DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/67

Execução de Estacas Barrete atravessando matacões com a utilização de Hidrofresa

Gabriel Moisés Pereira da Costa
Estagiário de engenharia, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, gabriel.costa@geofix.com.br

Thiago Augusto Moreira Costa
Engenheiro Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, thiago.costa@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas
Engenheiro Civil Geotécnico, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

RESUMO: Este artigo detalha a utilização da Hidrofresa na execução das Estacas Barrete em um empreendimento localizado próximo ao Rio Pinheiros, São Paulo/SP. O projeto demandou fundações profundas com embutimento em rocha devido ao complexo perfil geotécnico local que inclui camadas de aterro, solos aluvionares, solo residual de alta resistência e rocha. As estacas, com seções variando entre 80x250 cm e 120x250 cm foram executadas apenas com Clamshell, enquanto as de seções entre 80x315 cm e 120x315 cm demandaram a metodologia com Hidrofresa para atravessar matacões e embutir no topo rochoso. Os parâmetros executivos foram definidos a partir da análise das sondagens a percussão (SPT) e mistas (a percussão e rotativas), permitindo ajustes operacionais conforme a variação das camadas do solo e rocha. Os resultados em campo demostram que o conjunto de decisões técnicas, adotadas a partir do estudo dos projetos e sondagens do caso em questão, como escolha de equipamentos e critérios de controle, viabilizaram o embutimento em material competente para atender as altas cargas de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrofresa, Estaca Barrete, Embutimento em rocha.

ABSTRACT: This article details the use of the Hydromill in the execution of barrette piles for a project located near the Pinheiros River, São Paulo/SP. The project required deep foundations with rock socketing due to the complex local geotechnical profile, which includes layers of backfill, alluvial soils, high-strength residual soil, and rock. Piles with sections ranging from 80x250 cm to 120x250 cm were executed using only a Clamshell, while those with sections between 80x315 cm and 120x315 cm required the Hydromill methodology to cut through boulders and achieve rock socketing. Execution parameters were defined based on the analysis of standard penetration test (SPT) and mixed Soil boring (percussion and rotary), allowing for operational adjustments according to the variations in the soil and rock layers. Field results demonstrate that the set of technical decisions, adopted from the study of the project designs and borings, such as equipment selection and control criteria, made it possible to socket the piles into competent material to meet the design loads.

KEYWORDS: Hydromill, bored piles, rock socketing.

1 INTRODUÇÃO

Segundo as diretrizes da norma ABNT NBR 6122 e do Manual da ABEF, as Estacas Barrete têm como função transmitir cargas muito elevadas ao solo, resistindo excepcionalmente a grandes esforços de compressão, forças horizontais e momentos fletores. A adoção dessa solução é especialmente indicada em

perfis geológicos complexos, a exemplo da bacia do Rio Pinheiros, onde espessas camadas superficiais de solos moles transicionam bruscamente para um embasamento rochoso com frequente presença de matacões. Nesse cenário, as Estacas Barrete viabilizam a transposição dos solos de baixa resistência, garantindo que a fundação alcance e se apoie firmemente no maciço rochoso.

O estudo de caso apresentado neste artigo baseia-se na obra de fundação de um complexo multiuso de grande porte localizado na região da Chácara Santo Antônio, próximo à Marginal Pinheiros, em São Paulo. O projeto atua como um marco de transformação urbana local, integrando áreas residenciais, espaços comerciais, um teatro e as novas instalações de um supermercado. O grande destaque do complexo é a sua torre corporativa principal, que atinge a marca de 219 metros de altura distribuídos em 39 andares, consolidando-se como o edifício corporativo mais alto da capital paulista. A extrema magnitude da superestrutura transfere para o solo cargas verticais excepcionais. Essa altíssima solicitação estrutural, somada à complexidade geológica típica da bacia do Rio Pinheiros, tornou necessária a adoção de Estacas Barrete de grandes dimensões e o seu profundo engastamento no maciço rochoso.

Para enfrentar essa complexidade geológica, adota-se o método misto. A escavação inicia com o Clamshell, que remove rapidamente as camadas de solo menos resistentes. O desafio surge ao atingir os matacões (impenetráveis à percussão), momento em que a Hidrofresa assume o serviço para triturar a rocha e garantir a profundidade de projeto.

A operação da Hidrofresa exige o uso da lama bentonítica. Diferente do método convencional, onde a reciclagem ocorre no final, o tratamento aqui é contínuo, conforme a máquina escava, uma bomba de sucção já envia a lama misturada com os detritos direto para a Central Recicladora.

2 A TECNOLOGIA DE ESCAVAÇÃO POR HIDROFRESA: EQUIPAMENTO FD60

A Hidrofresa é um equipamento desenvolvido especificamente para viabilizar a execução de fundações profundas de alta complexidade, como Parede Diafragma e Estacas Barrete em perfis geológicos desafiadores. No estudo de caso em questão, empregou-se o modelo Casagrande FD60. Trata-se de uma ferramenta de dimensões robustas com altura aproximada de 15 metros, largura de 3,15 metros e um peso operacional que pode atingir 37 toneladas.



Figura 1 e 2. Rodas de Escavação e Máquinarios utilizados (Fonte: Obra de complexo de multiuso).

O princípio de funcionamento baseia-se na escavação contínua do maciço e na extração do material por um sistema de circulação reversa. Para isso, na extremidade inferior da ferramenta, rodas de escavação tracionadas por duas correntes de transmissão realizam o corte direto do material. Como essas correntes também são equipadas com seus próprios bits de perfuração, garante-se o preenchimento dos vãos entre as rodas, assegurando a escavação de toda a seção transversal.

Integrada a esse sistema de corte, uma potente bomba centrífuga com capacidade de sucção de 450 m³/h fica posicionada na estrutura da fresa, logo acima dos tambores. Sua função é aspirar o fluído estabilizante misturado aos detritos da rocha e enviá-lo à Central Recicladora através de mangotes reforçados. Essa circulação reversa minimiza o acúmulo de material no fundo da vala, otimizando o avanço e prevenindo a contaminação do concreto durante o lançamento.

Durante todo o processo de escavação, o controle de verticalidade é realizado por um conjunto de seis placas direcionais de aço (*flaps*). O operador acompanha a escavação por meio de monitores na cabine que exibem, em tempo real, os eventuais desvios nos eixos X, Y e na rotação em Z. Ao acionar os *flaps*, as placas pressionam as paredes da escavação, corrigindo a trajetória do equipamento de forma contínua e segura.

3 TRATAMENTO E PRODUÇÃO DO FLUÍDO ESTABILIZANTE

A escavação com Hidrofresa exige atenção rigorosa ao tratamento da lama bentonítica. Operacionalmente, a ferramenta requer uma pré-escavação de pelo menos 5 metros para garantir a submersão completa de sua bomba de detritos.

Durante o avanço, o tratamento do fluído é contínuo, a bomba suga a mistura de lama, rocha e solo, enviando-a diretamente à Central Recicladora. Nesse local, os resíduos maiores são separados por peneiramento mecanizado, enquanto dois ciclones e uma centrífuga de apoio retiram as partículas finas em suspensão. No entanto, ao atravessar camadas de argilas muito finas, a lama pode atingir seu ponto de saturação, tornando o tratamento inviável e exigindo o seu descarte obrigatório.

Diante dessa dinâmica operacional, o ciclo de fluídos na obra baseia-se em três cenários distintos, o descarte da lama ruim, o armazenamento da lama adequadamente tratada e a produção contínua de lama nova. Para suportar essa demanda volumétrica, foram mobilizados 8 silos e 8 caixas de contenção (aproximadamente 500 m³) para lama de retorno, lama nova, água e tratamento/descarte. Além disso, a central recicladora conta com mais 4 caixas (~ 140 m³) para a operação.

A lama nova, após ser hidratada no misturador de bentonita, é distribuída por uma rede de alimentação composta por diversos tubos e mangotes. Para gerenciar a movimentação e garantir a pressão dessa vasta central, empregou-se um sistema composto por três bombas interligadas (conjunto denominado "Tribomba"), assegurando o fluxo contínuo e o direcionamento da lama para as frentes de escavação.

Todo esse esforço logístico e mecânico visa garantir que a lama inserida e mantida na vala atenda aos rigorosos parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas. A Tabela 1 apresenta as características exigidas para a aceitação da lama bentonítica.

Tabela 1. Características para Lama Bentonítica (Fonte: ABNT NBR 6122/2019).

Propriedades	Valores	Equipamentos para ensaio
Densidade	1,025 g/cm³ a 1,10 g/cm³	Densímetro
Viscosidade	30 s/qt a 90 s/qt	Funil Marsh
pH	7 a 11	Indicador de pH
Teor de areia	Até 3%	Baroid sand Content ou similar



Figura 3. Central Recicladora (Fonte: Assist. de Engenharia Victor Silva, obra de complexo de multiuso).

4 ESTUDO DE CASO: A EXECUÇÃO DA ESTACA P3B

A aplicação prática do método executivo misto e o desempenho dos equipamentos puderam ser validados através do acompanhamento detalhado da Estaca Barrete P3B. Este elemento de fundação, com seção transversal de 1,20 m por 3,15 m, foi projetado para suportar severas solicitações estruturais, exigindo o seu embutimento profundo em maciço rochoso.

As investigações geotécnicas prévias já alertavam para a complexidade da perfuração. A sondagem SP-134 acusou a presença de matacão impenetrável à percussão aos 18,30 m de profundidade.

A execução da estaca iniciou-se na cota 721,40 m. A primeira fase, correspondente à escavação em solo, foi realizada com o Clamshell. O equipamento atingiu a cota 714,36 m, escavando um trecho de 7,04 m em 2 horas e 20 minutos. Este desempenho resultou em uma produtividade média de 3,02 m/h nesta etapa.

A partir da cota 714,36 m, o Clamshell foi substituído pela Hidrofresa FD60 para realizar a passagem da camada de alteração de rocha e dos matacões. O equipamento operou continuamente até a cota de ponta final de 694,05 m. Para escavar esse trecho crítico de 20,31 m de material impenetrável, a Hidrofresa demandou 16 horas e 30 minutos de trabalho. A taxa média de avanço foi de 1,23 m/h, um resultado considerado satisfatório.

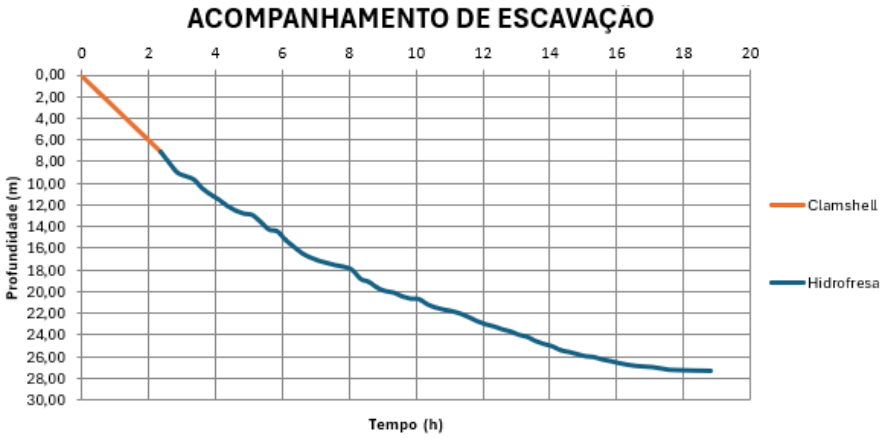


Figura 4. Acompanhamento de Escavação (Fonte: Assist. de Engenharia Victor Silva, obra de complexo de multiuso).

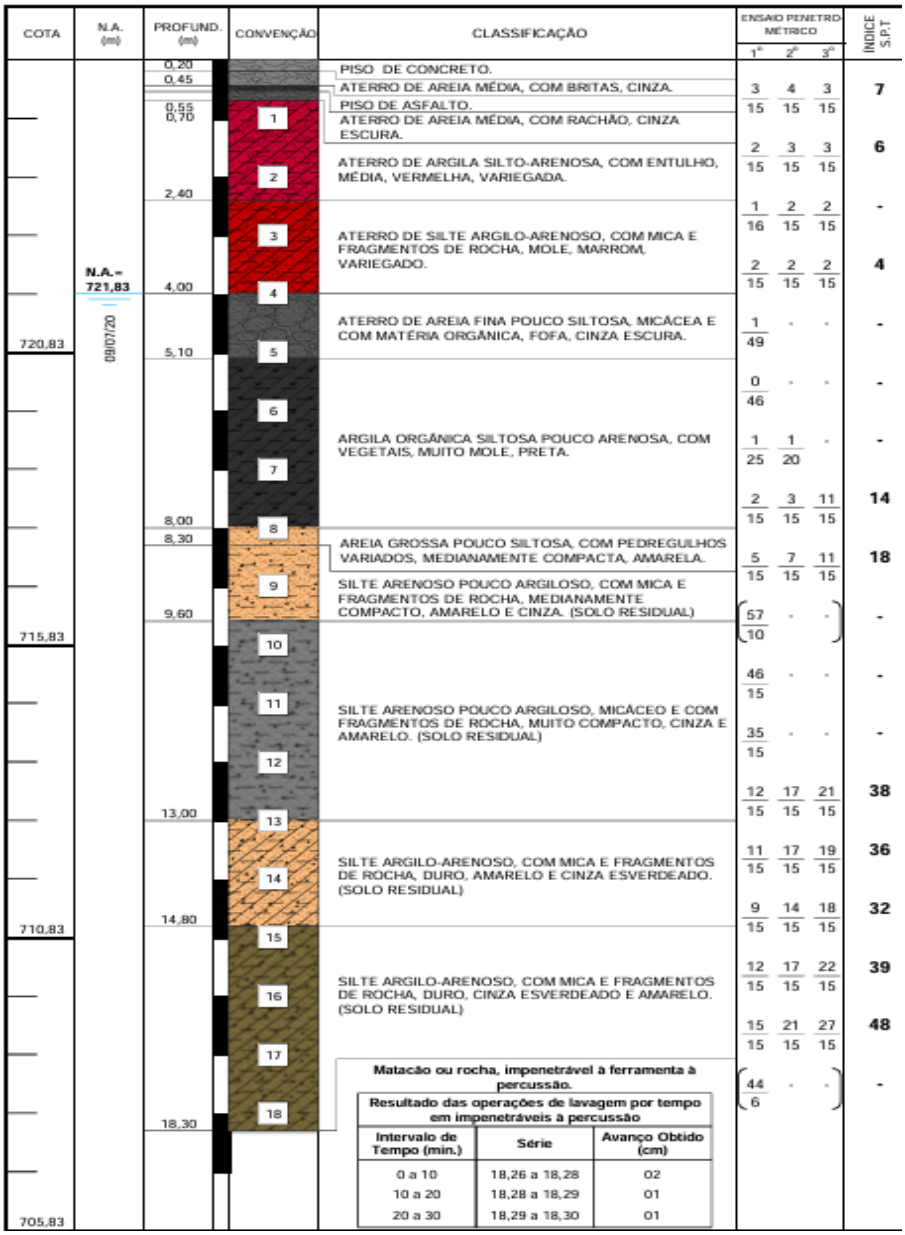


Figura 5. Sondagem SP-134 (Projeto Executivo de Sondagem, obra de complexo de multiuso).

4.1 Concretagem e Controle de Volume

Para garantir a integridade estrutural e a trabalhabilidade necessárias à concretagem submersa via tubo tremonha, utilizou-se um traço de concreto criteriosamente dosado. O material fornecido atendeu à especificação de resistência característica (Fck) ≥ 30 MPa, fator água/cimento < 0,60 e consumo mínimo de cimento de 350 kg/m³.

O controle final de qualidade do elemento de fundação é corroborado pela análise volumétrica. Para os 27,35 m escavados, o volume geométrico teórico calculado foi de 103,38 m³. Ao final da operação, registrou-se a aplicação real de 128,00 m³ de concreto. Esse sobreconsumo (aproximadamente 23,8%) reflete a "perda" natural esperado ao se atravessar trechos de solo mole, mantendo-se dentro de parâmetros aceitáveis de segurança e atestando o preenchimento da seção escavada

5 DESAFIOS LOGÍSTICOS E FROTA DE EQUIPAMENTOS

A definição da metodologia de escavação em perfis geotécnicos complexos não se limita apenas à resistência do maciço, mas é fortemente condicionada pela geometria das ferramentas e pela logística do canteiro de obras. No projeto em questão, as estacas barrete possuíam variações em suas seções transversais, exigindo planejamento rigoroso na alocação dos equipamentos.

A Hidrofresa FD60 possui uma largura fixa de 315 cm. Consequentemente, para os elementos projetados com dimensões variando entre 80x250 cm e 120x250 cm, a utilização da fresa tornou-se geometricamente inviável. Nesses casos, a escavação foi conduzida integralmente com o uso do Clamshell e dimensionados para resistir aos esforços apenas com a escavação em solo (trecho da obra que permitiu essa solução). A Hidrofresa, portanto, foi designada exclusivamente para a execução das estacas mais robustas, cujas seções transversais variaram entre 80x315 cm e 120x315 cm.

A variação na espessura das estacas (alternando entre 80, 100 e 120 cm) impôs outro desafio, a necessidade de adaptação física das ferramentas de corte. Para a Hidrofresa, a alteração de espessura exige a substituição das rodas de escavação e das placas de guiagem. Devido às dimensões e ao peso do equipamento, o transporte frequente da ferramenta para fora do empreendimento era logisticamente inexequível. Assim, toda a desmontagem e adaptação da FD60 foram realizadas por equipes de manutenção dentro do próprio canteiro de obras (aproximadamente 1 semana de trabalho). Em contrapartida, por apresentar maior facilidade de transporte e manuseio, o Clamshell passava por essas adaptações dimensionais em oficinas externas, otimizando o espaço útil e o cronograma da obra.

Para suportar essa complexa dinâmica de métodos mistos, o canteiro operou com uma frota de maquinário pesado atuando em sinergia. A fase inicial de escavação em solo foi executada por uma diafragmadora hidráulica modelo Bauer GB50, que operou o Clamshell.

Para a fase de avanço em rocha, empregou-se um guindaste Casagrande C900, atuando como máquina base para sustentar e operar a Hidrofresa FD60. Dando suporte a toda a operação, um guindaste modelo Fuwa QUY80 foi mobilizado para o auxílio geral no canteiro, sendo peça fundamental na logística de movimentação das armações e na descida dos tubos tremonha para a concretagem submersa.

5.1 Desafios Operacionais e o Impacto do Solo Mole na Lama Bentonítica

O tipo de solo da região trouxe um desafio prático muito grande para o tratamento da lama bentonítica. Analisando o perfil da sondagem mista SM-208, nota-se que a escavação passou por camadas muito espessas de solo fino. Encontramos um trecho de areia argilosa (solo mole aluvionar) entre as cotas 3,90 m e 11,20 m, seguido por uma argila siltosa que se estendia até os 15,80 m de profundidade.

Essa grande quantidade de material fino acabou se misturando na lama bentonítica durante a escavação, fazendo com que ela "engrossasse" muito rápido. Com a densidade e a viscosidade muito altas, a central recicladora não conseguia mais dar conta de separar os resíduos sozinha para que a lama voltasse aos padrões exigidos pela norma. A saída encontrada no canteiro foi usar uma centrífuga de apoio o tempo todo. A centrífuga separava o material mais fino da mistura, que a central recicladora não era capaz de retirar, reduzindo assim a viscosidade e a deixando apta para a utilização. Quando a lama já estava muito saturada e não servia mais para uso, era enviada para o descarte adequado através de caminhões limpa-fossa.

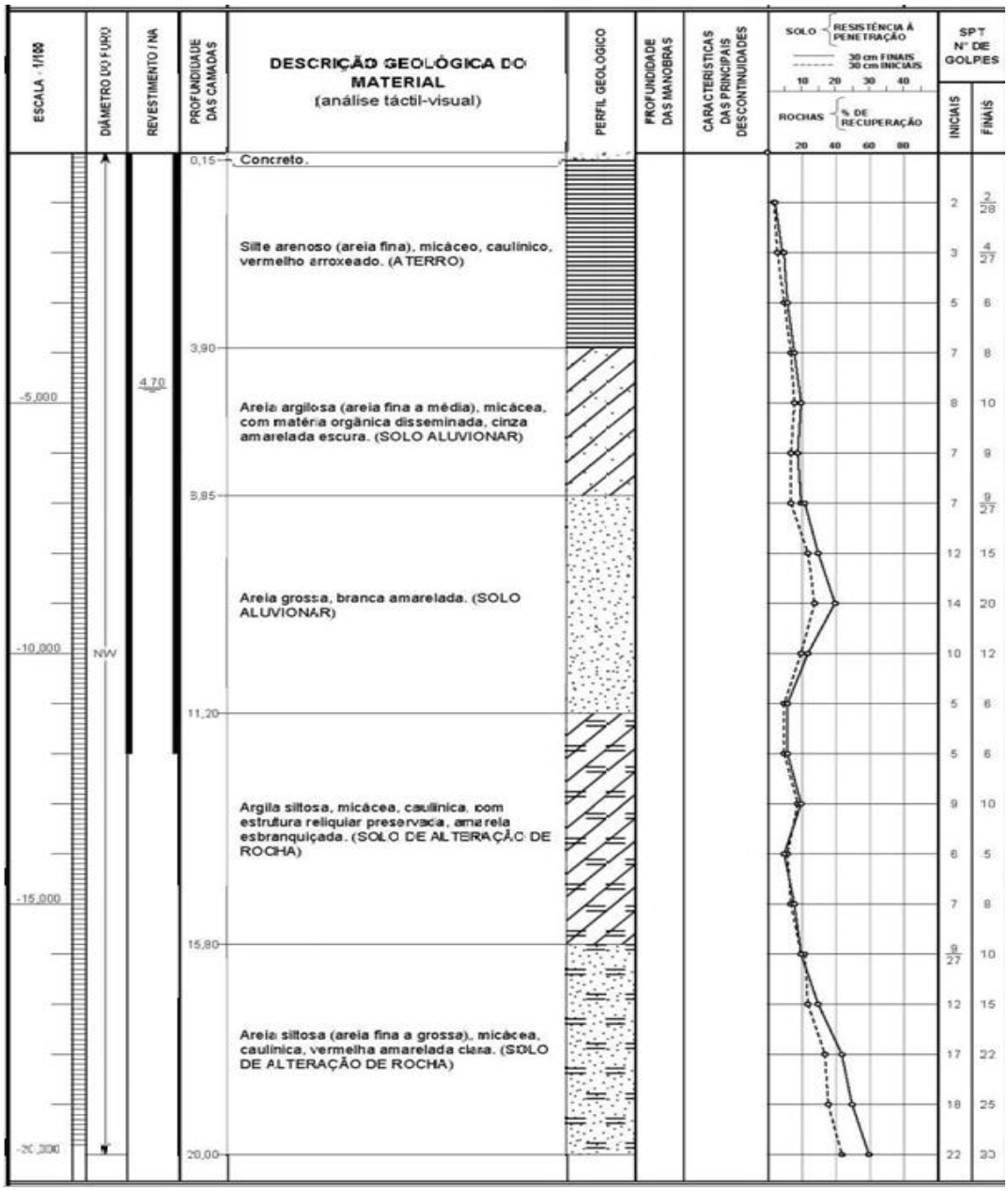


Figura 6. Sondagem SM-208 (Projeto Executivo de Sondagem, obra de complexo de multiuso).

5.2 Instabilidade do Terreno, Reforço das Muretas Guia e Plataforma de Trabalho

Além da contaminação da lama, a camada superficial de solo mole gerou outro problema, a instabilidade do próprio terreno. Como a parte superior do solo não tinha resistência suficiente, as muretas guia das estacas barrete começaram a sofrer recalques (afundar). Isso era um risco enorme, pois as muretas são fundamentais para direcionar a ferramenta nos primeiros metros e dar suporte às bordas da escavação. Junto a isso, o simples trânsito das máquinas pelo canteiro, que são extremamente pesadas, como o guindaste da hidrofresa, tornou-se uma operação perigosa, com risco constante de afundamento dos equipamentos.

Para garantir a qualidade das estacas, a decisão tomada na obra foi drástica, todas as muretas guia iniciais foram removidas e refeitas. Essa nova estrutura foi construída de forma muito mais reforçada, utilizando barras de aço de maior diâmetro e concretadas em blocos maiores e mais robustos, o que ajudou a distribuir melhor as cargas no solo fraco. Além disso, o solo mole do entorno das muretas foram substituídos por argamassa até pelo menos 50 cm abaixo da base onde eram apoiadas.

Já para solucionar o problema da movimentação das máquinas, foi preciso preparar o terreno do canteiro. Executamos uma camada de aproximadamente 80 cm de espessura de rachão (pedras de grande porte) sobre o solo mole forrado com bica corrida para intravá-los. Esse "tapete" de pedra funcionou como uma plataforma de trabalho, travando o solo superficial e garantindo total segurança e estabilidade para o trânsito pesado dos guindastes, diafragmadoras e caminhões betoneira durante toda a fundação.

6 CONCLUSÃO

A análise do estudo de caso e o acompanhamento logístico do canteiro de obras permitem concluir que a complexidade geológica da bacia do Rio Pinheiros, especialmente a presença de matacões e o topo rochoso irregular, impõe limites severos aos métodos convencionais de fundação. Embora a escavação com Clamshell tenha se mostrado produtiva e viável nas camadas superiores de solo (atingindo marcas de 3,02 m/h), a sua recusa técnica ao encontrar o maciço rochoso inviabilizaria o engastamento profundo exigido pelas altas cargas estruturais do projeto.

Neste cenário, a adoção do método executivo misto provou-se técnica e operacionalmente justificada. A introdução da Hidrofresa FD60 superou a barreira do material impenetrável à percussão, mantendo uma taxa de avanço média satisfatória de 1,23 m/h através de mais de 20 metros contínuos de rocha alterada e matacões. Essa tecnologia, operando pelo princípio de escavação contínua e circulação reversa, garantiu não apenas a escavação, mas a preservação da geometria da vala e o rigoroso controle de verticalidade.

Além disso, o estudo evidencia que o sucesso do método está intrinsecamente ligado a um robusto planejamento logístico e tecnológico. A necessidade de centrais de tratamento de fluídos de alta capacidade reforça que a estabilização da área escavada e o transporte de detritos exigem um controle contínuo e rigoroso, atendendo plenamente à norma ABNT NBR 6122. As adaptações dimensionais das ferramentas demonstram a importância da versatilidade operacional da equipe em campo.

Por fim, a concretagem integral da estaca barrete P3B, atingindo os 27,35 metros de profundidade, e apresentando um sobreconsumo controlado, atesta a integridade do elemento estrutural executado. Conclui-se, portanto, que a sinergia entre o maquinário adequado e o rigoroso controle de qualidade viabilizou o engastamento em rocha, garantindo a transferência segura e o suporte à carga extrema de 1829 tf, pilar fundamental para a estabilidade do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. (2022). *Manual de execução de fundações: práticas recomendadas. 2. ed*. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Casagrande Foundation Division (2019). FD Hydromill Brochure. Disponível em: https://ideaustralia.com.au/wp-content/uploads/2019/05/FD-Hydromills-Brochure-compressed.pdf. Acesso em: 18 de fev. 2026.

Freitas, M. A., Gotlieb, M. (2018). Parede Diafragma e Estacas Barrete com Utilização de Hidrofresa para Embutimento em Rocha. Monografia de Mestrado, Prática de Fundações e Geotecnia em Empreendimentos Imobiliários, Faculdade de Engenharia de São Paulo / FESP.

Hachich, W.; Falconi, F. F.; Saes, J. L.; Frota, R. G. Q.; Carvalho, C. S.; Niyama, S. (1998). *Fundações: teoria e prática. 2. ed.* São Paulo