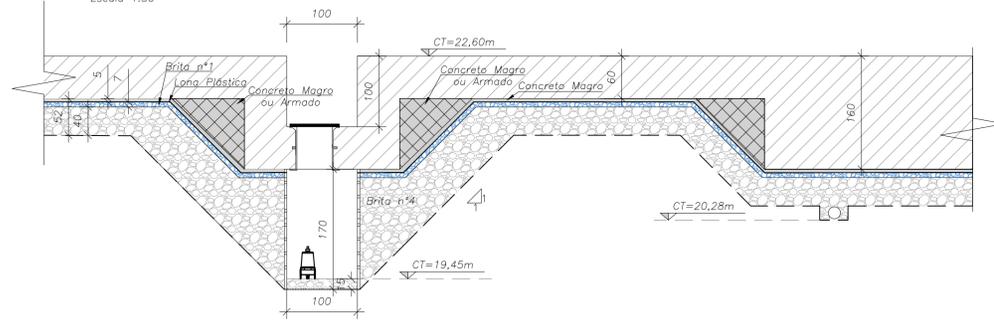


Notas Gerais:  
- Quando não indicado, cotas e medidas em centímetros;  
- Profundidade mínima das valetas de 20cm inicial;  
- Inclinação mínima das valetas de 1,00%;

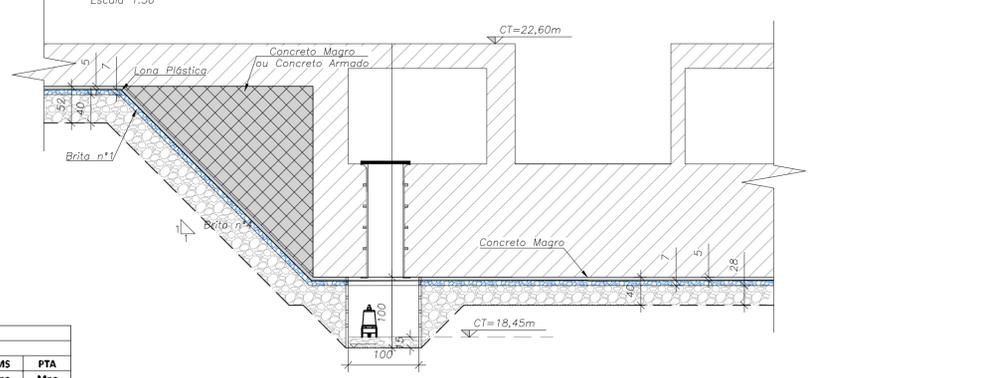
Convenções:  
- Dreno Tipo I - CT inicial = 20,28m  
- Dreno Tipo II - CT inicial = 18,70m  
- Dreno Tipo III - CT inicial = 19,98m  
- Fundo da escavação - CT = 21,48  
- Fundo da escavação - CT = 21,48 a 20,18  
- Fundo da escavação - CT = 21,18  
- Fundo da escavação - CT = var. 21,48 a 20,48  
- Fundo da escavação - CT = 20,48  
- Fundo da escavação - CT = Var. 20,48 a 18,90  
- Fundo da escavação - CT = 18,90  
- Poço de Bombeamento (Ponto de Coleta)

- Notas:
- Quando não indicadas, cotas e medidas em metros;
  - Os tubos drens deverão ser do tipo perfurado e corrugado e atender a especificação DNIT 093/2016-EM;
  - A implantação dos drens só poderá ser realizada após a impermeabilização, a qual, deverá ser realizada de acordo com projeto específico;
  - Para a conexão dos tubos secundários deverão ser utilizadas peças de conexão do tipo "Y" e que atendam os mesmos requisitos mínimos do tubo;
  - As coordenadas indicadas são do início e fim de cada dreno. Para o contorno das fundações e altura total das paredes, seguir o projeto arquitetônico;
  - O material filtrante para envolvimento do tubo deverá consistir de partículas limpas, resistentes e duráveis de brita n°2. O material deverá ser isento de matéria orgânica, torrões de argila ou outros materiais deletérios;
  - Os materiais naturais utilizados para execução de camada filtrante (adjacente as paredes ou fundações) poderão ser substituídos por manta sintética do tipo geocomposto Macdrain ou outro cuja especificação será a recomendada pelo fabricante;
  - O reaterro deverá ser controlado devendo-se executá-lo na umidade ótima 2% garantindo um Grau de Compactação >=95%PN. Em eventual impossibilidade de se executar os aterros e reaterros de forma controlada, deve-se adicionar ao material de reaterro cimento na dosagem 80kg/m<sup>3</sup>;
  - O reaterro na área indicada deverá ser feito com brita n°2 para garantir a passagem da água pluvial entre platôs.
  - Devido a escavação das platôs ocorrer em etapas distintas, deverá ser deixada uma espera para o dreno.
  - As camadas de brita n°4 tem sua espessura de 28 centímetros quando a cota do fundo do rebaixo da laje for superior a 1,60m. Quando for 1,60 ou superior, a camada será de 40 centímetros, como indicado nos detalhes 1 e 2 - poços de bombeamento da laje de fundo.
  - NORMATIVAS DE REFERÊNCIA:  
NBR 9061 - Segurança de Escavações a Céu Aberto  
NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho  
NBR 11682 - Estabilidade de encostas  
NBR 8044 - Projeto geotécnico

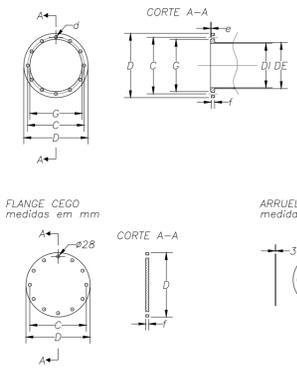
DETALHE 01 - POÇOS DE BOMBEAMENTO DA LAJE DE FUNDO  
Escala 1:50



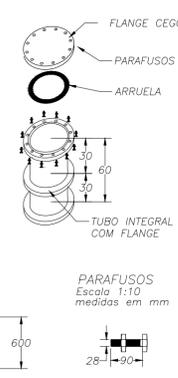
DETALHE 02 - POÇOS DE BOMBEAMENTO DA LAJE DE FUNDO  
Escala 1:50



INSPEÇÃO DOS POÇOS DE BOMBEAMENTO  
Escala 1:25  
TUBO INTEGRAL COM FLANGES  
medidas em mm



VISTA 3D ILUSTRATIVA  
medidas em cm



DN	DI	DE	D	C	d	QUANT.	TABELA FLANGE PN 10		RESSALTO				
							DIMENS. NOMINA	f	e	PSA	PMS	PTA	
500	500	532	670	620	28	20	M24	26,5	582	4	1	1,2	1,7

REV.	DESCRIÇÃO	DATA
4	ALTERAÇÃO DO RADIER	27/03/2024
3	VAZÃO DE PROJETO	15/03/2024
2	ALTERAÇÃO CONFORME ESTRUTURAL	02/03/2024
1	ALTERAÇÃO CONFORME ESTRUTURAL	20/07/2023
0	EMISSÃO INICIAL	12/04/2023

Obra: **EDIFÍCIO RESIDENCIAL E COMERCIAL**

Responsável pelo projeto: \_\_\_\_\_

Proprietário: \_\_\_\_\_

Disciplina de projeto: **PROJETO DE DRENAGEM PROFUNDA** Unidade de desenho: m

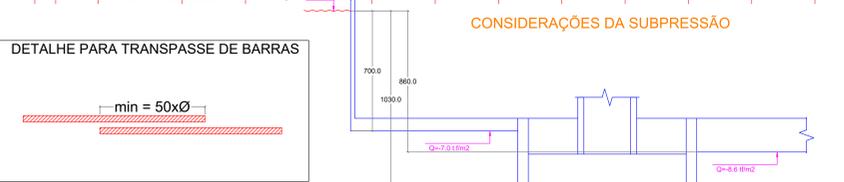
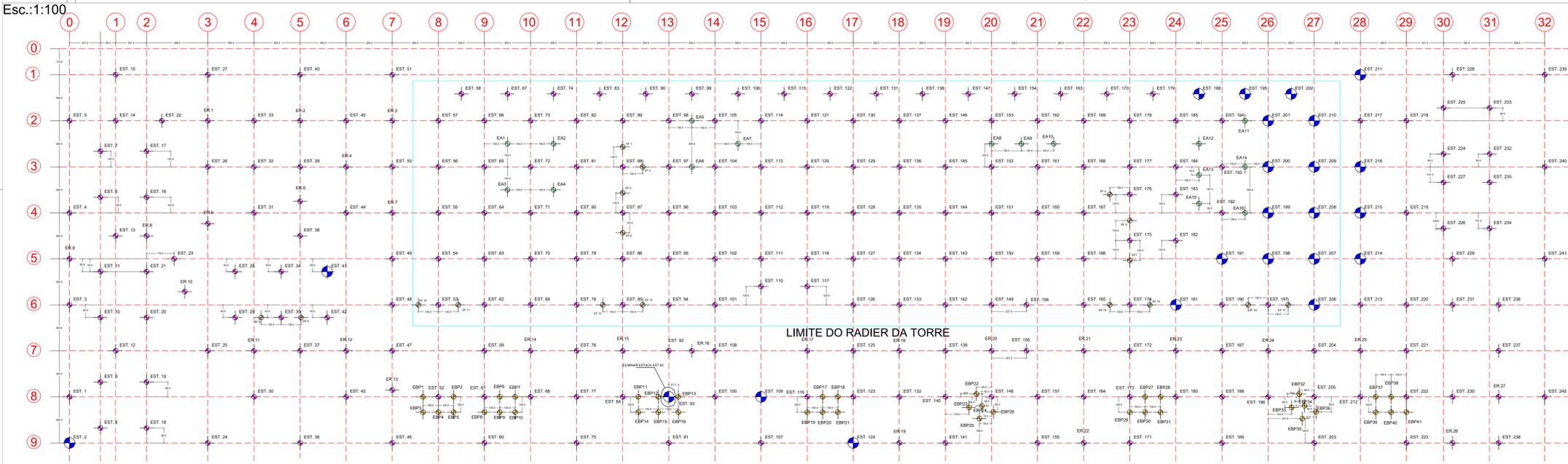
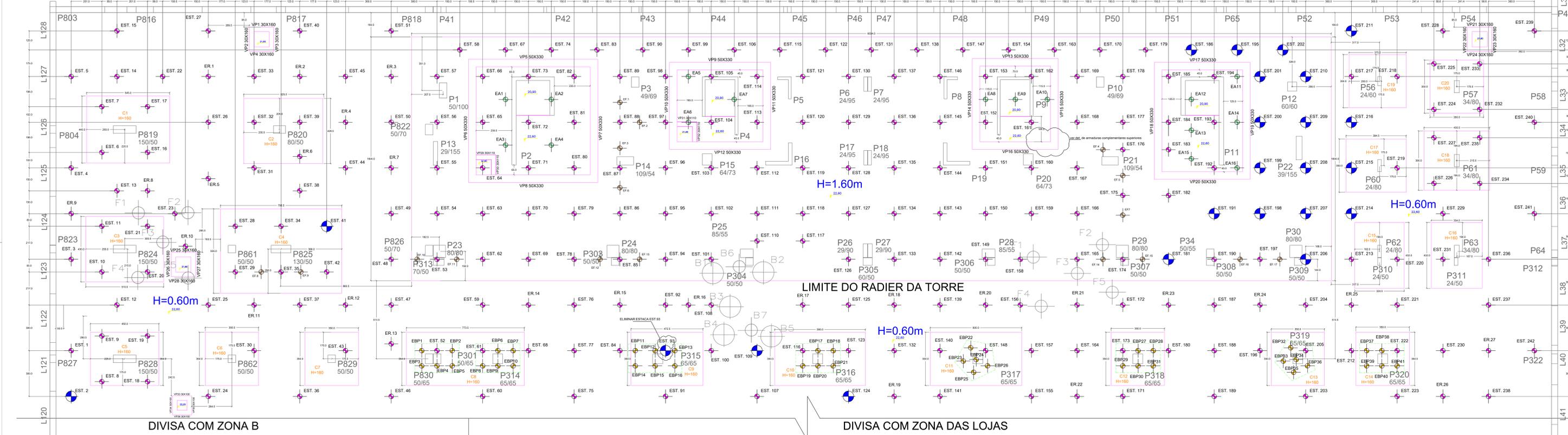
Data: **27/03/2024**

Fase de Projeto: **PROJETO EXECUTIVO** Escalas: **INDICADA**

Descrição: **DRENAGEM PROFUNDA PLANTA BAIXA DRENAGEM E DETALHES** Folha: **01** Versão: **04**

## **ANEXO D – PROJETOS DAS ESTACAS E DETALHAMENTO DO RADIER**

**LOCAÇÃO DE ESTACAS - SETOR A**  
Esc.:1:75



**Especificações para estacas raiz:**

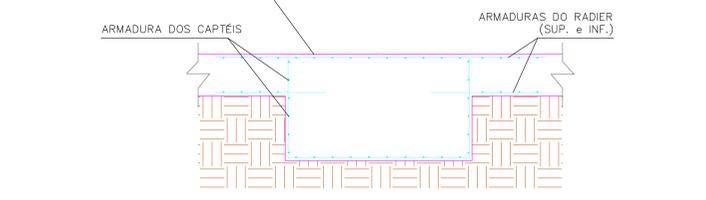
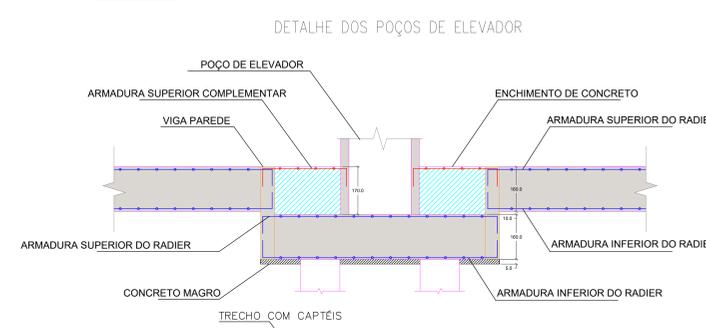
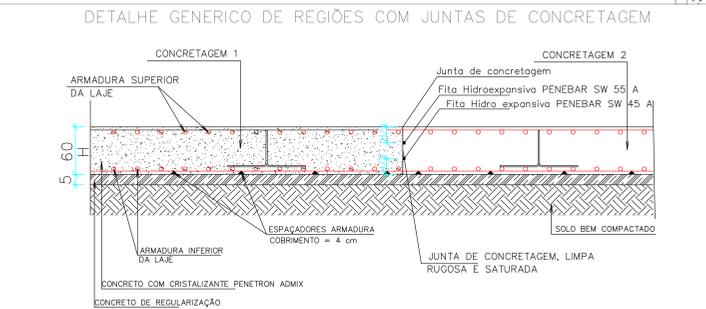
Fundação em estacas raiz

- Argamassa das estacas:
- Classe C20 de acordo com NBR 8953 (fck=20MPa).
- Consumo mínimo de cimento = 600kg/m³
- Fator A/C entre 0,50 e 0,60.
- Agregado Grádo: Areia.
- Cobertura Nominal da Armadura: 4,5cm

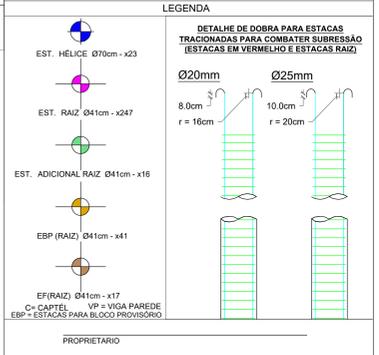
**LIGAÇÃO COM AS LAMELAS**

- Os vergalhões devem entrar pelo menos 25 cm nas lamelas.
- Armadura longitudinal e transversal deve ser colada com resina Epoxi nos furos.

Os furos devem ser totalmente preenchidos com resina epoxi



- REFERÊNCIAS**
- Normas Brasileiras
    - NBR 5738/2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
    - NBR 5739/2018 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
    - NBR 6118/2023 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.
    - NBR 6122/2010 - Projeto de Execução de Fundações - Procedimento.
    - NBR 6454/2001 - Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio.
    - NBR 7180/2016 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação.
    - NBR 8953/2015 - Concreto para fins Estruturais - Classificação por grupos de resistência.
    - NBR 12655/2015 - Concreto de Cimento Portland - Preparo, Controle e Recebimento - Procedimento.
- NOTAS**
- Fundação em Estacas Hélice Contínua.
  - Concreto - Estacas Hélice Contínua:
    - Classe C30 de acordo com NBR 8953 (fck=30MPa).
    - Consumo mínimo de cimento = 400kg/m³
    - Módulo de elasticidade = 27.6GPa.
    - Fator A/C = 0,60.
    - Classe S220 com abatimento de 220mm > 260mm.
    - Teor de Exsudação inferior a 4%.
    - Agregado Grádo: Brita 0 (<9,5mm).
  - Cobertura Nominal da Armadura: 5cm
  - A profundidade das estacas foi calculada com base nas sondagens, caso haja alteração ou escavação, deve sofrer alterações.
  - A cota de arrasamento das estacas deve obedecer a planta de forma do projeto estrutural, com atenção para diferenças de cota devido à poços de elevador, reservatórios, etc.
  - Para a profundidade da hélice contínua, será exigido mínimo de 8m de profundidade. Caso a estaca não atinja a profundidade desejada, a mesma não deve ser concretada e um estaco raiz deve ser feito no local.
  - Todos as estacas raiz localizadas no projeto são estacas raiz de subpressão. As estacas raiz não consideradas de subpressão serão aquelas que substituídas as estacas hélices que não atingiram a profundidade de cálculo.
  - O comprimento da estaca raiz será de 12m com pelo menos 4m de embutimento no radier. Com exceção do estaco EST.38, esta deve ter 14m de profundidade com pelo menos 6m de embutimento em radier.
  - Para casos onde a raiz começa em um nível próximo a superfície, o comprimento mínimo aceitável é de 10m de profundidade com pelo menos 6m empuitado em raiz.
  - A armadura da estaca hélice será 10Ø16mm C=600 est. Ø6,3mm c/15 ou 7Ø20mm est. Ø6,3mm c/15.
  - A armadura da estaca raiz será 7Ø25mm est. Ø6,3mm c/26 ou 13Ø20mm est. 6,3mm c/26.
  - Os resultados das ensaios de compressão dos corpos-de-prova do concreto das estacas deverão ser entregues ao projetista de fundações.
  - De acordo com o item 9.2.2.1 da ABNT NBR 6122:2010 é obrigatória, sempre no início da obra, a execução de provas de carga estática em obras com fundações em estacas tipo hélice contínua que possuam número de estacas superior a 100, deve ser executado um número de provas de carga igual a no mínimo 1% da quantidade total de estacas, arredondando sempre para cima.
  - O agregado grádo utilizado não deve ser potencialmente reativo à reação álcali-agregado. No caso de não haver agregado adequado na região, deve-se apresentar ensaios comprobatórios da mitigação de acordo com NBR 15577-5:2018.
  - Vida útil de projeto - VUP 50 anos, conforme NBR 15575:2013



**PROPRIETÁRIO**

**AUTOR DO PROJETO**

REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	VISTO
12	ACRESCIMO DE ESTACAS. ALT. DET. ACRESC. DET	19/04/2024	RENATO
11	ALTERAÇÃO DE CAIXAS E ACRESCIMO DE ESTACAS	01/03/2024	RENATO
10	ALTERAÇÃO DE POSIÇÃO DAS EST.23, EST.156 E EST.158	09/02/2024	RENATO
09	ATUALIZAÇÃO DE REBAIXOS, ESTACAS E CAPTÊIS	07/02/2024	RENATO
08	RETROFIT DA FUNDAÇÃO	22/01/2024	RENATO
07	ATUALIZAÇÃO ESTACAS NO DESENHO DE COTAS	11/01/2024	RENATO
06	ATUALIZAÇÃO DE ESTACAS PARA RAIZ	08/01/2024	RENATO
05	ATUALIZAÇÃO DE ESTACAS EXECUTADAS	05/01/2024	RENATO

**CLIENTE**

**ORÇAMENTO**

**LOCAL**

**PORTO ALEGRE-RS**

**CÁLCULO**

**7609/D-DF**

**TÍTULO**

**LOCAÇÃO DE ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA - ZONA A**

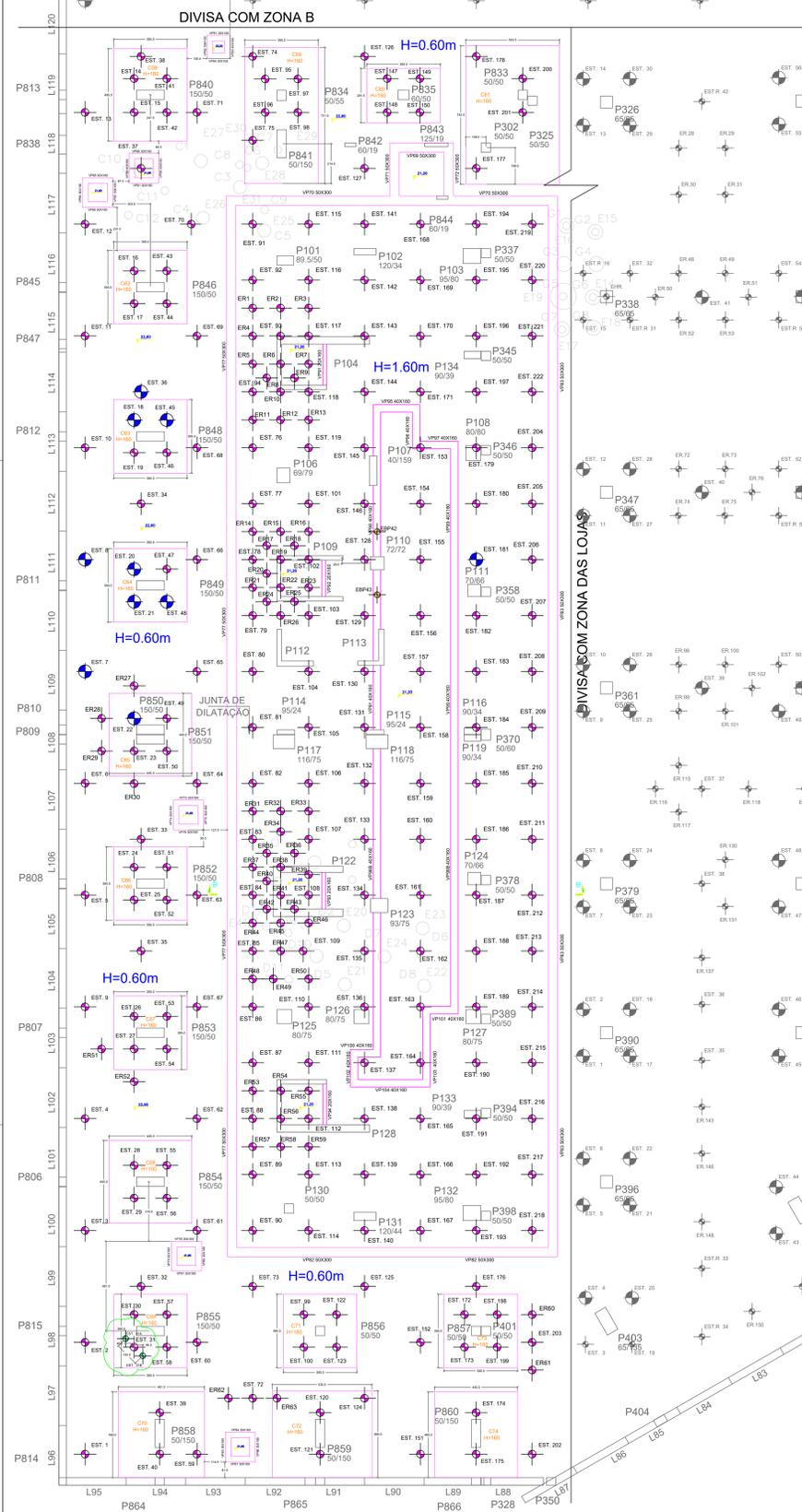
**DATA** 07/02/2024 **ESCALA** INDICADA **FOLHA** 001 **PROJETO** REF 85-23

**DESENHO**

**PLOTAR EM A0 841X1158**

# LOCAÇÃO DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA E RAIZ - SETOR B

## Esc.: 1/120



**LIGAÇÃO COM AS LAMELAS**

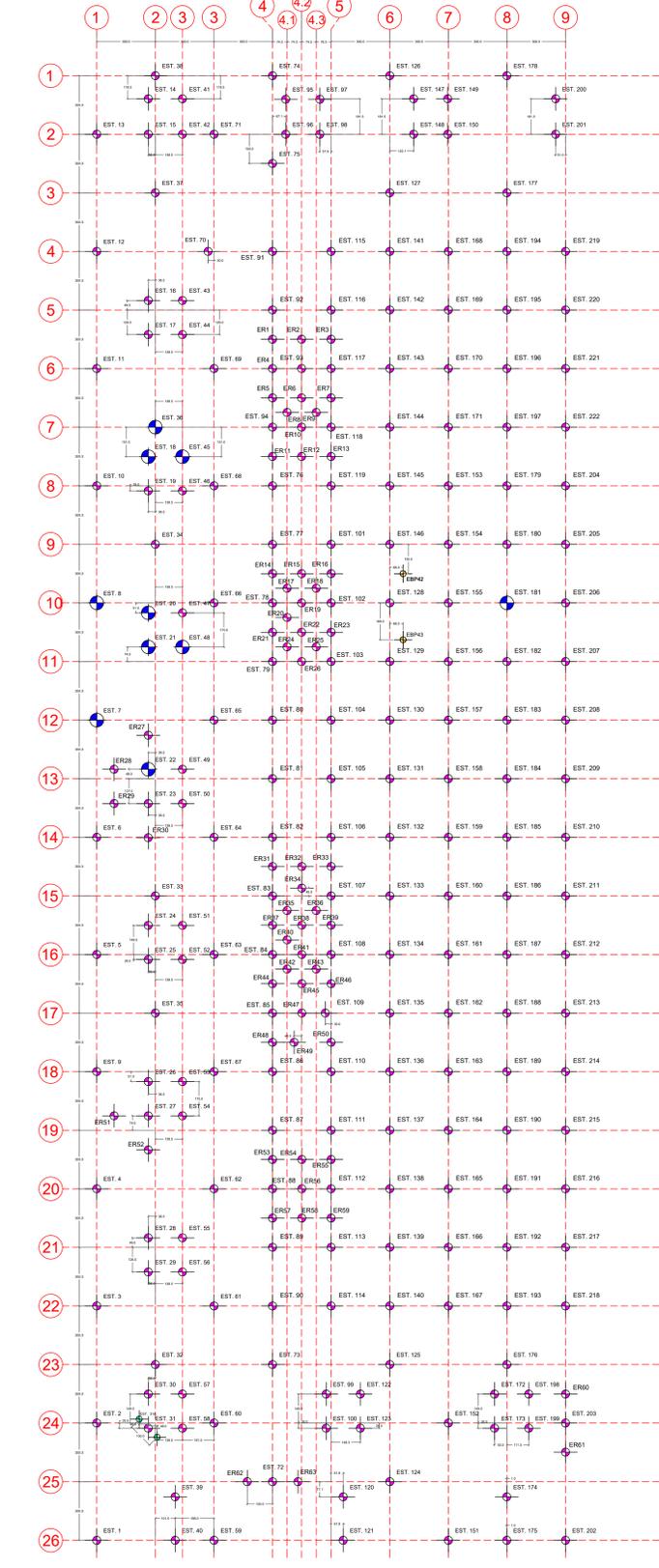
- Os vergalhões devem entrar pelo menos 25 cm nas lamelas.
- Armadura longitudinal e transversal deve ser colada com resina Epoxi nos furos.

Os furos devem ser totalmente preenchidos com resina epoxi



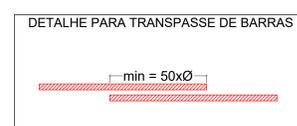
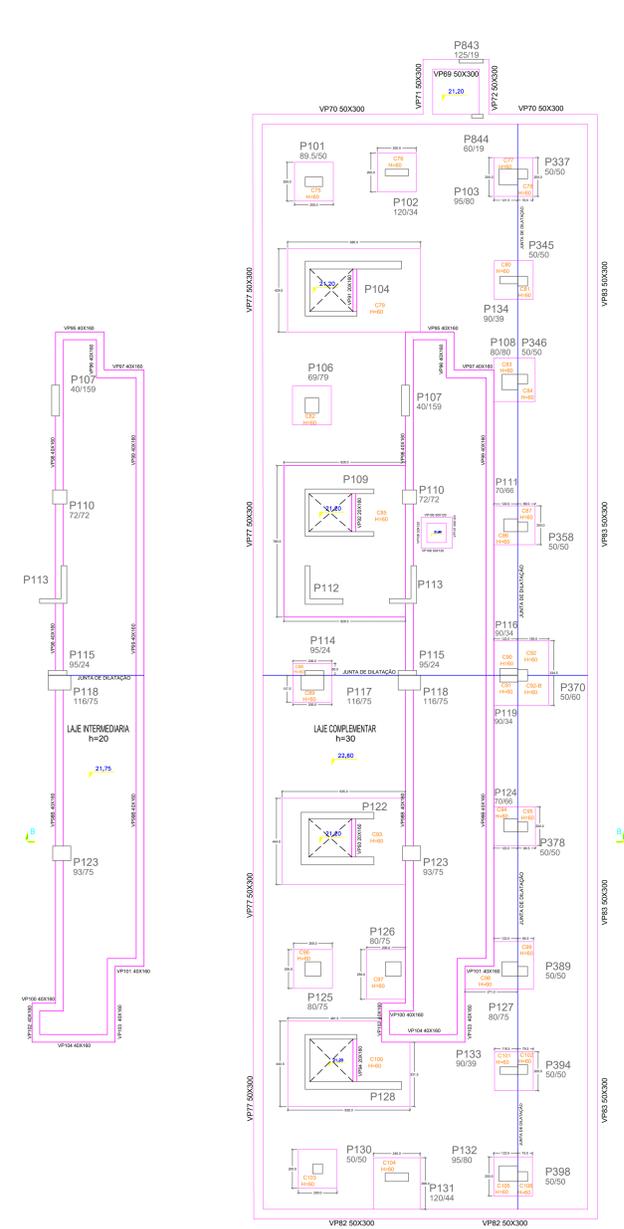
# COTAS PARA ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA E RAIZ - SETOR B

## Esc.: 1/120



# LAJE INTERMEDIARIA E LAJE COMPLEMENTAR DOS REBAIXOS - SETOR B

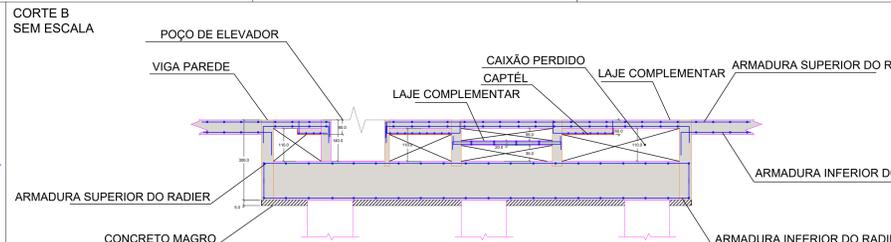
## Esc.: 1/125



**Especificações para estacas raiz:**

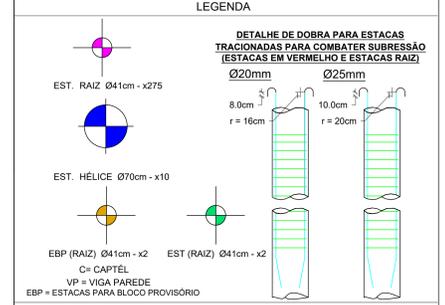
Fundação em estacas raiz

- Argamassa das estacas:
  - Classe C20 de acordo com NBR 8953 (fck=20MPa).
  - Consumo mínimo de cimento = 600kg/m<sup>3</sup>.
  - Fator A/C entre 0,50 e 0,60.
  - Agregado Graúdo: Areia.
  - Cobertura Nominal da Armadura: 4,5cm



- ### REFERÊNCIAS
- Normas Brasileiras
    - NBR 5738/2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
    - NBR 5739/2018 - Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
    - NBR 6118/2014 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.
    - NBR 6122/2010 - Projeto de Execução de Fundações - Procedimento.
    - NBR 6484/2001 - Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio.
    - NBR 7180/2016 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação
    - NBR 8953/2015 - Concreto para fins Estruturais - Classificação por grupos de resistência.
    - NBR 12655/2015 - Concreto de Cimento Portland - Preparo, Controle e Recebimento - Procedimento.

- ### NOTAS
- Fundação em Estacas Hélice Contínua.
    - 1. Concreto - Estacas Hélice Contínua:
      - Classe C30 de acordo com NBR 8953 (fck=30MPa).
      - Consumo mínimo de cimento = 400kg/m<sup>3</sup>.
      - Módulo de elasticidade ≥ 27.6GPa.
      - Fator A/C ≤ 0,60.
      - Classe S220 com abatimento de 220mm > 260mm.
      - Tear de Exudação inferior a 4%.
      - Agregado Graúdo: Brita 0 (<3,5mm).
    - 2. Cobrimento Nominal da Armadura: 5cm
    - 3. A profundidade das estacas foi calculada com base nos sondagens, caso haja aterro ou escavação, deve sofrer alterações.
    - 4. A cota de arrasamento das estacas deve obedecer a planta de forma do projeto estrutural, com atenção para alterações de cota devido à poços de elevador, reservatórios, etc.
    - 5. Para a profundidade da hélice contínua, será exigido mínimo de 12m de profundidade. Caso a estaca não atinja a profundidade desejada, a mesma não deve ser concretada e um estaco raiz deve ser feito no local.
    - 6. Todas as estacas raiz localizadas no projeto são estacas raiz de subpressão. As estacas raiz não consideradas de subpressão serão aquelas que substituírem as estacas hélices que não atingirem a profundidade de cálculo.
    - 7. O comprimento da estaca raiz será de 16m com pelo menos 6m de embutimento na rocha.
    - 8. Para casos onde a rocha começa em um nível próximo a superfície, o comprimento mínimo aceitável é de 10m de profundidade com pelo menos 6m empuido em rocha.
    - 9. A armação da estaca hélice será 10Ø16mm C=600 est. Ø6,3mm c/15 ou 7Ø20mm est. Ø6,3mm c/15
    - 10. A armação da estaca raiz será 7Ø25mm est. Ø6,3mm c/26 ou 13Ø20mm est. 6,3mm c/26.
    - 11. As estacas raiz e estacas tipo hélice devem ter sua ferragem com dobra em gancho na extremidade. Para barras Ø20mm, estas devem ter raio mínimo de 16cm e comprimento de 8cm na ponta. Para barras de Ø25mm, estas devem ter raio mínimo de 20cm e comprimento de 10cm na ponta.
    - 12. As estacas contidas dentro da hachura verde e dentro do limite do radiante de 1,50m de altura, devem ter sua cota de arrasamento em 3,00m. As estacas dentro da hachura verde mas contidas no avanço do radier de 50cm de altura, devem ter sua corra de arrasamento de 1,00m.
    - 13. Os resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova do concreto das estacas deverão ser entregues ao projetista de fundações.
    - 14. De acordo com o item 9.2.2.1 da ABNT NBR 6122:2019 é obrigatória, sempre no início da obra, a execução de provas de carga estática em obras com fundações em estacas tipo hélice contínua que possuem número de estacas superior a 100, deve ser executado um número de provas de carga igual a no mínimo 1% da quantidade total de estacas, arredondando sempre para cima.
    - 15. O agregado graúdo utilizado não deve ser potencialmente reativo à reação alcali-agregado. No caso de não haver agregado adequado na região, deve-se apresentar ensaios comprobatórios da mitigação de acordo com NBR 15577-5:2018.
    - 16. Vida útil de projeto - VUP 50 anos, conforme NBR 15575:2013

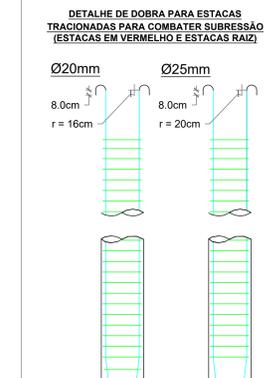
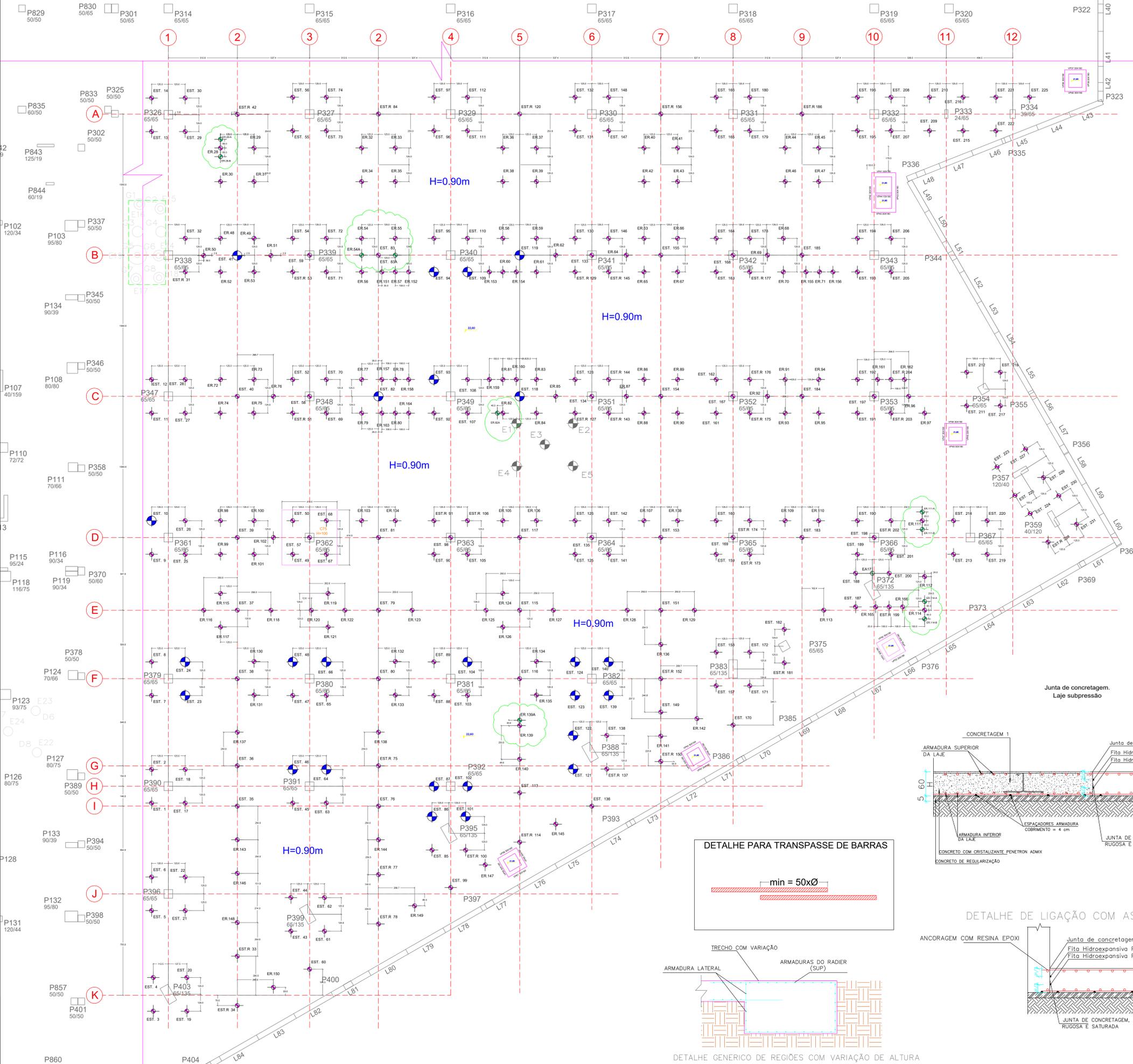


REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	VISTO
09	REVISÃO DE FORMAS	12/06/2024	RENATO
08	ALTERAÇÃO DE REBX. E ACRÉSCIMO DE DETALHES	24/04/2024	RENATO
07	ACRÉSCIMO DE ESTACAS E REVISÃO DE FORMAS	08/03/2024	RENATO
06	ACRÉSCIMO DE DETALHE DE LIGAÇÃO DAS LAMELAS	01/03/2024	RENATO
05	ALTERAÇÃO E ACRÉSCIMO DE REBAIXOS	26/02/2024	RENATO
04	ACRÉSCIMO DE REBAIXOS E CAPTÊIS	16/02/2024	RENATO
03	MUDANÇA DE POSIÇÃO ER.34, ER.49, EST.70, EST.109	22/01/2024	RENATO
02	RETROFIT DA FUNDAÇÃO E ADIÇÃO DAS ESTACAS DE SUBPRESSÃO	22/01/2024	RENATO
01	INICIAL	10/01/2024	RENATO

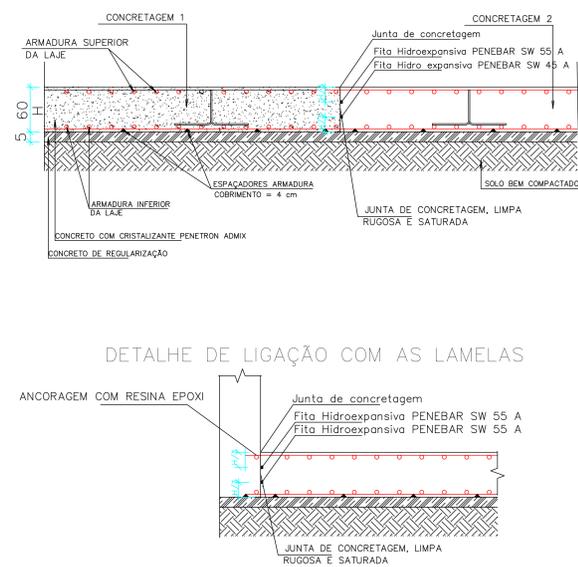
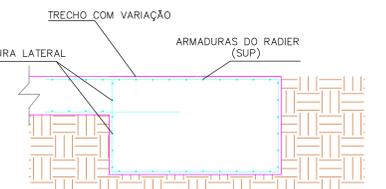
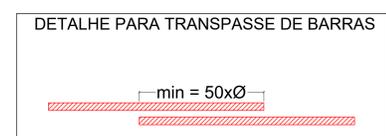
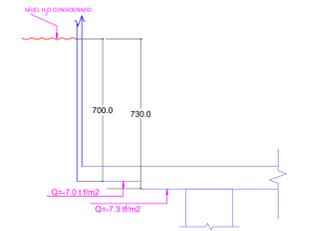
CLIENTE	
OBRA	PORTO ALEGRE-RS
LOCAL	
CÁLCULO	7609/D-DF
TÍTULO	LOCAÇÃO DE ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA E RAIZ- ZONA B
DATA	10/01/2024
DESENHO	INDICADA
ESCALA	FOUHA
INDICADA	003
PROJETO	REF 85-23

# LOCAÇÃO DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA - SETOR C

Esc.:1:100



### CONSIDERAÇÕES DA SUBPRESSÃO



### REFERÊNCIAS

- Normas Brasileiras
  - NBR 5739/2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
  - NBR 5739/2018 - Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
  - NBR 6118/2014 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.
  - NBR 6122/2010 - Projeto de Execução de Fundações - Procedimento.
  - NBR 6484/2001 - Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio.
  - NBR 7180/2016 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação.
  - NBR 8953/2015 - Concreto para fins Estruturais - Classificação por grupos de resistência.
  - NBR 12655/2015 - Concreto de Cimento Portland - Preparo, Controle e Recebimento - Procedimento.

### NOTAS

- Fundação em Estacas Hélice Contínua.
- Concreto - Estacas Hélice Contínua:
    - Classe C30 de acordo com NBR 8953 (fck=30MPa).
    - Consumo mínimo de cimento  $\geq 400\text{kg/m}^3$ .
    - Módulo de elasticidade  $\geq 27.6\text{GPa}$ .
    - Fator A/C  $\leq 0.60$ .
    - Classe S220 com abatimento de 220mm > 260mm.
    - Teor de Exsudação inferior a 4%.
    - Agregado Graúdo: Brita 0 (<9.5mm).
  - Cobertura Nominal da Armadura: 5cm.
  - A profundidade das estacas foi calculada com base nos sondagens, caso haja aterro ou escavação, deve sofrer alterações.
  - A cota de arrasamento das estacas deve obedecer a planta de fôrma do projeto estrutural, com atenção para diferenças de cota devido à poças de elevador, reservatórios, etc.
  - Para a profundidade da hélice contínua, será exigido mínimo de 8m de profundidade. Caso a estaca não atinja a profundidade desejada, a mesma não deve ser concretada e um estaca raiz deve ser feita no local.
  - Todas as estacas raiz localizadas no projeto são estacas raiz de subpressão. As estacas raiz não consideradas de subpressão serão aquelas que substituído as estacas hélices que não atingiram a profundidade de cálculo.
  - O comprimento da estaca raiz será de 12m com pelo menos 4m de embutimento na rocha. Com exceção da estaca EST.38, esta deve ter 14m de profundidade com pelo menos 6m de embutimento em rocha.
  - Para casos onde a rocha começa em um nível próximo a superfície, o comprimento mínimo aceitável é de 10m de profundidade com pelo menos 6m empulido em rocha.
  - A armadura da estaca hélice será 10Ø16mm c=600 est. Ø6.3mm c/15 ou 7Ø20mm est. Ø6.3mm c/15.
  - A armadura da estaca raiz será 7Ø25mm est. Ø6.3mm c/26 ou 13Ø20mm est. 6.3mm c/26.
  - As estacas raiz e estacas tipo hélice devem ter sua ferragem com dobra em gancho na extremidade. Para barras Ø20mm, estas devem ter raio mínimo de 16cm e comprimento de 8cm na ponta. Para barras de Ø25mm, estas devem ter raio mínimo de 20cm e comprimento de 10cm na ponta.
  - Os resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova do concreto das estacas deverão ser entregues ao projetista de fundações.
  - De acordo com o item 9.2.2.1 da ABNT NBR 6122:2019 é obrigatória, sempre no início da obra, a execução de provas de carga estática em obras com fundações em estacas tipo hélice contínua que possuam número de estacas superior a 100, deve ser executado um número de provas de carga igual a no mínimo 1% da quantidade total de estacas, arredondando sempre para cima.
  - O agregado graúdo utilizado não deve ser potencialmente reativo à reação alcali-agregado. No caso de não haver agregado adequado na região, deve-se apresentar ensaios comprobatórios da mitigação de acordo com NBR 15577-5:2018.
  - Vida Útil de projeto - VUP 50 anos, conforme NBR 15575:2013

### LEGENDA



### PROPRIETÁRIO

AUTOR DO PROJETO			
07	ACRÉSCIMO DE CAPTEL NO PILAR P362	25/06/2024	RENATO
07	ACRÉSCIMO DE POSIÇÃO DE CAIXAS	22/05/2024	RENATO
06	ACRÉSCIMO DE DETALHES	17/05/2024	RENATO
05	ACRÉSCIMO DE REBAIXOS E CAPTEIS	15/02/2024	RENATO
04	RETROFIT DA FUNDAÇÃO	22/01/2024	RENATO
03	AUTUALIZAÇÃO DE NOTAS E ESTACAS RAIZ	08/01/2024	RENATO
02	ADD ESTACAS DE REFORÇOR PARA PUNÇÃO	13/12/2023	RENATO
01	LOCAÇÃO DE ESTACAS P339, P348, P362, P363, P364, P365, P341, P342, P351, P362, P363.	11/12/2023	RENATO
00	EMIÇÃO INICIAL	11/12/2023	RENATO
REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	VISTO

CIENTE	
OBRA	
LOCAL	PORTO ALEGRE-RS
CALCULO	7609/D-DF
TITULO	LOCAÇÃO DE ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA - ZONA C
DATA	11/12/2023
DESENHO	INDICADA
FOLHA	002
PROJETO	REF 85-23

**ANEXO E – RELATÓRIO ENSAIO DE PLACA (PCP)**

# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 21/11/2023

Rev: 01

RELATORIO N° 0241/23

CLIENTE: [REDACTED]

A/C Engº [REDACTED]

Ref: Relatório PCP

Obra: [REDACTED]

Prezados Senhores,

Este relatório apresenta os resultados das provas de carga de placa (PCP) sobre terreno, executados na obra [REDACTED]. Na execução destes ensaios foram observados os procedimentos preconizados pelas NBR 6489:2019– Prova de carga direta sobre terreno de plataforma e NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações.

A execução destes ensaios ocorreram entre os dias 01/11/2023 e 04/11/2023, sendo que os serviços de ensaio foram baseados em orientações fornecidas pela [REDACTED].

## 1. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- NBR 6489:2019– Prova de carga direta sobre terreno de fundação
- NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações

## 2. METODOLOGIA APLICADA

As aplicações de cargas estáticas em estágios sucessivos, com carregamento e deslocamento monitorado, caracteriza a condução de uma prova de Carga de Placa (PCP). O carregamento é aplicado no topo da placa, mediante a utilização de

# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 21/11/2023

Rev: 01

RELATORIO N° 0241/23

um sistema composto por um cilindro hidráulico, acionado por uma bomba hidráulica, sendo a carga monitorada por um manômetro aferido. O controle dos deslocamentos do topo da placa é feito mediante a utilização de 04 relógios comparadores, com precisão de 0,01mm. A fixação destes relógios é feita mediante a utilização de garras magnéticas instaladas em vigas de referência metálicas, que obedecem ao recomendado pela NBR 6489:2019.

O ensaio foi dividido em 10 estágios, com acréscimos de 0,6 kgf/cm<sup>2</sup> em cada, de 0 kgf/cm<sup>2</sup> até 6,00 kgf/cm<sup>2</sup>. A passagem para um próximo estágio é feita após a estabilização dos deslocamentos observados no estágio anterior, de acordo com o determinado pela NBR 6489:2019. Os estágios correspondentes ao trecho de descarregamento do ensaio foram conduzidos com diferenças de cargas de 1,50 kgf/cm<sup>2</sup>.

A determinação da locação dos ensaios de placa foi feita pela [REDACTED], seguindo orientações da projetista das fundações.

Devido as condições de drenagem e fluxo d'água do local de execução dos ensaios, a condição do terreno é de solo saturado.

### **3. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS**

**O terreno ensaiado indicou sinais evidentes da ruptura do sistema solo x placa, sendo os deslocamentos observados superiores a 30mm.**

#### **PCP01**

Data de execução do ensaio	01/11/2023
Máxima tensão aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,80
Deslocamento máximo (mm)	8.22
Deslocamento residual (mm)	ENSAIO INTERROMPIDO

*Tabela 1: Dados referentes a execução do ensaio de placa.*

# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 21/11/2023

Rev: 01

RELATORIO N° 0241/23

## PCP02

Data de execução do ensaio	02/11/2023
Máxima tensão aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	2,40
Deslocamento máximo (mm)	36,61
Deslocamento residual (mm)	ENSAIO INTERROMPIDO

Tabela 2: Dados referentes a execução do ensaio de placa

## PCP03

Data de execução do ensaio	02/11/2023
Máxima tensão aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,80
Deslocamento máximo (mm)	2,13
Deslocamento residual (mm)	ENSAIO INTERROMPIDO

Tabela 3: Dados referentes a execução do ensaio de placa

## PCP04

Data de execução do ensaio	02/11/2023
Máxima tensão aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,80
Deslocamento máximo (mm)	30,60
Deslocamento residual (mm)	ENSAIO INTERROMPIDO

Tabela 4: Dados referentes a execução do ensaio de placa

## PCP05

Data de execução do ensaio	02/11/2023
Máxima tensão aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,80
Deslocamento máximo (mm)	15,33
Deslocamento residual (mm)	ENSAIO INTERROMPIDO

Tabela 5: Dados referentes a execução do ensaio de placa

## PCP06

Data de execução do ensaio	04/11/2023
Máxima tensão aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,80
Deslocamento máximo (mm)	2,38
Deslocamento residual (mm)	ENSAIO INTERROMPIDO

Tabela 6: Dados referentes a execução do ensaio de placa

Ressaltamos ainda que a interpretação dos resultados aqui apresentados deve ser conduzida pelo responsável pelo responsável técnico do projeto de fundações.

# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 21/11/2023

Rev: 01

RELATORIO N° 0241/23

## INFORMAÇÕES DO ENSAIO EXECUTADO – PCP01

- Identificação do local de ensaio: [REDACTED] – PORTO ALEGRE (RS)
- Seção da placa utilizada (cm):  $\Phi$  55
- Área da seção transversal da placa (cm<sup>2</sup>): 2375,83
- Cota de execução do ensaio:
- Data de execução do ensaio: 01/11/2023
- Carga do sistema de reação (tf): 20,00
- $\sigma$  máxima de ensaio (kgf/cm<sup>2</sup>): 6,00

# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 21/11/2023

Rev: 01

RELATORIO N° 0241/23

## CARGA

INÍCIO : 01/11/2023 14h28min  
FINAL: 01/11/2023 15h58min

LEITURAS INICIAIS DOS RELÓGIOS COMPARADORES									
				RC1 (mm)	RC2 (mm)	RC3 (mm)	RC4 (mm)	MÉDIA (mm)	Deslocamento médio placa (mm)
				31,45	35,78	33,26	30,1	32,65	0
LEITURAS DOS RELÓGIOS COMPARADORES									
$\sigma$ aplicada (kgf/cm <sup>2</sup> )	carga (tf)	DATA	tempo (min)	RC1 (mm)	RC2 (mm)	RC3 (mm)	RC4 (mm)	MÉDIA (mm)	Deslocamento médio estaca (mm)
0,6	1,5	01/11/2023 14:28	0	31,30	35,75	33,06	29,97	32,52	-0,13
			2	31,25	35,70	32,97	29,89	32,45	-0,20
			4	31,25	35,61	32,90	29,85	32,40	-0,25
			8	31,23	35,61	32,90	29,84	32,40	-0,25
			15	31,23	35,61	32,90	29,84	32,40	-0,25
			30	31,23	35,61	32,90	29,84	32,40	-0,25
1,2	3	01/11/2023 14:58	0	28,91	32,11	29,54	25,63	29,05	-3,60
			2	28,84	32,04	29,47	25,55	28,98	-3,67
			4	28,77	31,94	29,35	25,53	28,90	-3,75
			8	28,77	31,89	29,31	25,46	28,86	-3,79
			15	28,77	31,89	29,31	25,46	28,86	-3,79
			30	28,77	31,89	29,31	25,46	28,86	-3,79
1,8	4,5	01/11/2023 15:28	0	23,56	28,48	25,20	21,80	24,76	-7,89
			2	23,49	28,39	25,09	21,73	24,68	-7,97
			4	23,35	28,27	24,96	21,60	24,55	-8,10
			8	23,29	28,10	24,84	21,57	24,45	-8,20
			15	23,29	28,03	24,84	21,55	24,43	-8,22
			30	23,29	28,03	24,84	21,55	24,43	-8,22
2,4	6								

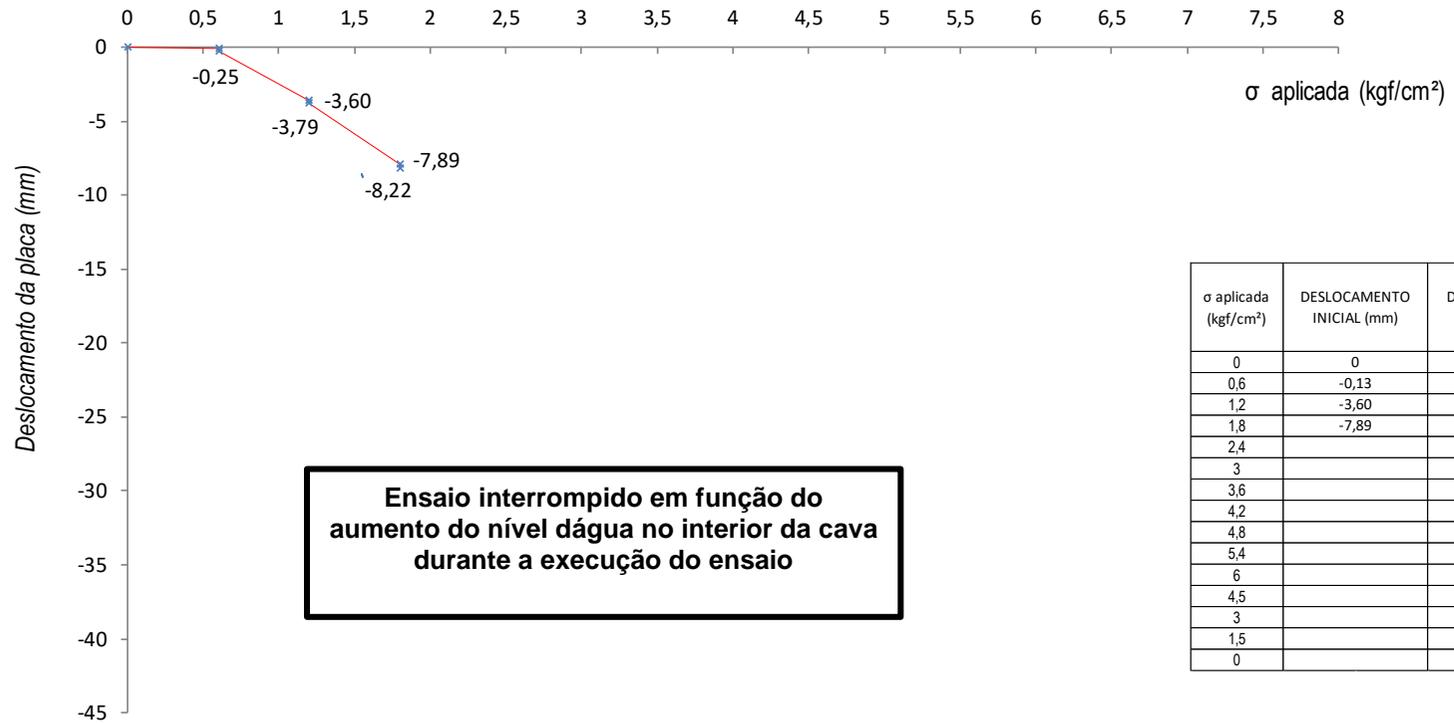
# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 21/11/2023

Rev: 01

RELATORIO N° 0241/23

Prova de carga de placa  
NBR 6489/19  
ENSAIO PCP 01 - [REDACTED]



## **ANEXO F – RELATÓRIO ENSAIO PCE**

# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 09/11/2023

Rev: 00

RELATORIO N° 0248/2023

A/C Eng. [REDACTED]

Ref.: Relatório PCE

Obra: [REDACTED]

Local: PORTO ALEGRE (RS)

Prezados Senhores,

Este relatório apresenta o resultado de 01 (UMA) prova de carga estática (PCE) à compressão, executada com carregamento lento, em estacas tipo HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA, executada na obra [REDACTED] – PORTO ALEGRE (RS). Na execução destes ensaios foram observados os procedimentos preconizados pela NBR 16903:2020 e NBR 6122:2019.

A execução da obra civil é por conta da empresa [REDACTED], enquanto que as estacas tipo HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA foram executadas pela empresa [REDACTED]. O projeto de fundações é de responsabilidade da [REDACTED].

A aplicação de carga estática em estágios sucessivos, com carregamento lento e monitorado, caracteriza a condução da Prova de Carga Estática (PCE) com carregamento lento, a compressão. O carregamento é aplicado no topo do bloco de coroamento da estaca ensaiada, mediante a utilização de um sistema composto por um cilindro hidráulico, acionado por uma bomba hidráulica, sendo a carga monitorada por um manômetro aferido. O controle dos deslocamentos do topo do bloco de coroamento é feito mediante a utilização de 04 relógios comparadores, com precisão de 0,01mm. A fixação destes relógios é feita mediante a utilização de garras magnéticas instaladas em vigas de referência metálicas, que obedecem ao recomendado pela NBR 16903:2020.

## RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 09/11/2023

Rev: 00

RELATORIO N° 0248/2023

O ensaio foi dividido em 10 estágios com acréscimos de 0,10 x carga máxima do ensaio em cada, de 0 tf até 320 tf. A passagem para um próximo estágio é feita após a estabilização dos deslocamentos observados no estágio anterior, de acordo com o determinado pela NBR 16903:2020. Os estágios correspondentes ao trecho de descarregamento do ensaio seriam conduzidos com diferenças de carga de 0,25 x Carga Máxima do ensaio.

**A estaca ensaiada apresentou comportamento adequado, não indicando ruptura da interação solo-estaca. Recomendamos a utilização de métodos de extrapolação da curva Carga x Recalque obtida para uma avaliação mais criteriosa do comportamento do mecanismo de interação solo-estaca.**

Todo e qualquer dano ocorrente nas estacas ensaiadas devido a escavações, arrasamentos, montagens e de outros fatores quaisquer são responsabilidade da 

Ressaltamos ainda, que a interpretação dos resultados aqui apresentados deve ser conduzida pelo projetista de fundações e/ou pelo profissional responsável pela execução do projeto de fundações.

Desde já nos colocamos à disposição para quaisquer esclarecimentos necessários.

Atenciosamente,



	<b>RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS</b>			
	Data: 09/11/2023	Rev: 00		
	<b>RELATORIO N° 0248/2023</b>			

**DADOS DA PROVA DE CARGA EXECUTADA**

ESTACA	SEÇÃO (mm)	TIPO DE FUNDAÇÃO	DATA EXECUÇÃO	DATA ENSAIO	L PERFURADO (m)	L ENSAIADO (m)	CARGA DE TRABALHO (tf)	CARGA DE ENSAIO (tf)	REAÇÕES
EB4	700	HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA	01/09/2023	07/11/2023	8,00	7,50	160	320	4 φ700mm

- Projeto de Fundações:
- $f_{ck} = 30$  MPa
- Tipo de carregamento: Lento

# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

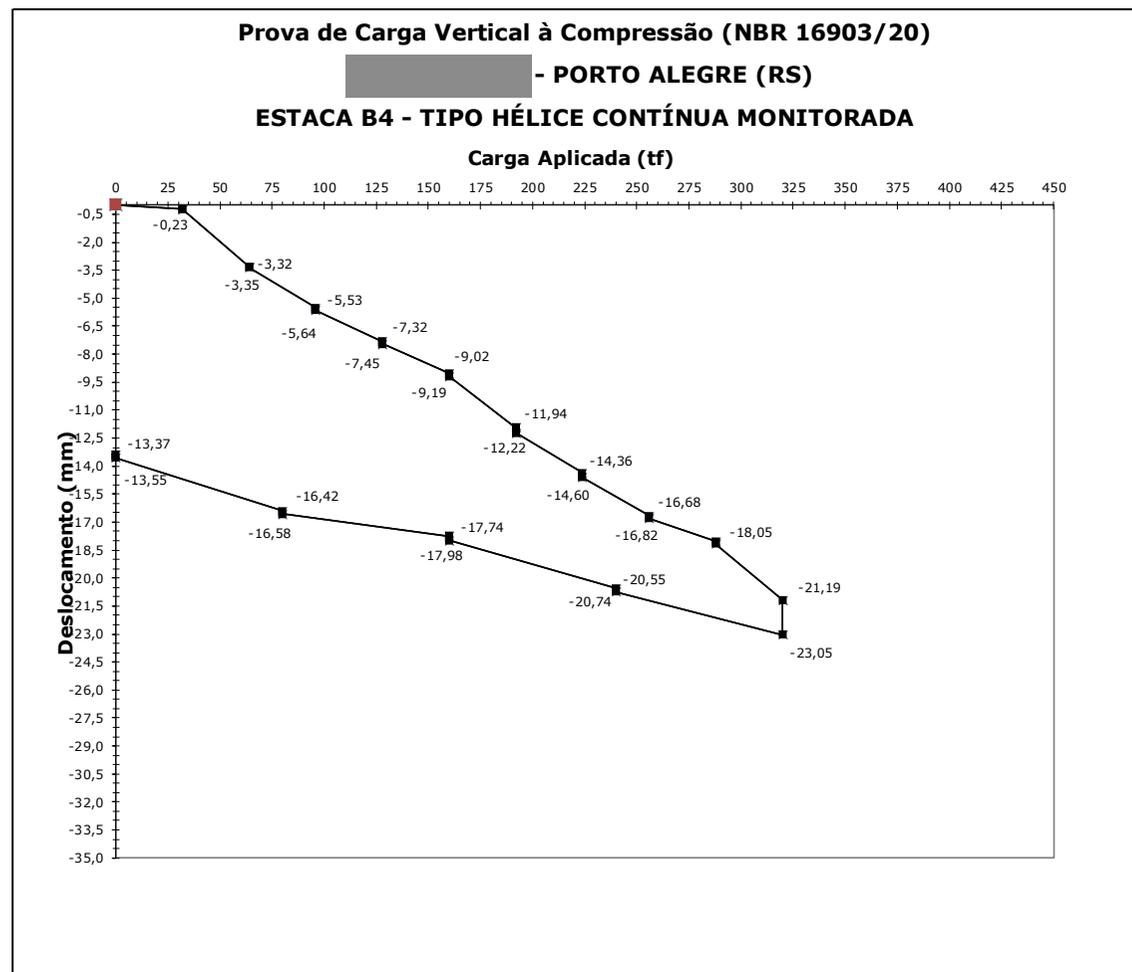
Data: 09/11/2023

Rev: 00

RELATORIO N° 0248/2023

## PROVA DE CARGA A COMPRESSAO - CURVA CARGA x DESLOCAMENTO

Cliente: [REDACTED]  
Obra: [REDACTED] PORTO ALEGRE (RS)  
Estaca: ESTACA B4 - TIPO HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA  
Seção:  $\phi$  700mm  
Executor: [REDACTED]  
Projetista: [REDACTED]  
Cota do Terreno Adjacente (m) 0,00  
Cota do Topo do Bloco (m): 0,00  
Comprimento Ensaiado (m): 7,50  
Data de Execução da Estaca: 25/09/2023  
Data do Ensaio: 08/11/2023  
Sondagem Próxima:



# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 09/11/2023

Rev: 00

RELATORIO N° 0248/2023

## PROVA DE CARGA A COMPRESSAO - CURVA CARGA x DESLOCAMENTO

Obra: ██████████ - PORTO ALEGRE (RS)

Estaca: ESTACA B4 - TIPO HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA

Seção:  $\phi$  700mm

Cota do Terreno Adjacente: 0,00

Cota do Topo do Bloco: 0,00

Comprimento Ensaiado: 7,50

Data de Execução da Estaca: 25/09/2023

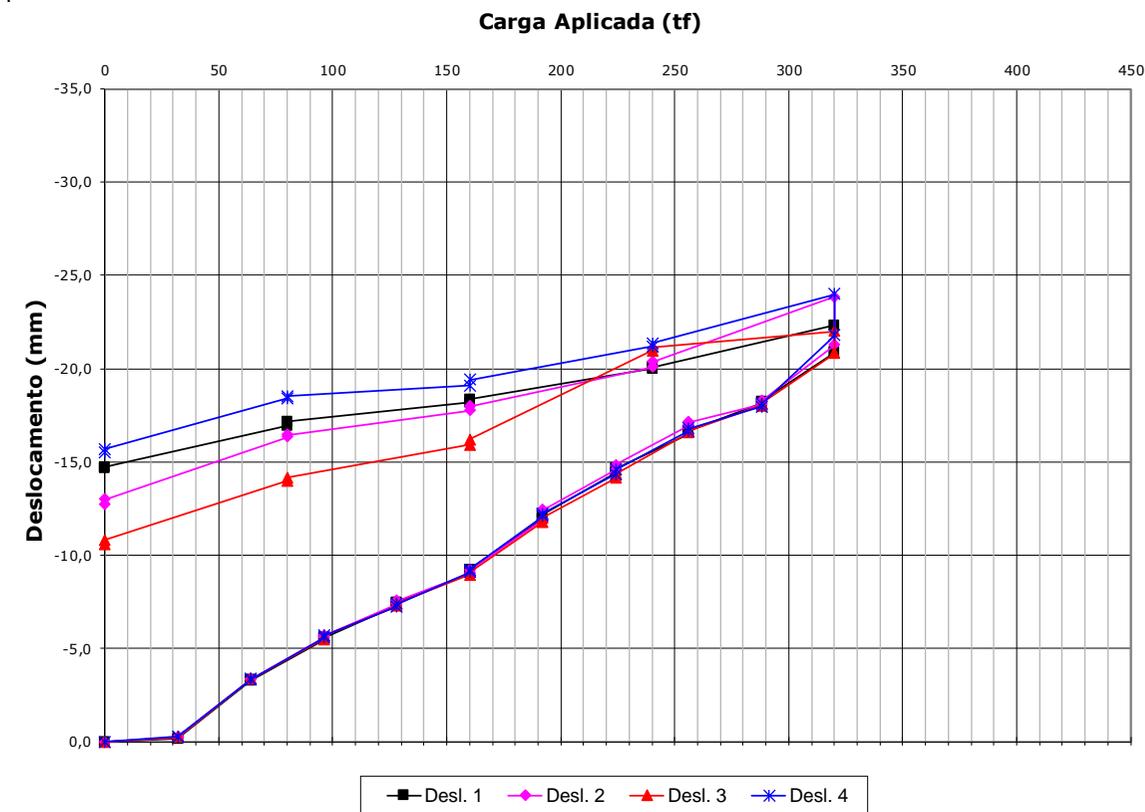
Data do Ensaio: 08/11/2023

Sondagem Próxima: 0

### Prova de Carga Vertical à Compressão (NBR 16903/20)

██████████ - PORTO ALEGRE (RS)

### ESTACA B4 - TIPO HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA



# RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOS

Data: 09/11/2023

Rev: 00

RELATORIO N° 0248/2023

## PROVA DE CARGA A COMPRESSAO - CURVA TEMPO x DESLOCAMENTO

Obra: ██████████ - PORTO ALEGRE (RS)

Estaca: ESTACA B4 - TIPO HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA

Seção:  $\phi$  700mm

Cota do Terreno Adjacente: 0,00

Cota do Topo do Bloco: 0,00

Comprimento Ensaiado: 7,50

Data de Execução da Estaca: 25/09/2023

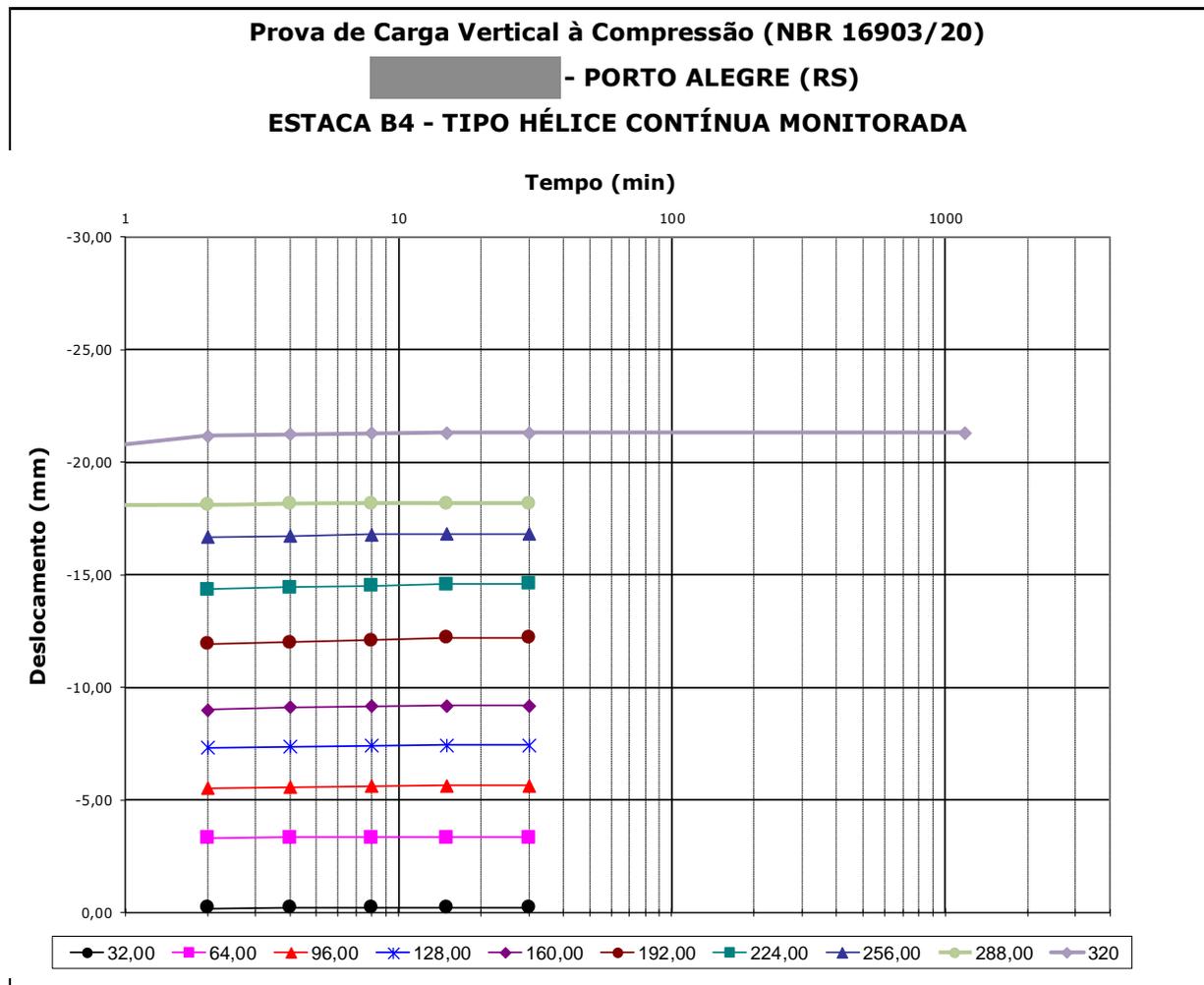
Data do Ensaio: 08/11/2023

Sondagem Próxima: 0

### Prova de Carga Vertical à Compressão (NBR 16903/20)

██████████ - PORTO ALEGRE (RS)

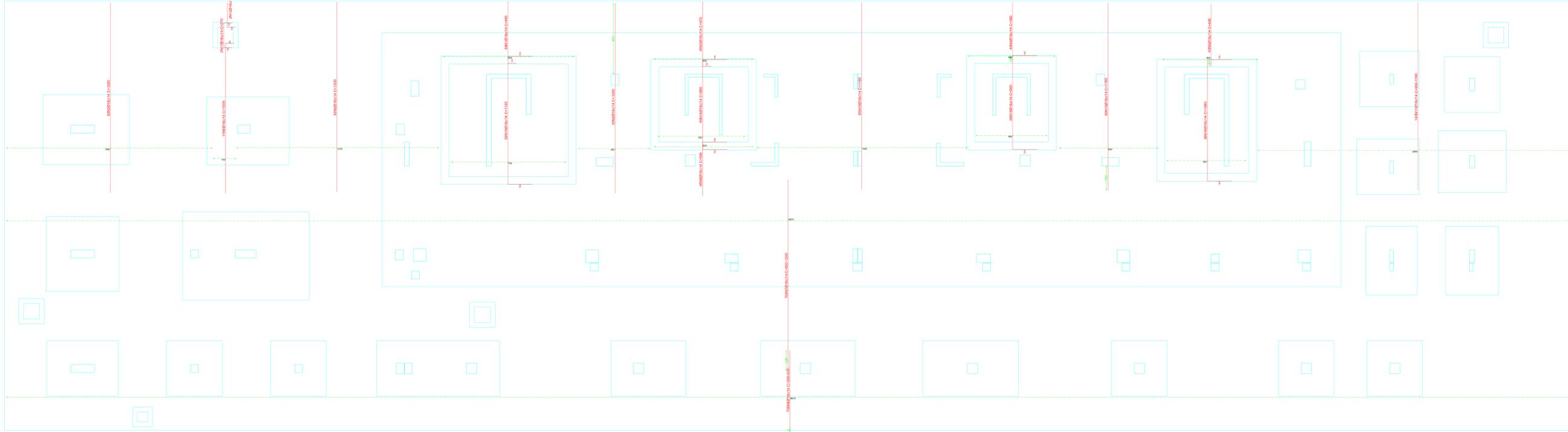
### ESTACA B4 - TIPO HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA



**ANEXO G – PROJETOS DE ARMADURA DO RADIER DA TORRE A**

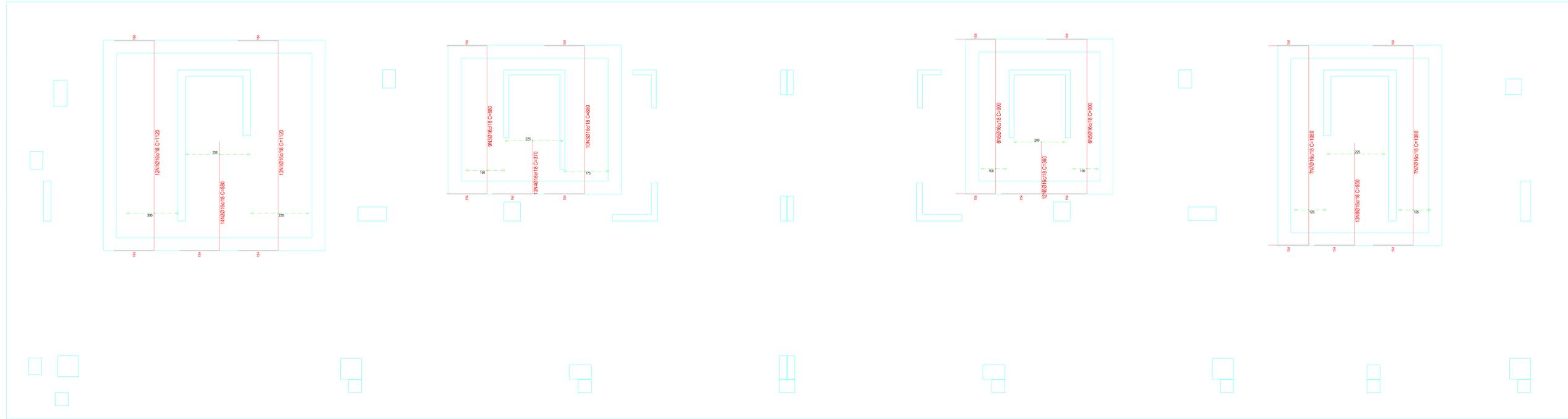


**ARMADURA VERTICAL SUPERIOR**  
Esc.:1:80



Elemento	Vol. (m³)	Comp.	Total	CA-50	CA-60
Armadura vertical superior	1,076	56	396	450	26560
	2,076	246	1000	1200	26460
	3,076	454	416	470	21150
	4,076	662	566	580	15300
	5,076	870	716	720	11200
	6,076	1078	866	860	7100
	7,076	1286	1016	1000	5000
	8,076	1494	1166	1140	3500
	9,076	1702	1316	1280	2500
	10,076	1910	1466	1420	1800
	11,076	2118	1616	1560	1200
	12,076	2326	1766	1700	800
	13,076	2534	1916	1840	500
	14,076	2742	2066	1980	300
	15,076	2950	2216	2120	200
	16,076	3158	2366	2260	100
	17,076	3366	2516	2400	50
	18,076	3574	2666	2540	20
	19,076	3782	2816	2680	10
	20,076	3990	2966	2820	5
	21,076	4198	3116	2960	2
	22,076	4406	3266	3100	1
	23,076	4614	3416	3240	0,5
	24,076	4822	3566	3380	0,2
	25,076	5030	3716	3520	0,1
	26,076	5238	3866	3660	0,05
	27,076	5446	4016	3800	0,02
	28,076	5654	4166	3940	0,01
	29,076	5862	4316	4080	0,005
	30,076	6070	4466	4220	0,002
	31,076	6278	4616	4360	0,001
	32,076	6486	4766	4500	0,0005
	33,076	6694	4916	4640	0,0002
	34,076	6902	5066	4780	0,0001
	35,076	7110	5216	4920	0,00005
	36,076	7318	5366	5060	0,00002
	37,076	7526	5516	5200	0,00001
	38,076	7734	5666	5340	0,000005
	39,076	7942	5816	5480	0,000002
	40,076	8150	5966	5620	0,000001
	41,076	8358	6116	5760	0,0000005
	42,076	8566	6266	5900	0,0000002
	43,076	8774	6416	6040	0,0000001
	44,076	8982	6566	6180	0,00000005
	45,076	9190	6716	6320	0,00000002
	46,076	9398	6866	6460	0,00000001
	47,076	9606	7016	6600	0,000000005
	48,076	9814	7166	6740	0,000000002
	49,076	10022	7316	6880	0,000000001
	50,076	10230	7466	7020	0,0000000005
	51,076	10438	7616	7160	0,0000000002
	52,076	10646	7766	7300	0,0000000001
	53,076	10854	7916	7440	0,00000000005
	54,076	11062	8066	7580	0,00000000002
	55,076	11270	8216	7720	0,00000000001
	56,076	11478	8366	7860	0,000000000005
	57,076	11686	8516	8000	0,000000000002
	58,076	11894	8666	8140	0,000000000001
	59,076	12102	8816	8280	0,0000000000005
	60,076	12310	8966	8420	0,0000000000002
	61,076	12518	9116	8560	0,0000000000001
	62,076	12726	9266	8700	0,00000000000005
	63,076	12934	9416	8840	0,00000000000002
	64,076	13142	9566	8980	0,00000000000001
	65,076	13350	9716	9120	0,000000000000005
	66,076	13558	9866	9260	0,000000000000002
	67,076	13766	10016	9400	0,000000000000001
	68,076	13974	10166	9540	0,0000000000000005
	69,076	14182	10316	9680	0,0000000000000002
	70,076	14390	10466	9820	0,0000000000000001
	71,076	14598	10616	9960	0,00000000000000005
	72,076	14806	10766	10100	0,00000000000000002
	73,076	15014	10916	10240	0,00000000000000001
	74,076	15222	11066	10380	0,000000000000000005
	75,076	15430	11216	10520	0,000000000000000002
	76,076	15638	11366	10660	0,000000000000000001
	77,076	15846	11516	10800	0,0000000000000000005
	78,076	16054	11666	10940	0,0000000000000000002
	79,076	16262	11816	11080	0,0000000000000000001
	80,076	16470	11966	11220	0,00000000000000000005
	81,076	16678	12116	11360	0,00000000000000000002
	82,076	16886	12266	11500	0,00000000000000000001
	83,076	17094	12416	11640	0,000000000000000000005
	84,076	17302	12566	11780	0,000000000000000000002
	85,076	17510	12716	11920	0,000000000000000000001
	86,076	17718	12866	12060	0,0000000000000000000005
	87,076	17926	13016	12200	0,0000000000000000000002
	88,076	18134	13166	12340	0,0000000000000000000001
	89,076	18342	13316	12480	0,00000000000000000000005
	90,076	18550	13466	12620	0,00000000000000000000002
	91,076	18758	13616	12760	0,00000000000000000000001
	92,076	18966	13766	12900	0,000000000000000000000005
	93,076	19174	13916	13040	0,000000000000000000000002
	94,076	19382	14066	13180	0,000000000000000000000001
	95,076	19590	14216	13320	0,0000000000000000000000005
	96,076	19798	14366	13460	0,0000000000000000000000002
	97,076	20006	14516	13600	0,0000000000000000000000001
	98,076	20214	14666	13740	0,00000000000000000000000005
	99,076	20422	14816	13880	0,00000000000000000000000002
	100,076	20630	14966	14020	0,00000000000000000000000001
	101,076	20838	15116	14160	0,000000000000000000000000005
	102,076	21046	15266	14300	0,000000000000000000000000002
	103,076	21254	15416	14440	0,000000000000000000000000001
	104,076	21462	15566	14580	0,0000000000000000000000000005
	105,076	21670	15716	14720	0,0000000000000000000000000002
	106,076	21878	15866	14860	0,00000000000000000000000000005
	107,076	22086	16016	15000	0,00000000000000000000000000002
	108,076	22294	16166	15140	0,00000000000000000000000000001
	109,076	22502	16316	15280	0,000000000000000000000000000005
	110,076	22710	16466	15420	0,000000000000000000000000000002
	111,076	22918	16616	15560	0,0000000000000000000000000000005
	112,076	23126	16766	15700	0,0000000000000000000000000000002
	113,076	23334	16916	15840	0,0000000000000000000000000000001
	114,076	23542	17066	15980	0,00000000000000000000000000000005
	115,076	23750	17216	16120	0,00000000000000000000000000000002
	116,076	23958	17366	16260	0,000000000000000000000000000000005
	117,076	24166	17516	16400	0,000000000000000000000000000000002
	118,076	24374	17666	16540	0,000000000000000000000000000000001
	119,076	24582	17816	16680	0,0000000000000000000000000000000005
	120,076	24790	17966	16820	0,0000000000000000000000000000000002
	121,076	24998	18116	16960	0,00000000000000000000000000000000005
	122,076	25206	18266	17100	0,00000000000000000000000000000000002
	123,076	25414	18416	17240	0,00000000000000000000000000000000001
	124,076	25622	18566	17380	0,000000000000000000000000000000000005
	125,076	25830	18716	17520	0,000000000000000000000000000000000002
	126,076	26038	18866	17660	0,0000000000000000000000000000000000005
	127,076	26246	19016	17800	0,0000000000000000000000000000000000002
	128,076	26454	19166	17940	0,0000000000000000000000000000000000001
	129,076	26662	19316	18080	0,00000000000000000000000000000000000005
	130,076	26870	19466	18220	0,00000000000000000000000000000000000002
	131,076	27078	19616	18360	0,000000000000000000000000000000000000005
	132,076	27286	19766	18500	0,000000000000000000000000000000000000002
	133,076	27494	19916	18640	0,000000000000000000000000000000000000001
	134,076	27702	20066	18780	0,0000000000000000000000000000000000000005
	135,076	27910	20216	18920	0,0000000000000000000000000000000000000002
	136,076	28118	20366	19060	0,005
	137,076	28326	20516	19200	0,002
	138,076	28534	20666	19340	0,001
	139,076	28742	20816	19480	0,0005
	140,076	28950	20966	19620	0,0002
	141,076	29158	21116	19760	0,005
	142,076	29366	21266	19900	0,002
	143,076	29574	21416	20040	0,0005
	144,076	29782	21566	20180	0,0002
	145,076	29990	21716	20320	0,005
	146,076	30198	21866	20460	0,002
	147,076	30406	22016	20600	0,0000000000

**ARMADURA DE COMPLEMENTO VERTICAL SUPERIOR**  
Esc.:1:50

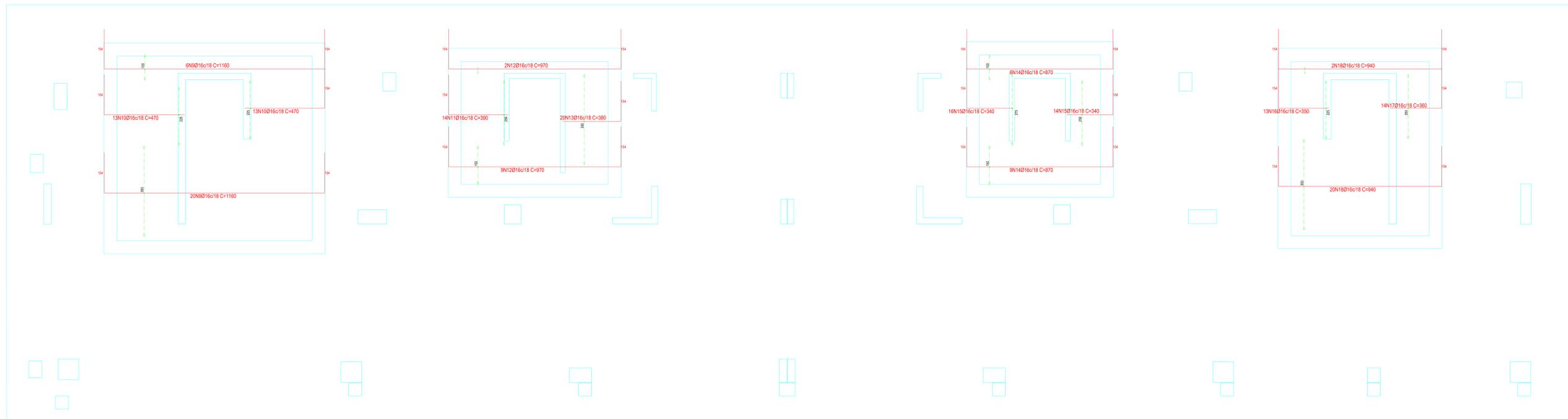


Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Deb. (cm)	Rela (cm)	Dob. (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)
Armadura vertical inferior	1	Ø16	25	154	812	154	1120	28000	442,0
	2	Ø16	14	154	426	580	8120	132,2	
	3	Ø16	19	154	572	154	880	16720	263,9
	4	Ø16	13	154	216	370	4810	75,9	
	5	Ø16	12	154	562	154	900	10900	170,5
	6	Ø16	12	154	206	360	4320	68,2	
	7	Ø16	14	154	772	154	1080	15120	238,7
	8	Ø16	13	154	396	550	7150	112,9	
Total+10%:									1650,3
Armadura horizontal inferior	9	Ø16	26	154	852	154	1160	30160	476,1
	10	Ø16	26	154	316	470	12220	192,9	
	11	Ø16	14	154	236	390	540	86,2	
	12	Ø16	11	154	662	154	970	10670	166,4
	13	Ø16	20	154	226	380	7600	120,0	
	14	Ø16	15	154	562	154	870	13050	206,0
	15	Ø16	30	154	186	340	10200	161,0	
	16	Ø16	13	154	196	350	4550	71,8	
	17	Ø16	14	154	206	360	5040	79,6	
	18	Ø16	22	154	632	154	940	20600	326,5
Total+10%:									2077,4
Ø16:									3727,7
Total:									3727,7

- REFERÊNCIAS**
- 1. Normas Brasileiras
    - NBR 5738/2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
    - NBR 5739/2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
    - NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.
    - NBR 6122/2010 – Projeto de Execução de Fundações – Procedimento.
    - NBR 6484/2001 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio.
    - NBR 7180/2016 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação
    - NBR 8953/2015 – Concreto para fins Estruturais – Classificação por grupos de resistência.
    - NBR 12655/2015 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento.

- NOTAS**
1. Concreto da laje subpressão:
    - Classe C40 de acordo com NBR 8953 (fck=40MPa).
    - Consumo mínimo de cimento de acordo com a NBR 12655 ≥ 360kg/m³.
    - Módulo de elasticidade > 32GPa.
    - Fator A/C 0,45
    - Classe S220 de acordo com NBR 8953 (Abatimentoz 220mm)
    - Agregado Graúdo: Brita 1 (<19mm).
    - Cobrimento nominal da armadura: 4cm
  2. É necessário o controle do concreto com determinação da resistência a compressão por meio de corpos de prova, de acordo com a NBR 5739/2017 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
  3. Os resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova do concreto das estacas deverão ser entregues ao projetista de fundações.
  4. Acrescentar aditivo cristalinizante PENETRON ADMIX ou equivalente na quantidade de 0,8% em relação ao peso de cimento;
  5. A concretagem da laje deve ser feita em etapas estipuladas por tecnologia de concreto e autor do projeto a fim de minimizar as fissuras de retração;
  6. Todos os juntas de concretagem devem receber fita hidroexpansiva tipo FENEFAR SW-55, FENEFAR SW-45 ou equivalente.

**ARMADURA DE COMPLEMENTO HORIZONTAL SUPERIOR**  
Esc.:1:50



**LEGENDA**

PROPRIETÁRIO	
AUTOR DO PROJETO	
REVISÃO	
01 EMISSÃO INICIAL	09/02/2024 RENATO
REV.	MODIFICAÇÃO DATA VISTO

**CLIENTE**

**OBRA**

**LOCAL** PORTO ALEGRE-RS

**CÁLCULO** 7609/D-DF

**TÍTULO** DETALHAMENTO DE ARMADURAS DO RADIER

DATA	07/02/2024	ESCALA	FOLHA	PROJETO
DESENHO		INDICADA	004	REF 85-23

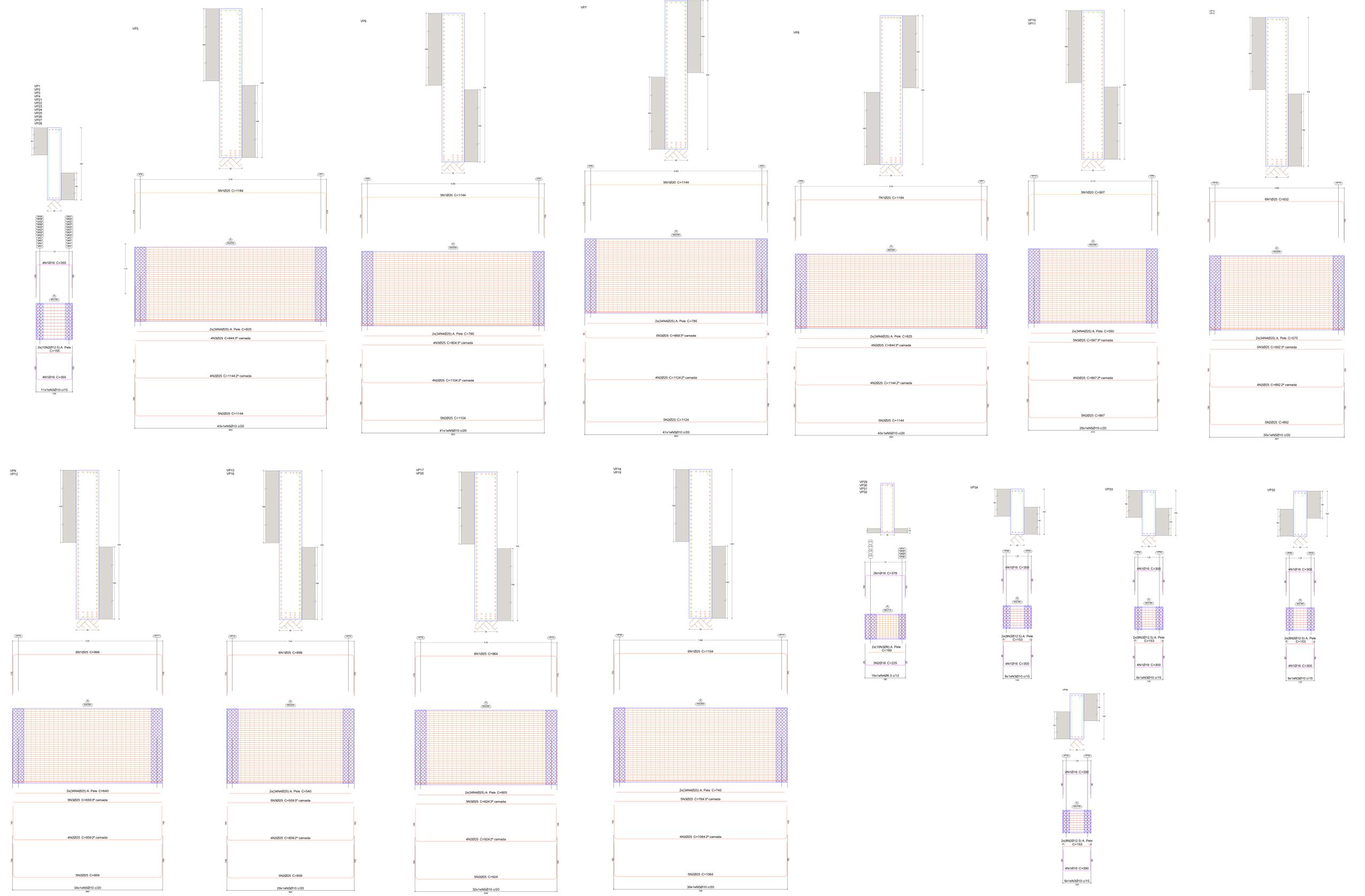
PLOTAR EM A0 841X1158

CONFIGURAÇÕES

01	01	01	01
02	02	02	02
03	03	03	03
04	04	04	04
05	05	05	05
06	06	06	06
07	07	07	07
08	08	08	08
09	09	09	09
10	10	10	10



**DETALHAMENTO DE VIGAS PAREDE**  
Esc.:1:50



Elemento	Pa	Dim	Q	Esq	Comp	Total	Ca-50	Ca-60	
				(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(kg)	
VP1	1	Ø16	8	g <sup>III</sup> -g	365	2840	448		
	2	Ø12,5	20	sc	135	1300	269		
	3	Ø10	11	sc	376	4136	255		
	Total+10%						1153,2	4172	1332,4
	Total						1188	5001	1460
VP2	1	Ø20	6	sc	1144	1026	366,8		
	2	Ø25	9	sc	844	3376	130,1		
	3	Ø25	4	sc	825	3610	214,8		
	4	Ø25	60	sc	756	3006	205,3		
	5	Ø10	43	sc	756	3006	205,3		
Total+10%						3338,6			
Total						3414	3720	1411	
VP3	1	Ø25	6	sc	1144	1026	366,8		
	2	Ø25	9	sc	844	3376	130,1		
	3	Ø25	4	sc	825	3610	214,8		
	4	Ø25	60	sc	756	3006	205,3		
	5	Ø10	41	sc	756	3006	191,0		
Total+10%						3185,5			
Total						3261	3720	1411	
VP4	1	Ø25	6	sc	1144	1026	366,8		
	2	Ø25	9	sc	844	3376	130,1		
	3	Ø25	4	sc	825	3610	214,8		
	4	Ø25	60	sc	756	3006	205,3		
	5	Ø10	41	sc	756	3006	191,0		
Total+10%						3249,9			
Total						3325	3720	1411	
VP5	1	Ø25	7	sc	1144	1026	376,4		
	2	Ø25	9	sc	844	3376	130,1		
	3	Ø25	4	sc	844	3376	130,1		
	4	Ø25	60	sc	825	3610	214,8		
	5	Ø10	43	sc	756	3006	205,3		
Total+10%						2629,2			
Total						2711	3720	1411	
VP6	1	Ø25	6	sc	1144	1026	366,8		
	2	Ø25	9	sc	844	3376	130,1		
	3	Ø25	4	sc	825	3610	214,8		
	4	Ø25	60	sc	756	3006	205,3		
	5	Ø10	34	sc	756	3006	168,4		
Total+10%						2278,7			
Total						2360	3720	1411	
VP7	1	Ø20	6	sc	607	4596	111,8		
	2	Ø25	9	sc	607	7800	300,7		
	3	Ø25	5	sc	567	2326	109,2		
	4	Ø25	60	sc	607	3006	147,2		
	5	Ø10	29	sc	756	3006	135,1		
Total+10%						2207,9			
Total						2290	4800	1800	
VP8	1	Ø25	6	sc	607	4596	111,8		
	2	Ø25	9	sc	607	7800	300,7		
	3	Ø25	5	sc	567	2295	107,7		
	4	Ø25	60	sc	540	3670	145,0		
	5	Ø10	29	sc	756	3006	135,1		
Total+10%						2280,0			
Total						2361	4800	1800	
VP9	1	Ø25	6	sc	932	5092	215,5		
	2	Ø25	9	sc	607	4596	111,8		
	3	Ø25	5	sc	592	2960	114,1		
	4	Ø25	60	sc	575	3610	106,7		
	5	Ø10	30	sc	756	3006	139,6		
Total+10%						2214,1			
Total						2295	4800	1800	
VP10	1	Ø25	6	sc	964	5764	222,9		
	2	Ø25	9	sc	604	4516	109,5		
	3	Ø25	5	sc	624	3126	122,2		
	4	Ø25	60	sc	605	4140	158,4		
	5	Ø10	32	sc	756	3006	149,1		
Total+10%						2637,9			
Total						2719	4800	1800	
VP11	1	Ø25	6	sc	1104	6624	255,3		
	2	Ø25	9	sc	1004	4576	169,0		
	3	Ø25	5	sc	744	3206	147,2		
	4	Ø25	60	sc	745	3006	192,2		
	5	Ø10	36	sc	756	3006	181,7		
Total+10%						3129,9			
Total						3211	4800	1800	
VP12	1	Ø16	3	g <sup>III</sup> -g	378	1134	17,9		
	2	Ø16	3	sc	225	675	10,7		
	3	Ø8	20	sc	160	3200	12,6		
	4	Ø13	15	sc	270	4050	9,9		
	Total+10%						562		
Total						546	2400	37,8	
VP13	1	Ø16	8	g <sup>III</sup> -g	300	2400	37,8		
	2	Ø12,5	16	sc	153	2448	23,6		
	3	Ø10	9	sc	256	2304	14,2		
	Total+10%						83,3		
	Total						80	2400	37,8
VP14	1	Ø16	8	g <sup>III</sup> -g	300	2400	37,8		
	2	Ø12,5	16	sc	153	2448	23,6		
	3	Ø10	9	sc	256	2304	14,2		
	Total+10%						83,3		
	Total						80	2400	37,8
VP15	1	Ø16	8	g <sup>III</sup> -g	300	2400	37,8		
	2	Ø12,5	16	sc	153	2448	23,6		
	3	Ø10	9	sc	256	2304	14,2		
	Total+10%						83,3		
	Total						80	2400	37,8
VP16	1	Ø16	8	g <sup>III</sup> -g	300	2400	37,8		
	2	Ø12,5	16	sc	153	2448	23,6		
	3	Ø10	9	sc	256	2304	14,2		
	Total+10%						83,3		
	Total						80	2400	37,8

- REFERÊNCIAS**
- Normas Brasileiras
  - NBR 5738/ 2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
  - NBR 5739/ 2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
  - NBR 6118/ 2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.
  - NBR 6122/2010 – Projeto de Execução de Fundações – Procedimento.
  - NBR 6484/2001 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio.
  - NBR 7180/2016 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação
  - NBR 8953/2015 – Concreto para fins Estruturais – Classificação por grupos de resistência.
  - NBR 12655/2015 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento.

- NOTAS**
1. Concreto da laje subpressão:
    - Classe C40 de acordo com NBR 8953 (fck=40MPa).
    - Consumo mínimo de cimento de acordo com o NBR 12655 = 350kg/m³
    - Módulo de elasticidade > 32GPa.
    - Fator A/C 0,45
    - Classe S220 de acordo com NBR 8953 (Abatimento> 220mm)
    - Agregado Graúdo: Brita 1 (<19mm).
    - Cobrimento nominal da armadura: 4cm
  2. É necessário o controle do concreto com determinação da resistência à compressão por meio de corpos de prova, de acordo com o NBR 5739/ 2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
  3. Os resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova do concreto dos estacos deverão ser entregues ao projeto de fundações.
  4. Acrescentar aditivo cristalinizante PENETRON ADMIX ou equivalente na quantidade de 0,8% em relação ao peso de cimento;
  5. A concretagem da laje deve ser feita em etapas estipuladas por tecnologia de concreto e autor do projeto o fim de minimizar as fissuras de retração;
  6. Todas as juntas de concretagem devem receber fita hidroexpansiva tipo FENEBAR SW-55, FENEBAR SW-45 ou equivalente.

**LEGENDA**

Ø16	Ø16	Ø16	Ø16
Ø12,5	Ø12,5	Ø12,5	Ø12,5
Ø10	Ø10	Ø10	Ø10
Ø8	Ø8	Ø8	Ø8
Ø6	Ø6	Ø6	Ø6
Ø5	Ø5	Ø5	Ø5
Ø4	Ø4	Ø4	Ø4
Ø3	Ø3	Ø3	Ø3
Ø2	Ø2	Ø2	Ø2
Ø1	Ø1	Ø1	Ø1

**PROPRIETÁRIO**

**AUTOR DO PROJETO**

01	REVISÃO GERAL	01/03/2024	RENATO
00	EMISSÃO INICIAL	09/02/2024	RENATO
REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	VISTO

**CLIENTE**

**OBRA**

**LOCAL**

**CÁLCULO**

**TÍTULO**

**DATA**

**DESENHO**

**ESCALA**

**FOLHA**

**PROJETO**

**INDICADA**

**006**

**REF 85-23**

**7609/D-DF**

**DETALHAMENTO DE ARMADURAS DO RADIER**

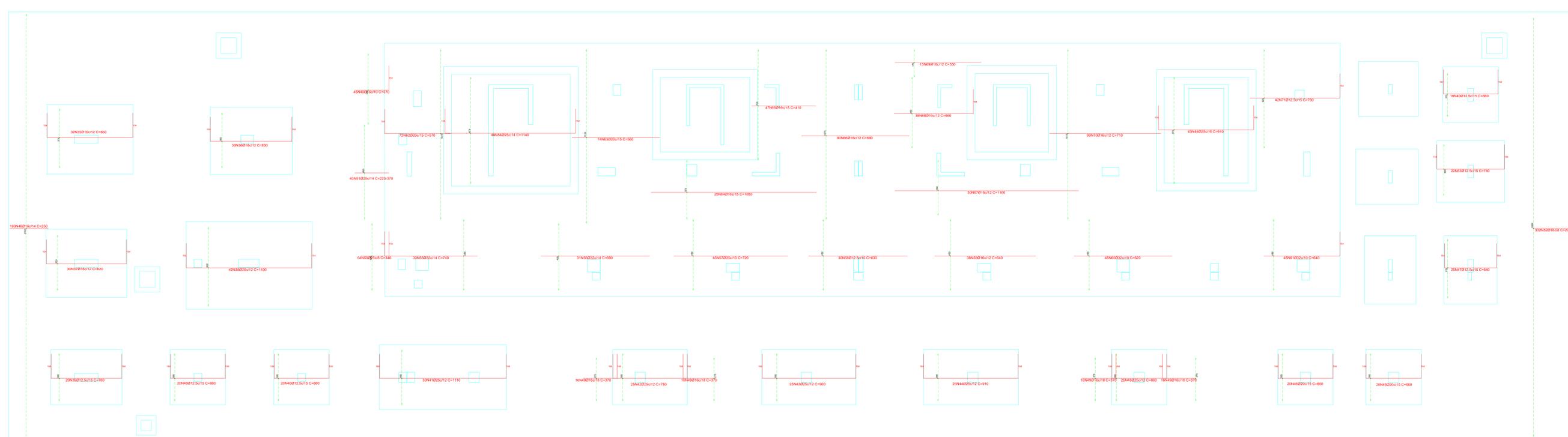
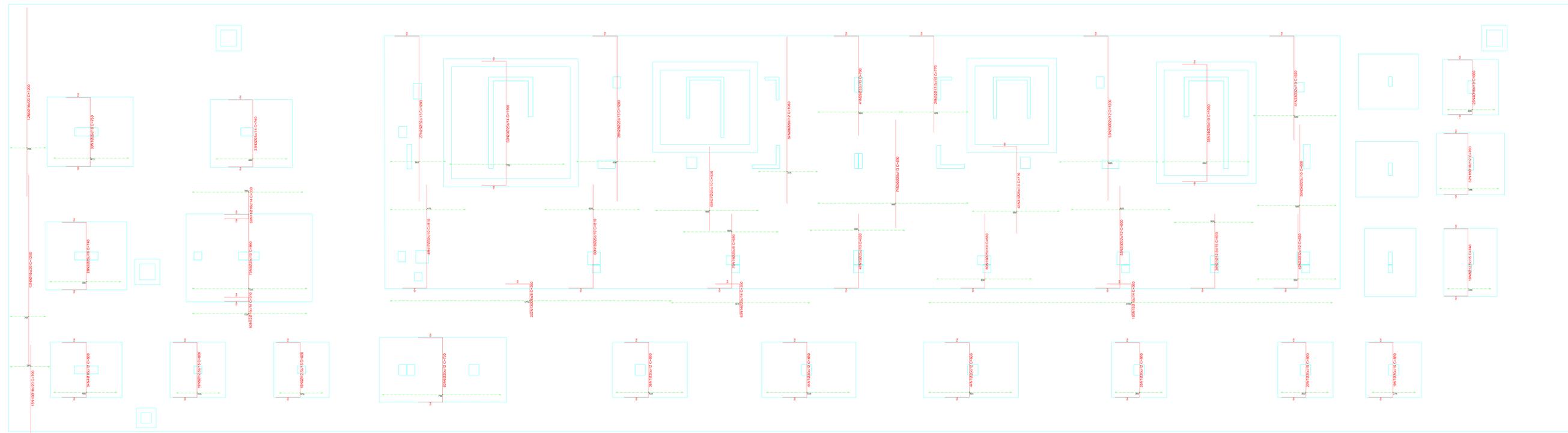
**PLOTAR EM A0 841X1158**

**CONFIGURAÇÕES**

1	1:50	1:50
2	1:50	1:50
3	1:50	1:50
4	1:50	1:50
5	1:50	1:50
6	1:50	1:50
7	1:50	1:50
8	1:50	1:50
9	1:50	1:50
10	1:50	1:50
11	1:50	1:50
12	1:50	1:50
13	1:50	1:50
14	1:50	1:50
15	1:50	1:50
16	1:50	1:50
17	1:50	1:50
18	1:50	1:50
19	1:50	1:50
20	1:50	1:50



**ARMADURA VERTICAL DE REFORÇO 2ª CAMADA INFERIOR**  
Esc.:1:80



**ARMADURA HORIZONTAL DE REFORÇO 2ª CAMADA INFERIOR**  
Esc.:1:80

Elemento	Pox	Diam.	Q.	Doa (cm)	Doa (cm)	Comp (cm)	Total (cm)	Vol (m³)
Armadura longitudinal inferior	1	Ø25	30	154	442	154	750	22900
	2	Ø25	62	154	432	154	740	45890
	3	Ø25	73	154	550	154	860	62790
	4	Ø16	59	154	352	154	660	38940
	5	Ø12,5	36	154	352	154	660	25660
	6	Ø20	63	154	412	154	720	45360
	7	Ø20	168	154	352	154	660	24860
	8	Ø12,5	19	154	432	154	740	14060
	9	Ø16	24	1200			1200	28600
	10	Ø16	13	720			720	9100
	11	Ø16	50	154	176		330	16500
	12	Ø16	52	154	156		310	16120
	13	Ø25	222	154	196		350	77700
	14	Ø20	63	154	196		350	22050
	15	Ø16	181	154	206		360	65680
	16	Ø16	32	154	392	154	720	22400
	17	Ø25	48	154	656		810	38980
	18	Ø25	60	154	656		810	48600
	19	Ø25	182	154	476		630	14660
	20	Ø32	53	154	646		800	42400
	21	Ø12,5	34	154	476		630	21420
	22	Ø32	42	154	476		630	26460
	23	Ø25	52	154	792	154	1100	57200
	24	Ø25	55	154	742	154	1050	57750
	25	Ø32	80	154	1046		1200	96000
	26	Ø25	39	154	1046		1200	46900
	27	Ø25	65	530			530	34450
	28	Ø20	32	1060			1060	33620
	29	Ø32	41	154	636		790	52390
	30	Ø25	74	690			690	51960
	31	Ø25	43	154	556		710	30530
	32	Ø12,5	29	154	616		770	22330
	33	Ø32	41	154	666		800	33620
	34	Ø25	50	680			680	34020
Total								159,56
Armadura transversal inferior	35	Ø16	32	154	542	154	850	27200
	36	Ø16	30	154	522	154	830	24900
	37	Ø16	30	154	512	154	800	24600
	38	Ø20	42	154	792	154	1100	46200
	39	Ø12,5	20	154	452	154	660	15200
	40	Ø12,5	59	154	352	154	660	38940
	41	Ø25	30	154	802	154	1110	33300
	42	Ø25	25	154	472	154	760	16500
	43	Ø25	25	154	592	154	900	22900
	44	Ø25	68	154	602	154	910	61800
	45	Ø25	25	154	352	154	660	16500
	46	Ø20	40	154	352	154	660	26400
	47	Ø12,5	25	154	332	154	640	16000
	48	Ø16	193	250			250	48250
	49	Ø16	159	154	216		370	40330
	50	Ø25	54	154	196		340	18360
	51	Ø25	43	996			996	12427
	52	Ø16	332	270			270	86640
	53	Ø12,5	22	154	432	154	740	16280
	54	Ø25	49	154	832	154	1140	50640
	55	Ø32	33	154	586		740	24420
56	Ø32	31	696			696	21360	
57	Ø25	45	720			720	32400	
58	Ø12,5	30	630			630	18900	
59	Ø16	36	640			640	24320	
60	Ø32	45	620			620	27900	
61	Ø32	45	486			486	20880	
62	Ø20	72	154	416		570	41040	
63	Ø20	74	560			560	41440	
64	Ø16	25	1050			1050	26250	
65	Ø16	47	410			410	19270	
66	Ø16	90	690			690	61200	
67	Ø16	30	1160			1160	34800	
68	Ø16	38	154	506		660	25080	
69	Ø16	15	950			950	8250	
70	Ø16	90	710			710	63900	
71	Ø12,5	42	154	576		730	30650	
Total								104,33

**REFERÊNCIAS**

- Normas Brasileiras
  - NBR 5738/2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
  - NBR 5739/2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
  - NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.
  - NBR 6122/2010 – Projeto de Execução de Fundações – Procedimento.
  - NBR 6494/2001 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio.
  - NBR 7180/2016 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação
  - NBR 8953/2015 – Concreto para fins Estruturais – Classificação por grupos de resistência.
  - NBR 12655/2015 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento.

**NOTAS**

- Concreto dos blocos provisórios:
  - Classe C40 de acordo com NBR 8953 (fck=40MPa).
  - Consumo mínimo de cimento de acordo com a NBR 12655 > 350kg/m³
  - Módulo de elasticidade > 32GPa.
  - Fator A/C, 0,45
  - Classe S220 de acordo com NBR 8953 (Abatimento > 220mm)
  - Agregado Grão: Brita 1 (<19mm).
  - Cobertura nominal da armadura: 4cm
- É necessário o controle do concreto com determinação da resistência à compressão por meio de corpos de prova, de acordo com a NBR 5739/2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
- Os resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova do concreto dos estacos deverão ser entregues ao projetista de fundações.
- Adesivo aditivo cristalinizante PENETRON ADMIX ou equivalente na quantidade de 0,8% em relação ao peso de cimento;
- A concretagem da laje deve ser feita em etapas estipuladas por tecnologia de concreto e autor do projeto a fim de minimizar as fissuras de retração;
- Todas as juntas de concretagem devem receber fita hidroexpansiva tipo FENEBAF SW-55, FENEBAF SW-45 ou equivalente.

**LEGENDA**

PROPRIETÁRIO

AUTOR DO PROJETO

REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	VISTO
02	REVISÃO EM ARMADURAS	02/05/2024	RENATO
01	REVISÃO EM ARMADURAS	01/05/2024	RENATO
00	EMISSÃO INICIAL	18/04/2024	RENATO

CLIENTE

OBRA

LOCAL

CÁLCULO

TÍTULO

DATA

DESENHO

ESCALA

FOLHA

PROJETO

INDICADA

008

REF 85-23

7609/D-DF

DETALHAMENTO DE ARMADURAS DO RADIER

18/04/2024

INDICADA

008

REF 85-23

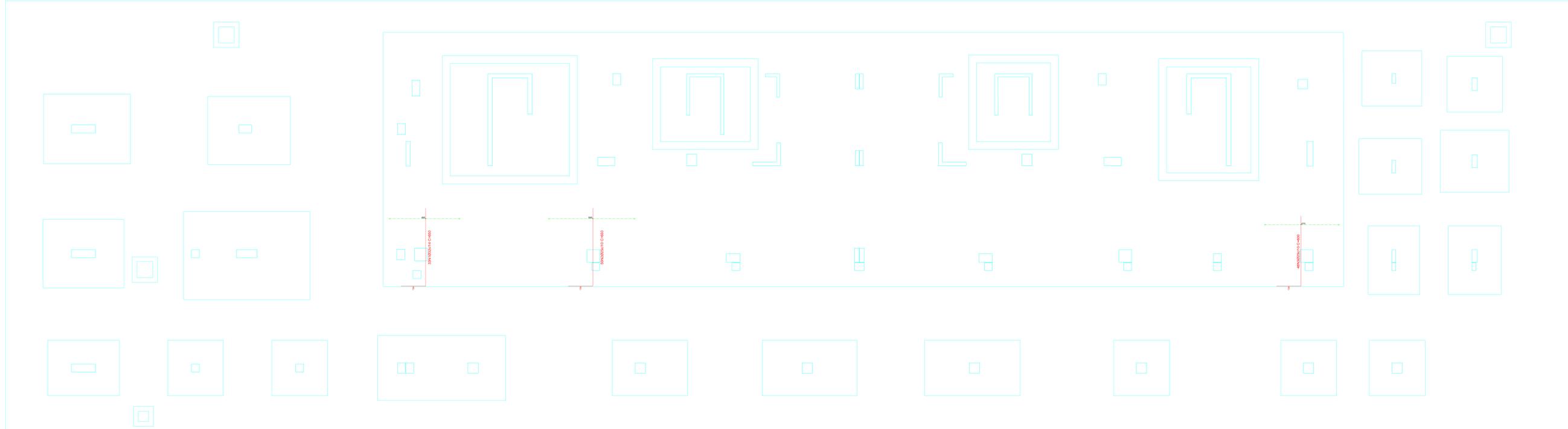
PLOTAR EM A0 841X1158

CONFIGURAÇÕES

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR
01	Formato	A0
02	Orientação	Horizontal
03	Linhas de Corte	Verdes
04	Linhas de Referência	Verdes
05	Linhas de Armadura	Verdes
06	Linhas de Detalhe	Verdes
07	Linhas de Referência	Verdes
08	Linhas de Armadura	Verdes
09	Linhas de Detalhe	Verdes
10	Linhas de Referência	Verdes
11	Linhas de Armadura	Verdes
12	Linhas de Detalhe	Verdes
13	Linhas de Referência	Verdes
14	Linhas de Armadura	Verdes
15	Linhas de Detalhe	Verdes
16	Linhas de Referência	Verdes
17	Linhas de Armadura	Verdes
18	Linhas de Detalhe	Verdes
19	Linhas de Referência	Verdes
20	Linhas de Armadura	Verdes
21	Linhas de Detalhe	Verdes
22	Linhas de Referência	Verdes
23	Linhas de Armadura	Verdes
24	Linhas de Detalhe	Verdes
25	Linhas de Referência	Verdes
26	Linhas de Armadura	Verdes
27	Linhas de Detalhe	Verdes
28	Linhas de Referência	Verdes
29	Linhas de Armadura	Verdes
30	Linhas de Detalhe	Verdes
31	Linhas de Referência	Verdes
32	Linhas de Armadura	Verdes
33	Linhas de Detalhe	Verdes
34	Linhas de Referência	Verdes
35	Linhas de Armadura	Verdes
36	Linhas de Detalhe	Verdes
37	Linhas de Referência	Verdes
38	Linhas de Armadura	Verdes
39	Linhas de Detalhe	Verdes
40	Linhas de Referência	Verdes
41	Linhas de Armadura	Verdes
42	Linhas de Detalhe	Verdes
43	Linhas de Referência	Verdes
44	Linhas de Armadura	Verdes
45	Linhas de Detalhe	Verdes
46	Linhas de Referência	Verdes
47	Linhas de Armadura	Verdes
48	Linhas de Detalhe	Verdes
49	Linhas de Referência	Verdes
50	Linhas de Armadura	Verdes
51	Linhas de Detalhe	Verdes
52	Linhas de Referência	Verdes
53	Linhas de Armadura	Verdes
54	Linhas de Detalhe	Verdes
55	Linhas de Referência	Verdes
56	Linhas de Armadura	Verdes
57	Linhas de Detalhe	Verdes
58	Linhas de Referência	Verdes
59	Linhas de Armadura	Verdes
60	Linhas de Detalhe	Verdes
61	Linhas de Referência	Verdes
62	Linhas de Armadura	Verdes
63	Linhas de Detalhe	Verdes
64	Linhas de Referência	Verdes
65	Linhas de Armadura	Verdes
66	Linhas de Detalhe	Verdes
67	Linhas de Referência	Verdes
68	Linhas de Armadura	Verdes
69	Linhas de Detalhe	Verdes
70	Linhas de Referência	Verdes
71	Linhas de Armadura	Verdes
72	Linhas de Detalhe	Verdes
73	Linhas de Referência	Verdes
74	Linhas de Armadura	Verdes
75	Linhas de Detalhe	Verdes
76	Linhas de Referência	Verdes
77	Linhas de Armadura	Verdes
78	Linhas de Detalhe	Verdes
79	Linhas de Referência	Verdes
80	Linhas de Armadura	Verdes
81	Linhas de Detalhe	Verdes
82	Linhas de Referência	Verdes
83	Linhas de Armadura	Verdes
84	Linhas de Detalhe	Verdes
85	Linhas de Referência	Verdes
86	Linhas de Armadura	Verdes
87	Linhas de Detalhe	Verdes
88	Linhas de Referência	Verdes
89	Linhas de Armadura	Verdes
90	Linhas de Detalhe	Verdes
91	Linhas de Referência	Verdes
92	Linhas de Armadura	Verdes
93	Linhas de Detalhe	Verdes
94	Linhas de Referência	Verdes
95	Linhas de Armadura	Verdes
96	Linhas de Detalhe	Verdes
97	Linhas de Referência	Verdes
98	Linhas de Armadura	Verdes
99	Linhas de Detalhe	Verdes
100	Linhas de Referência	Verdes



ARMADURA VERTICAL DE REFORÇO 3ª CAMADA INFERIOR  
Esc.:1:80



Elemento	Pos.	Diam.	Q.	Dob. (cm)	Reba (cm)	Dob. (cm)	Comp. (cm)	Total (cm)	CA-50 (kg)	CA-60 (kg)	
Armadura vertical inferior	1	Ø32	33	154	498	650	21450	1354.1			
	2	Ø25	50	154	498	650	39750	1377.6			
	3	Ø25	48	154	446	600	28800	1109.8			
Total+10%:								4225.7			
									Ø25:	2788.2	0.0
									Ø32:	1489.5	0.0
									Total:	4225.7	0.0

REFERÊNCIAS

- 1. Normas Brasileiras
- NBR 5738/ 2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.
- NBR 5739/ 2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
- NBR 6118/ 2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.
- NBR 6122/2010 – Projeto de Execução de Fundações – Procedimento.
- NBR 6494/2001 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio.
- NBR 7180/2016 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação
- NBR 8953/2015 – Concreto para fins Estruturais – Classificação por grupos de resistência.
- NBR 12555/2015 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento.

NOTAS

1. Concreto dos blocos provisórios:
  - Classe C40 de acordo com NBR 8953 (fck=40MPa).
  - Consumo mínimo de cimento de acordo com a NBR 12555 = 350kg/m³
  - Módulo de elasticidade > 32GPa.
  - Fator A/C: 0,45
  - Classe S220 de acordo com NBR 8953 (Abatimento> 220mm)
  - Agregado Graúdo: Brita 1 (<19mm).
  - Cobrimento nominal da armadura: 4cm
2. É necessário o controle do concreto com determinação da resistência a compressão por meio de corpos de prova, de acordo com a NBR 5739/ 2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
3. Os resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova do concreto das estacas deverão ser entregues ao projetista de fundações.
4. Acrescentar aditivo cristalinizante PENETRON ADMIX ou equivalente na quantidade de 0,8% em relação ao peso de cimento;
5. A concretagem da laje deve ser feita em etapas estipuladas por tecnologia de concreto e autor do projeto o fim de minimizar as fissuras de retração;
6. Todas as juntas de concretagem devem receber fita hidroexpansiva tipo FENEBAR SW-55, FENEBAR SW-45 ou equivalente.

LEGENDA

PROPRIETÁRIO \_\_\_\_\_  
AUTOR DO PROJETO \_\_\_\_\_

REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	VISTO
01	REVISÃO EM ARMADURAS	01/05/2024	RENATO
00	EMISSÃO INICIAL	18/04/2024	RENATO



CLIENTE \_\_\_\_\_  
OBRA \_\_\_\_\_  
LOCAL \_\_\_\_\_ PORTO ALEGRE-RS  
CÁLCULO \_\_\_\_\_ 7609/D-DF

TÍTULO: DETALHAMENTO DE ARMADURAS DO RADIER  
DATA: 18/04/2024 ESCALA: INDICADA FOLHA: 010 PROJETO: REF 85-23  
DESENHO: \_\_\_\_\_

CONFIGURAÇÕES
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

**ANEXO H – ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO  
IMPERMEABILIZADO**

Porto Alegre, 02 de janeiro de 2024.

À

Petrópolis - Porto Alegre/RS  
A/C:

## RELATÓRIO DE ENSAIO

Relatório: LT-2023/1215E

**Material ensaiado:** Corpos de prova de dimensão 15x30 cm moldados pela para realização do ensaio de penetração de água sob pressão, referentes aos traços desenvolvidos para a obra, identificados como “REF”, “Penetron 0,8%”, “Xypex 1%” e “Silium 0,8%”.

**Período de realização do ensaio:** 15 de dezembro de 2023 a 02 de janeiro de 2024.

### **Metodologia:**

Analogia à ABNT NBR 10787:2011 – Concreto endurecido - Determinação da penetração de água sob pressão - Procedimento de teste penetração de água - GT - Redutor de permeabilidade de 08/2021.

## RESULTADOS

### **1. PENETRAÇÃO DE ÁGUA SOB PRESSÃO**

O ensaio de penetração de água sob pressão foi realizado conforme especificado no procedimento de ensaio do GT redutor de permeabilidade de 08/2021, sendo a cura realizada conforme demonstrado na Figura 1.

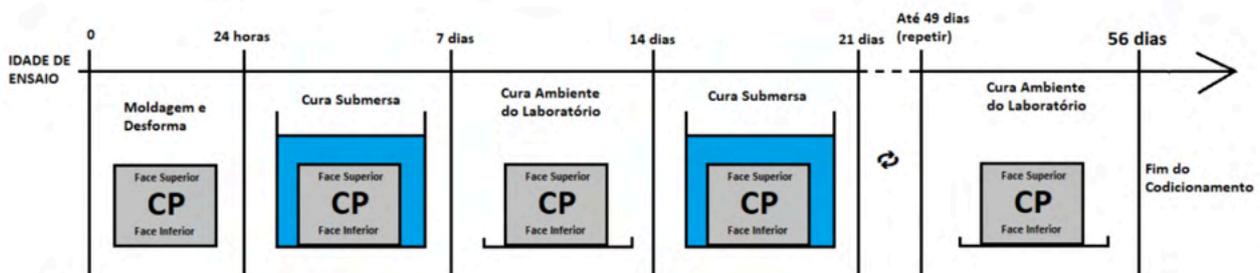


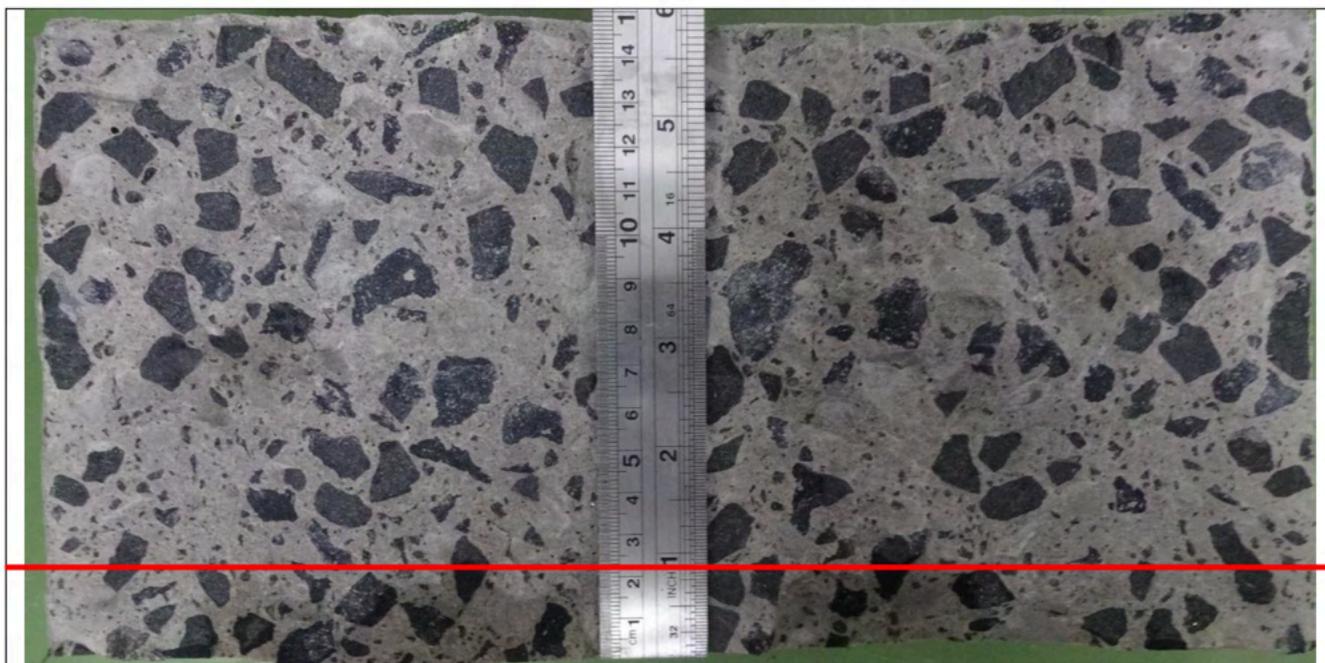
Figura 1 – Procedimento de cura dos corpos de prova.

Após o período de cura, os corpos de prova tiveram a superfície que recebeu a pressão desbastada com escova de aço e foram submetidos a períodos de pressão da seguinte maneira:

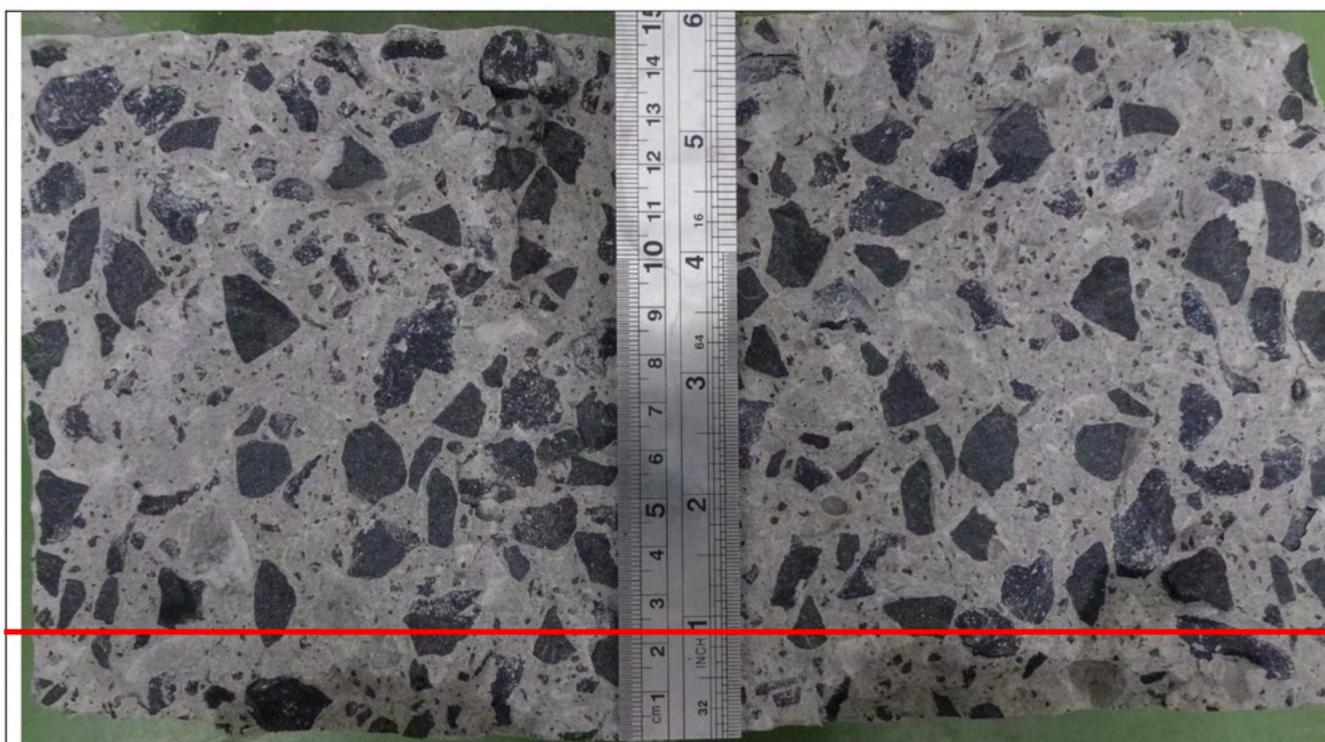
- Pressão de  $0,1 \pm 0,01$  MPa durante 48 horas;
- Pressão de  $0,3 \pm 0,03$  MPa durante 24 horas;
- Pressão de  $0,7 \pm 0,07$  MPa durante 11 dias.

Os resultados da penetração de água nos corpos de prova submetidos ao ensaio são apresentados a seguir:

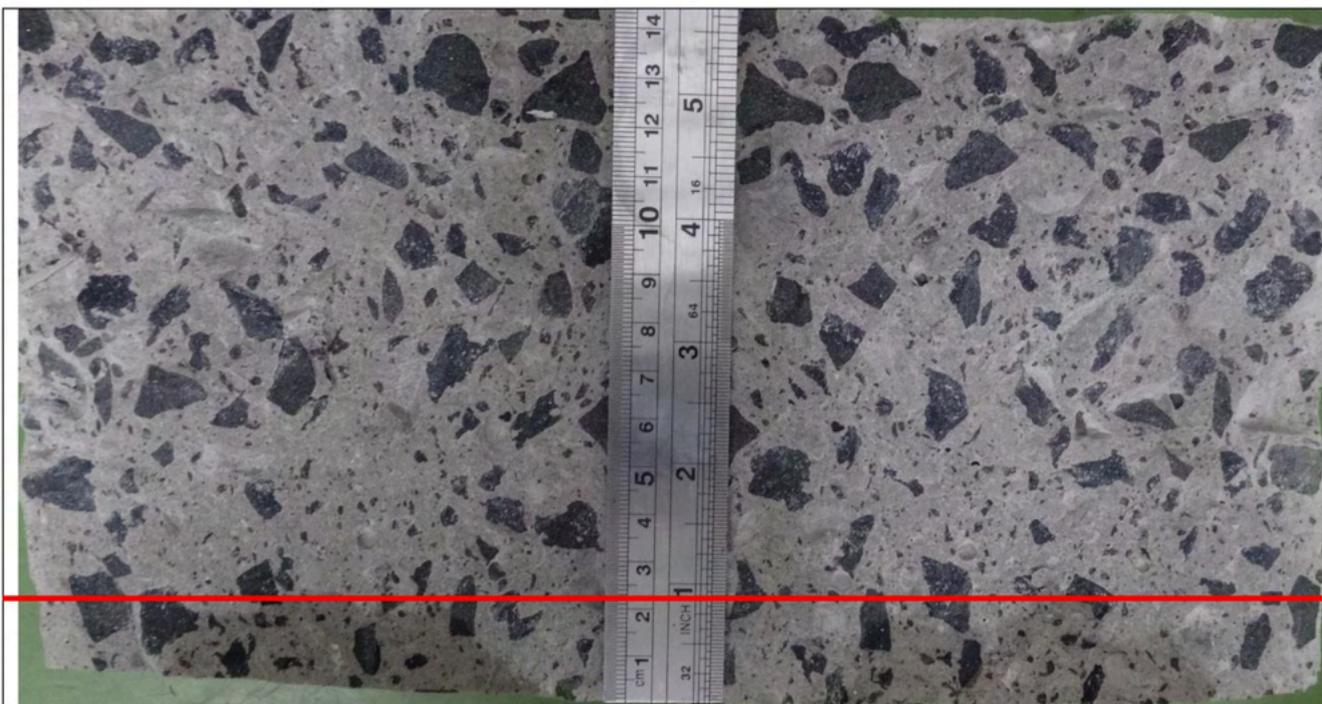
## 1.1 TRAÇO REF



CP 1 traço REF = penetração de água 22 mm.

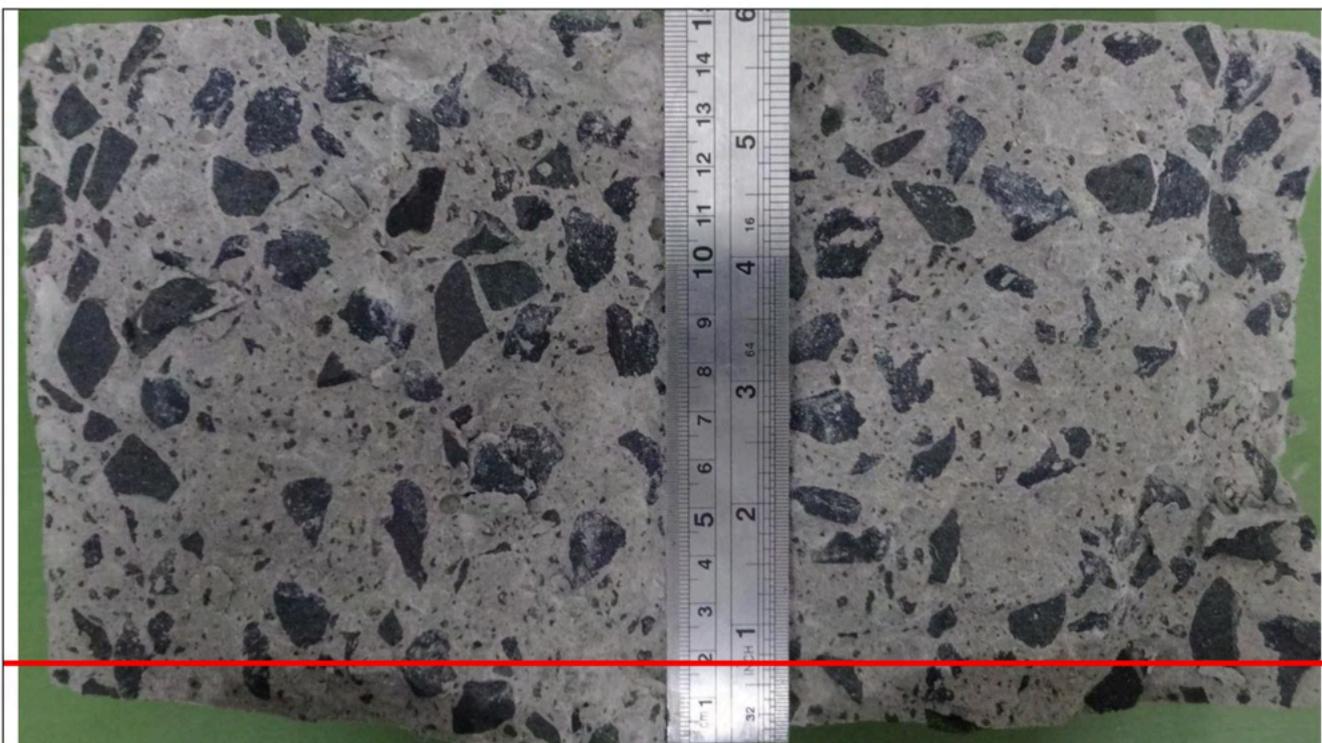


CP 2 traço REF = penetração de água 21 mm.



CP 3 traço REF = penetração de água 25 mm.

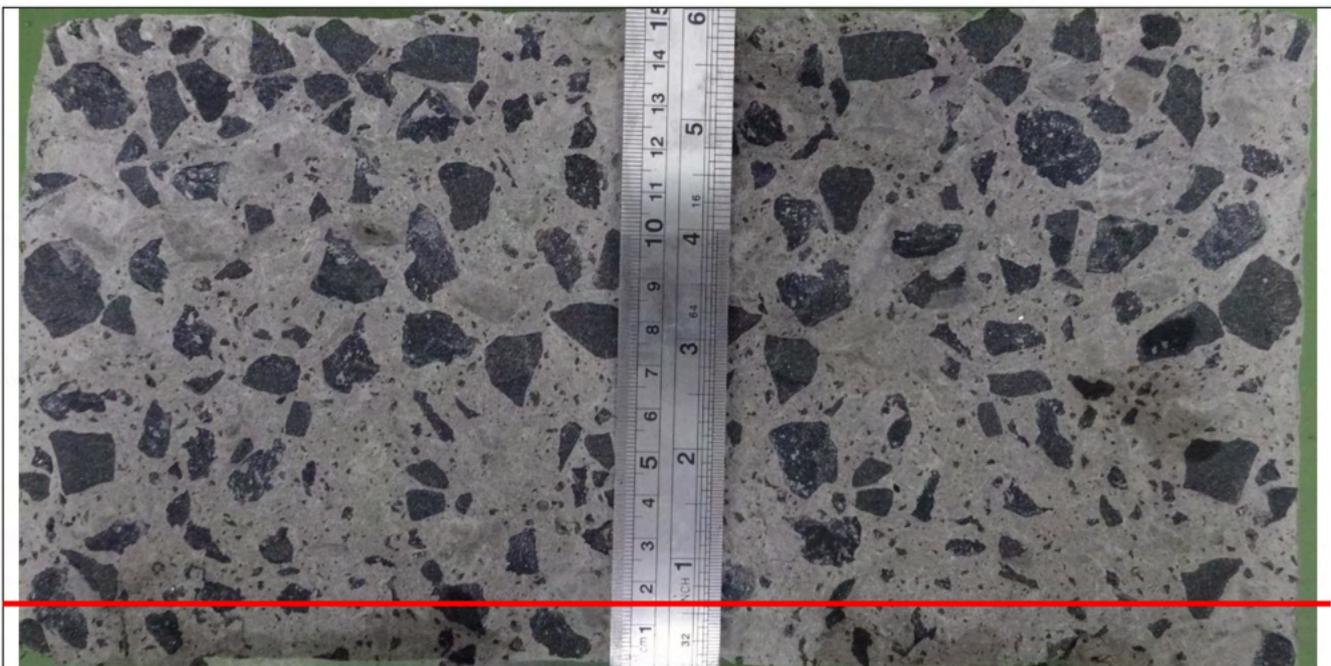
## 1.2 TRAÇO PENETRON 0,8%



CP 1 traço PENETRON = penetração de água 17 mm.

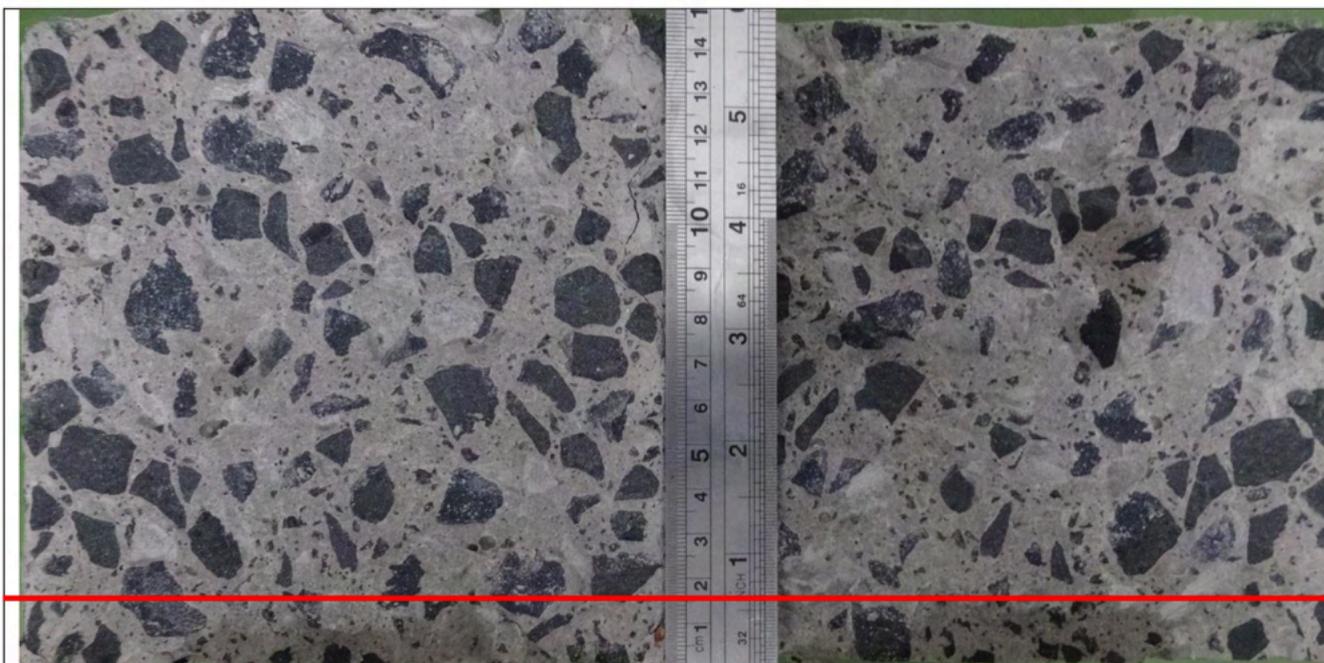


CP 2 traço PENETRON = penetração de água 16 mm.



CP 3 traço PENETRON = penetração de água 15 mm.

### 1.3 TRAÇO XYPEX 1%



CP 1 traço XYPEX = penetração de água 15 mm.

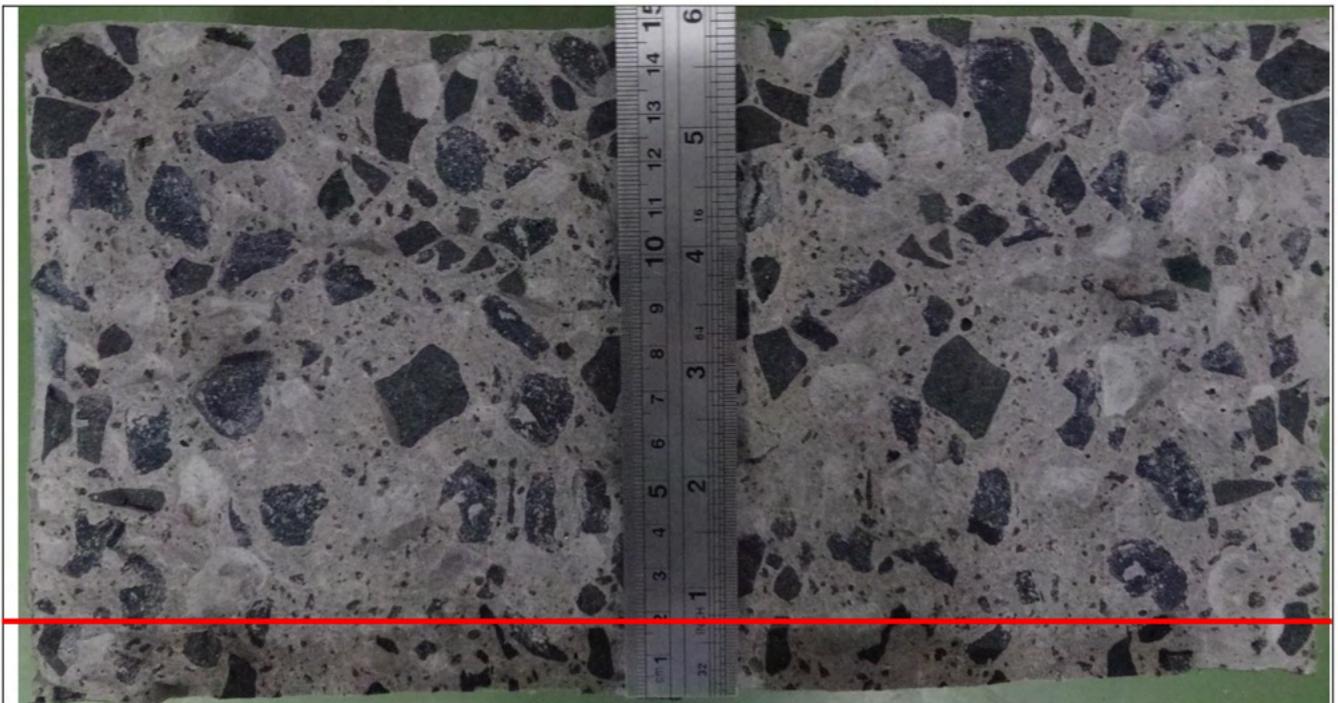


CP 2 traço XYPEX = penetração de água 21 mm.

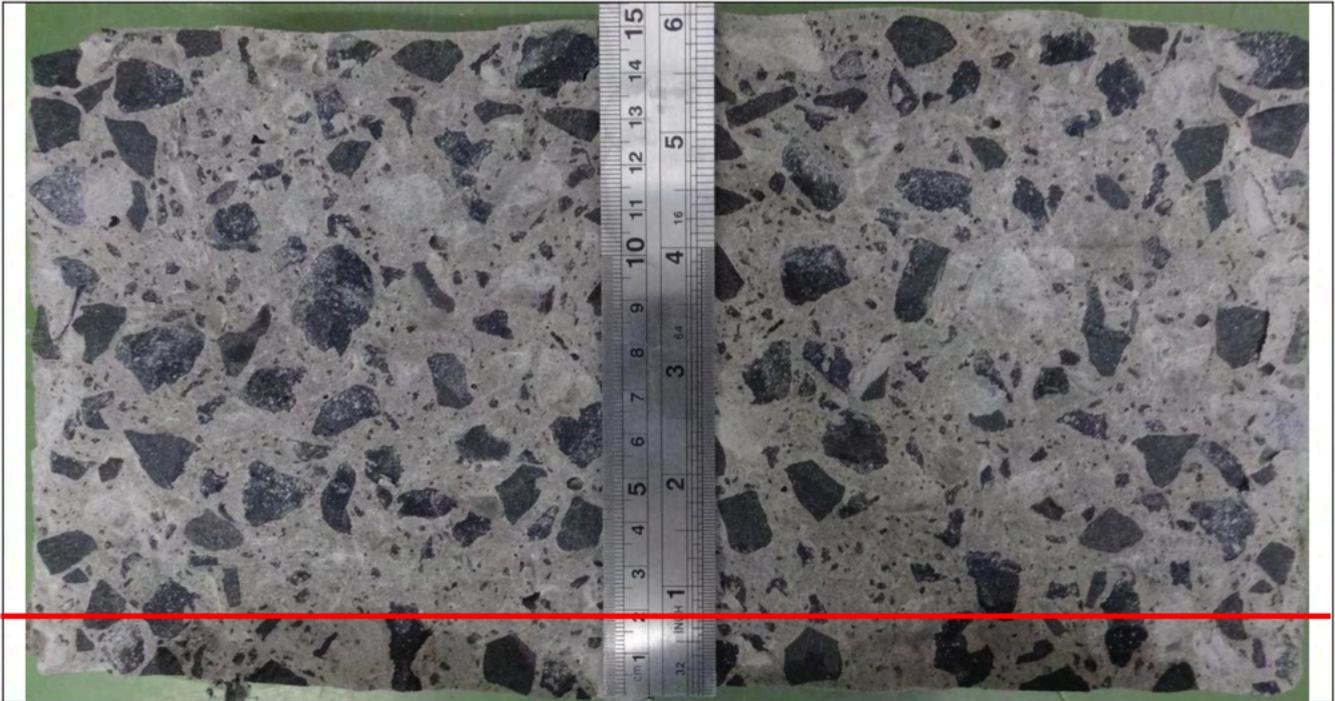


CP 3 traço XYPEX = penetração de água 18 mm.

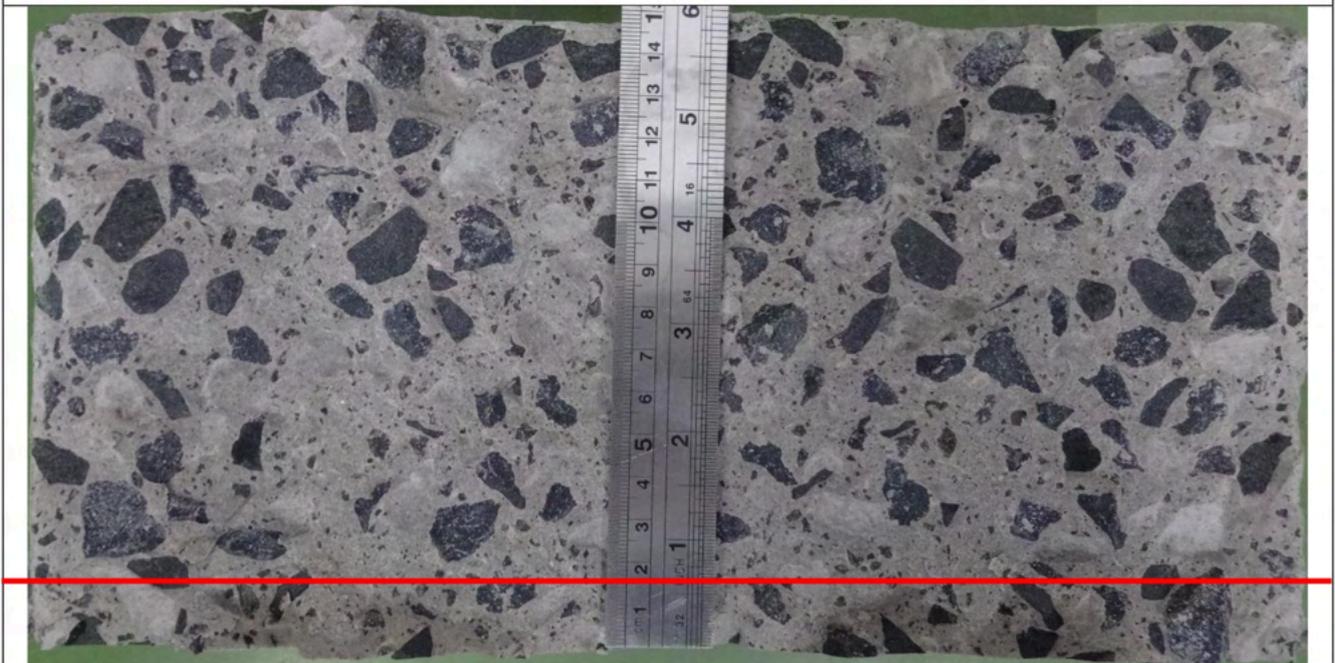
#### 1.4 TRAÇO SILIUM 0,8%



CP 1 traço SILIUM = penetração de água 19 mm.



CP 2 traço SILIUM = penetração de água 19 mm.



CP 3 traço SILIUM = penetração de água 15 mm.

Resumo das medidas obtidas:

Penetração de água sob pressão - mm			
Traço	CP	Individual	média
REF	1	22	23
	2	21	
	3	25	
PENETRON 0,8%	1	17	16
	2	16	
	3	15	
XYPEX 1%	1	15	18
	2	21	
	3	18	
SILIUM 1%	1	19	18
	2	19	
	3	15	

Tabela 3 – Penetração de água após 14 dias sob pressão.

### **CONDIÇÕES DO ENSAIO**

#### **Equipamentos:**

000038 – Prensa 100 t; Marca: Solotest; Modelo: 16451; Certificado de Calibração: 0094/23; Data de Calibração 26/04/2023

000009 - Balança Eletro-mecânica; Marca: DIGITRON; Modelo: UM 10/1; Certificado de Calibração: 11400/23; Data de Calibração: 25/04/2023

000036 - Manômetro digital; Marca: Zurich, Modelo Z.10.B 3A 14N; Certificado de Calibração: 80969/22; Data de Calibração: 21/10/2022.

### **OBSERVAÇÕES FINAIS**

- OS RESULTADOS REFEREM-SE SOMENTE AO(S) ITEM(NS) ENSAIADO(S).
- OS RESULTADOS AQUI APRESENTADOS NÃO PODEM SER UTILIZADOS INDISCRIMINADAMENTE E SÃO VÁLIDOS SOMENTE NO ÂMBITO DESTE DOCUMENTO, SENDO VEDADA SUA REPRODUÇÃO PARCIAL. A GENERALIZAÇÃO DOS RESULTADOS PARA QUALQUER LOTE/UNIVERSO SERÁ DE RESPONSABILIDADE DO CLIENTE.

Cordialmente,