XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/85

Obra de Edifício em Foz do Iguaçu – PR – Geologia Complexa na Extremidade de um Derrame Basáltico

Thays Car Feliciano de Oliveira
Engª Civil/ Geotécnica, Sollium Geotecnia, Cascavel-PR, Brasil, engenharia@solliumgeotecnia.com.br

Gerson Lorenzi
Geólogo/ Diretor Geral, Fungeo Fundações e Geologia, Cascavel-PR, Brasil, gerson@fungeo.com.br

Vinicius Lorenzi
Eng. Civil/ Dir. de Engenharia, Fungeo Fundações e Geologia, Cascavel-PR, Brasil, vinicius@fungeo.com.br

Leandro Reginato
Eng. Civil, Fungeo Fundações e Geologia, Cascavel-PR, Brasil, engenharia2@fungeo.com.br

Matheus Eduardo Luza
Eng. Civil, Sollium Geotecnia, Cascavel-PR, Brasil, engenharia@solliumgeotecnia.com.br

Lucas Luiz Dal Bosco
Geólogo, Fungeo Fundações e Geologia, Cascavel-PR, Brasil, geologia@fungeo.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo de caso de edifício de 27 pavimentos em Foz do Iguaçu-PR, situado na extremidade de um derrame basáltico. A complexidade geológica, caracterizada por um perfil com camada inicial de solo residual, seguida por intercalações de matacões e alteração de rocha exigiu soluções geotécnicas adaptativas. Diante da inviabilidade de escavação total para três subsolos, inicialmente prevista, o projeto arquitetônico foi revisado para um modelo de subsolo escalonado, conforme o perfil rochoso da obra. Para viabilizar as obras de contenções e de fundações, adotou-se a solução técnica em estacas raiz. O projeto de contenção contemplou uma cortina de estacas Ø31cm espaçadas com fechamento em painéis de concreto moldados *in loco* e atirantamento; os tirantes foram apoiados sobre os painéis em pontos com armadura de punção. No projeto de fundação foram previstas estacas raiz de Ø45cm com até 2.300 kN de carga de trabalho, o que demandou da execução de ensaios de prova de carga estática (PCE) para validação. Os resultados das PCEs confirmaram a capacidade de carga das estacas, com deslocamentos abaixo de 2,5mm para a carga de trabalho. O estudo conclui que a flexibilidade na elaboração de projetos geotécnicos é determinante para o sucesso de obras em perfis geológico-geotécnicos heterogêneos.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas Raiz. Estudo de Caso, Contenção, Fundação, Tirantes.

ABSTRACT: This paper presents a case study of a 27-story building in Foz do Iguaçu, Brazil, located at the edge of a basaltic flow. The geological complexity, characterized by an initial layer of residual soil followed by boulder interlayers and weathered rock, demanded adaptive geotechnical solutions. Due to the infeasibility of full excavation for three basements as initially planned, the architectural project was revised to a stepped basement model, following the site's rock profile. To enable both the retention walls and foundation systems, micropiles (root piles) were adopted. The retention wall design consisted of spaced Ø31cm diameter micropiles with in-situ cast concrete panels and tiebacks; the anchors were supported by panels reinforced for punching shear. The foundation design utilized Ø45cm diameter micropiles with a working load of up to 2,300 kN, requiring static load tests (SLT) for validation. The SLT results confirmed the piles' bearing capacity, with settlements below 2.5 mm at the working load. This study concludes that flexibility in geotechnical design is crucial for the success of projects in heterogeneous geological-geotechnical profiles.

KEYWORDS: Root Piles, Case Study, Retaining Structure, Foundation, Soil Anchors.

1 INTRODUÇÃO

A construção de empreendimentos de grande porte em regiões urbanas com condições geológico-geotécnicas complexas frequentemente demandam soluções de contenção e de fundação não convencionais, adaptadas às particularidades locais do terreno. Em terrenos com presença de solo residual associado a intercalações de solo, matacões e rocha alterada acima do leito rochoso, a concepção e execução dessas estruturas pode apresentar desafios técnicos adicionais.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta um estudo de caso referente às obras de contenção e de fundação de um edifício residencial de 27 pavimentos, com subsolos, localizado no município de Foz do Iguaçu – PR. O empreendimento demandou escavações de até aproximadamente 6,5 m para implantação dos subsolos, em terreno com geologia complexa. Em ambos os projetos geotécnicos, de contenção e de fundação foram utilizadas estacas raiz, tendo em vista sua característica de ultrapasar camadas resistentes e proporcionar elevada capacidade de carga para o projeto. Alguns aspectos da referida obra foram também apresentados por LORENZI e OLIVEIRA (2025).

No decorrer do trabalho são descritas as condições geológico-geotécnicas do local, a concepção das soluções de contenção e fundação adotadas, bem como aspectos relevantes do processo executivo, buscando contribuir para o compartilhamento de experiências em obras geotécnicas executadas em terrenos heterogêneos no território nacional.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

As investigações geológico-geotécnicas realizadas por meio de sondagens mistas (ao todo, 06 furos) indicaram uma geologia complexa, com camadas inicias de argila siltosa (solo residual) sobre camadas intercaladas de rocha alterada e matacões. As sondagens mostraram, ainda, alguns trechos descontínuos de rocha sã (basáltica). O nível d'água (N.A.) apresentou variação entre a parte frontal do terreno com os fundos (fluxo no sentido para o fundo da obra). Uma ilustração do perfil geológico-geotécnico pode ser observado na Figura 1 (a linha de seção foi traçada ao longo do eixo longitudinal do terreno, ver S1 da Figura 3) .

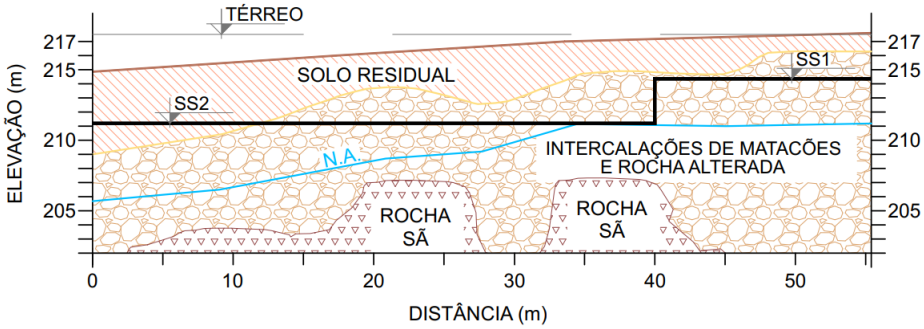


Figura 1. Perfil geológico-geotécnico do terreno.

Registros fotográficos evidenciando a qualidade do material recuperado na sondagem mista podem ser visualizados na Figura 2. Observa-se a presença de matacões ao longo de quase 9,0m na Figura 2(a) e uma rocha bastante fraturada (F4, conforme DNER-PRO 102/97) com alteração de A3 a A1 (DNER-PRO 102/97) na Figura 2(b). A locação desses furos pode ser observada na Figura 2.

(a)



(b)



Figura 2. Registros fotográficos dos testemunhos dos furos (a) SM6 e (b) SM3, de 3,30 a 14,75m.

O município de Foz do Iguaçu-PR localiza-se no Bacia do Paraná e suas unidades litoestratigráficas integram o grupo Serra Geral. Especificamente no município têm-se a ocorrência predominante de derrames basálticos (BESSER, *et al.*, 2021). Experiências geotécnicas locais próximas à obra em análise indicam que ela se localiza na extremidade de um derrame basáltico, pois à sudeste (150 m) da obra tem-se registros de um maciço rochoso são, com rocha de boa qualidade (A0 / F1, conforme DNER-PRO 102/97). Por outro lado, ao norte da obra (200 m), tem-se sondagens que atingiram cerca de 30,0m em solo, antes de ocorrer recuperação de rocha.

3 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento em questão localiza-se no município de Foz do Iguaçu-PR e conta com 27 pavimentos, ao todo 92,9m de altura (contados a partir do nível térreo) e área construída total por volta de 22.000,00m². Inicialmente o projeto arquitetônico previa 03 (três) subsolos para o edifício, no entanto as condições geológico-geotécnicas do terreno, conforme apresentado no item 2, tornariam o projeto inviável técnica e financeiramente, pois demandariam de contenções estanques (abaixo do N.A) e técnicas específicas que ultrapassasem o material rochoso identificado.

Desta forma, após os estudos geotécnicos iniciais, o projeto foi alterado para uma condição de subsolo escalonado, visando otimizar o uso do terreno e mitigar complexidades executivas. Outro aspecto revisto foi o nível de implantação do térreo, que foi fixado na maior altura possível permitida pelo código de obras do município, para reduzir as futuras escavações em material rochoso.

Um croqui do terreno e a concepção final do subsolo é apresentado na Figura 3. Na parte frontal, o terreno encontrava-se no mesmo nível do alinhamento da rua, com declividade de 2,0m em uma das laterais e 5,5m na outra. Portanto, na parte frontal do terreno a escavação ficou limitada a 01 (um) subsolo e, a partir de um trecho de 15,0m com relação ao alinhamento frontal, foram executados 02 (dois) subsolos, tendo em vista a diferença de níveis.

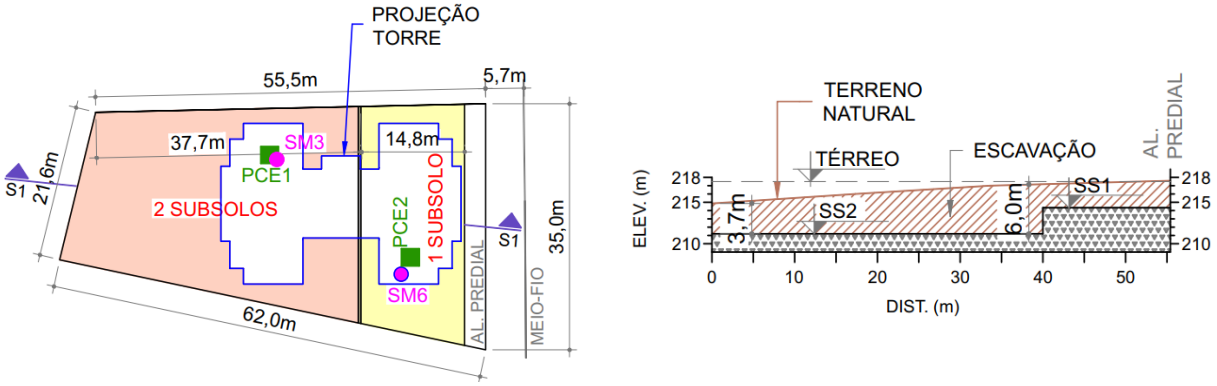


Figura 3. Esquema do subsolo e escavações para o edifício.

4 DESAFIOS GEOTÉCNICOS DO PROJETO

Tendo em vista as características geológico-geotécnicas descritas, bem como a demanda por execução de subolos para a obra, a concepção das soluções para os projetos geotécnicos do empreendimento apresentou diversos desafios, além das restrições quanto à soluções convencionais. Ademais, a viabilidade financeira também entrou como um fator restritivo para o projeto.

O primeiro desafio a ser solucionado foi a definição do sistema de contenção. Nas condições descritas do terreno, soluções convencionais de contenção, como cortinas de estacas ou paredes de concreto moldadas *in loco* em nichos, não se mostravam tecnicamente adequadas. As cortinas de estacas convencionais não ultrapassariam as camadas rochosas e as paredes moldadas in loco não proporcionariam a segurança adequada para a escavação dos primeiros metros (horizonte de solo). Uma solução tecnicamente possível seria a execução de parede diafragma por hidrofresa; entretanto, essa solução trata-se de uma tecnologia com disponibilidade restrita no Brasil e que implicaria custos elevados e uma logística inviável para a obra, de forma que uma solução alternativa, adaptada o cenário fez-se necessária. Foi proposta uma solução em cortina de estacas raiz espaçadas, com paineis de concreto moldado *in loco* entre essas estacas, conforme será detalhado no item 5.

Ainda com relação aos desafios dos projetos geotécnicos, tem-se a definição do sistema de fundação. A variabilidade do maciço em profundidade e espacialmente no terreno, combinada com a presença de nível d'água próximo à cota final de escavação, não traria segurança para o uso de solução em fundação direta – sapatas. Embora fundações superficiais representassem uma alternativa potencialmente mais econômica, as condições do terreno levaram ao descarte dessa opção. Assim, optou-se pela adoção de fundações profundas em estacas raiz, solução capaz de atravessar os horizontes heterogêneos de solo e material rochoso. Entretanto, a variabilidade do perfil geológico-geotécnico também representou um desafio para a previsão do comportamento dessas estacas e para a definição de seus comprimentos e capacidades de carga ao longo do terreno – motivo pelo qual foram realizadas duas provas de carga estáticas (PCEs), cujos resultados serão tratados adiante (item 5).

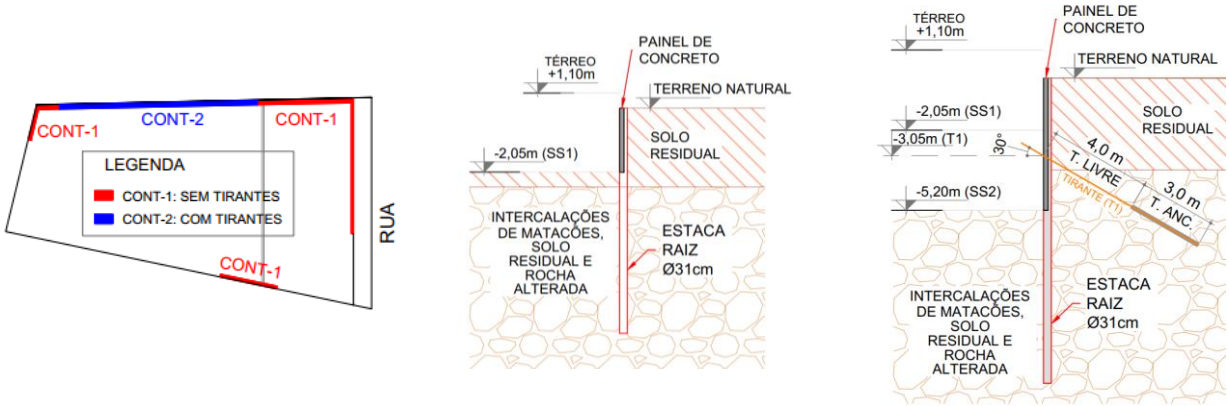
Outro desafio para a obra esteve relacionado às condições de escavação do terreno para implantação dos subsolos. Em diversas regiões foi necessária a utilização de rompedores hidráulicos acoplados a escavadeiras, resultando em um processo de escavação mais lento em comparação a situações convencionais (escavação em solo). Além disso, após a definição das soluções e detalhamento dos projetos, o processo executivo das estacas (de fundação e de contenção), dos painéis da contenção e dos tirantes também foi complexo, com prazos mais alongados.

5 SOLUÇÕES ADOTADAS

5.1 Contenção

Conforme brevemente descrito no item 4, a solução de contenção adotada para o edifício foi uma solução não convencional, visando promover a segurança necessária para as escavação e, em simultâneo, promover viabilidade econômica. Foi utilizada uma cortina de estacas raiz Ø31cm espaçadas (a cada 2,0m, aproximadamente), com fechamento em painéis de concreto armado moldados *in loco* e atirantamento dos painéis. O projeto prevê, ao todo, 55 estacas Ø31cm raiz e tirantes com o bulbo em material rochoso.

Devido às variações de alturas de escavação, em algumas regiões do terreno (maiores cortes) fez-se necessário o atirantamento (seção tipo 'CONT-2'), enquanto em outros casos adotou-se somente a cortina de estacas em balanço com fechamento em painéis (seção tipo 'CONT-1'). Um croqui esquemático da contenção pode ser observada na Figura 4.



(a) (b) (c)

Figura 4. (a) Planta chave da contenção e seções típicas (b) 'CONT-1' e (c) 'CONT-2'.

Definiu-se uma profundidade mínima de ficha de 6,0m para as estacas, considerando o apoio de pilares da estrutrua na contenção. Em alguns pontos com pilares mais carregados os espaçamentos entre as estacas da cortina foi reduzido para 1,0m, para possibilitar a distribuição de cargas adequada ao terreno.

Os tirantes foram inicialmente previstos com 7,0m, sendo 3,0m de trecho ancorado em rocha, com carga de trabalho 140 kN, em monobarras 25mm e, ao todo, 15 unidades. A adoção de uma cortina de estacas espaçadas se deve à necessidade de assegurar, previamente às escavações, a estabilidade do terreno, pois as estacas são executadas antes do corte. O espaçamento entre as estacas é possível pois o substrato apresenta coesão.

Quanto aos painéis entre estacas, foram dimensionados com 15,0cm de espessura e, tendo em vista a aplicação das cargas pontuais dos tirantes, demandaram de armaduras de punção para assegurar o adequado funcionamento do sistema.

5.2 Fundação

Quanto às fundações, conforme mencionado, a solução adotada foram estacas raiz, sendo essas executadas integralmente em camadas de intercalações de matacões e rocha alterada, sendo um desafio a definição de profundidade dessas estacas, diante das variações de qualidade do material rochoso recuperado nas sondagens mistas, bem como camadas espessas de matacões (a exemplo, a SM6 representada na Figura 2). Os pilares mais carregados da torre atingem carregamentos com magnitudes de 33.000.0 kN e momentos fletores na base de 45.000 kN · m, conforme planta de cargas disponibilizada pelo projeto estrutural.

No projeto de fundação foram adotados os diâmetros nominais de Ø31 cm e Ø45 cm, totalizando 290 estacas. As estacas mais carregadas, de diâmetro nominal Ø45 cm, foram dimensionadas para uma carga de trabalho de 2.300 kN. Devido ao tipo de execução, quase integralmente em material rochoso, o diâmetro final das estacas em quase todo o fuste foi de Ø35,5 cm, correspondente às dimensões do martelo de fundo utilizado

na execução. A armadura prevista para as estacas mais carregadas foi de 8 Ø25mm e, em todas as estacas uso de argamassa usinada fck 30 MPa, para melhor controle tecnológico.

Para validar as premissas de projeto foram executadas duas PCEs, uma delas com estaca teste executada a partir do nível do subsolo 2 da obra (PCE1), com 19,0m (estavam previstos 15m para esse teste, no entanto no decorrer da perfuração foi identificada uma falha/ descontinuidade e foi necessário aprofundar a perfuração até encontrar rocha novamente) e o segundo teste no nível do subsolo 1 (PCE1) com 12,0m.

O ensaio realizado foi do tipo lento e seguiu as prescrições da NBR 16903 (ABNT, 2020) quanto à montagem do sistema, magnitudes dos estágios de carga e estabilização dos deslocamentos. Ressalta-se que todos os instrumentos de medição (manômetro e relógios comparadores) utilizados para o ensaio encontravam-se devidamente calibrados. O ensaio não foi realizado pelos autores deste artigo, foi contratado pela construtora e os dados foram disponibilizados. Um resumo dos resultados dos ensaios pode ser observado na Figura 5 e na Tabela 1.

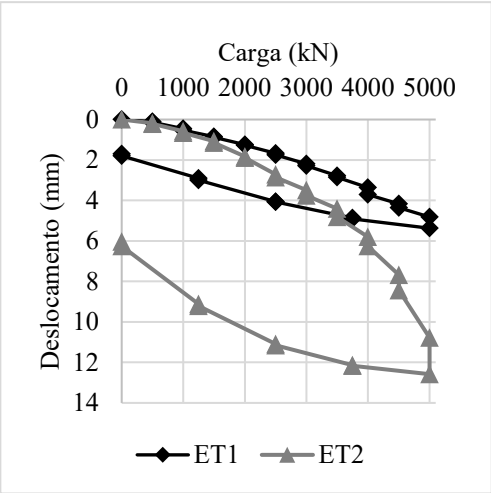


Figura 5. Resultados da PCE.

Tabela 1. Resultados da PCE.

Estágio	PCE1, 19m		PCE2, 12m	
	F_i (kN)	δ (mm)	F_i (kN)	δ (mm)
F_t	2500,0	1,75	2500,0	2,85
$F_{máx-e}$	5000,0	5,37	5000,0	12,58
Descarga	0,0	1,70	0,0	6,03

F_t: carga de trabalho; $F_{máx-e}$: carga máxima atingida no ensaio; F_i: carga correspondente a cada estágio; δ: deslocamento.

Ambos os ensaios foram levados até 5000 kN, mais que o dobro da carga de trabalho das estacas e apresentaram deslocamentos baixos para a cargas de até 2500 kN. Por meio de interpolações estima-se que o deslocamento das estacas para a carga de trabalho de 2300kN seria de 1,6 mm e 2,5 mm, respectivamente, para as PCEs 1 e 2, validando as premissas de projeto. Ademais não houve ruptura nítida em nenhum dos testes, embora a PCE2 apresente uma curva que aparenta estar se aproximando do limite de ruptura.

A carga extrapolada pelo método de Van der Veen (1953) para os ensaios resultou em 6470kN e 5310kN para os testes 1 e 2. Os ensaios evidenciaram um ganho de rigidez significativo para as estacas com o aumento de embutimento em material rochoso, mesmo que a PCE1 tenha atravessado uma zona de descontinuidade. Por outro lado, a PCE2 provavelmente teve sua ponta mais solicitada e também pode estar assentada sobre camada mais deformável, o que é coerente com a descrição da sondagem mais próxima executada, na qual não foi recuperada rocha sã – tem-se matacões ao longo de todo o furo SM6 (ver Figura 2).

A partir dos resultados dos ensaios definiu-se com segurança um comprimento útil mínimo para as estacas de 10,0 m (em projeto as perfurações foram de 12,0 m a 15,0 m, ou seja, as estacas foram assentadas em cota semelhante à das estacas das PCEs). Isso se deve ao arrasamento das estacas, que chegou a 5,0 m nas regiões mais críticas, de poço dos elevadores (portanto, perfurados 15,0m e atingidos 10,0 m úteis de estaca).

6 ASPECTOS EXECUTIVOS

A execução das obras geotécnicas do empreendimento foi dividida em duas fases principais: o sistema de contenção perimetral e a execução das fundações profundas.

A execução da contenção seguiu etapas bem específicas para que o sistema proposto funcionasse adequadamente, conforme segue: (1) execução das estacas raiz, (2) execução da viga de coroamento das

estacas, (3) escavação inicial até a cota de execução de tirantes, (4) execução dos tirantes (montagem, perfuração e injeção), (5) execução dos painéis moldados *in loco* (entre as estacas), (6) protensão dos tirantes após a cura do concreto dos painéis, (7) escavação para a próxima etapa e (8) execução de novo trecho dos painéis. Alguns registros fotográficos podem ser observados na Figura 6.

Destaca-se que todo o processo executivo seguiu os critérios e recomendações normativas das normas aplicáveis: para as estacas, NBR 6122 (ABNT, 2022); para os tirantes, NBR 5629 (ABNT, 2018),

(a) (b) (c)

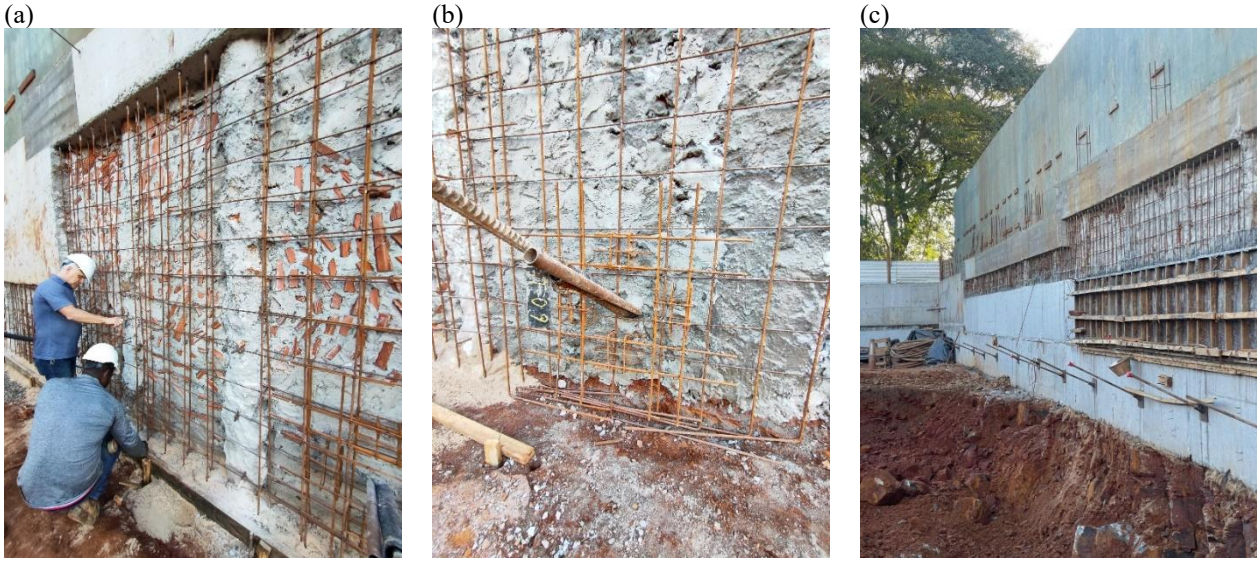


Figura 6. (a) Montagem das armaduras dos painéis. (b) Detalhe da armadura de punção na região dos tirantes. (c) Escavação para nova etapa, após concretagem dos painéis e protensão dos tirantes.

Embora a obra não tenha realizado o monitoramento das contenções de forma acurada (com inclinômetros, por exemplo, devido aos elevados custos), realizou-se acompanhamento por topografia e inspeções visuais semanais que comprovaram um bom desempenho das contenções – não foram constatadas movimentações (que fossem visíveis ou expressivas) ou intercorrências com os terrenos vizinhos.

Quanto às fundações, na Figura 7 observa-se um dos blocos de estacas dos elevadores centrais em processo de escavação, ao todo 36 estacas Ø45 cm, com cota de arrasamento (C.A.) de -4,60m abaixo do nível do subsolo 2. Na imagem também é possível observar ao fundo parte da parede de contenção na cota de ocorrência de rochas.



Figura 7. Escavação de um dos blocos de estacas dos elevadores centrais, C.A. -4,60m a partir do subsolo 2.

A execução das estacas no terreno com as características apresentadas inicialmente teve produtividade bem baixa (média de 1 estaca raiz por dia, com duas perfuratrizes na obra), além de problemas de manutenção excessiva nas perfuratrizes e inclusive perda de um martelo de fundo dentro de um dos furos, devido ao tipo de material perfurado que, somado à uma vazão de ar insuficiente para promover a adequada limpeza das perfurações, resultava na queda de detritos acima do martelo, dificultando sua movimentação. Isto caracterizou-se em um gargalo para a obra, sendo requeridas soluções para aumentar a produtividade.

A solução adotada, que se mostrou satisfatória foi o uso de dois compressores associados para uma única perfuratriz, ambos de alta pressão (25 bar), sendo um deles 1250 PCM e o outro 950 PCM. Essa solução aumentou a produtividade para 3 estacas por dia, para uma única perfuratriz (1 perfuratriz + 2 compressores).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi apresentado um estudo de caso de um edifício residencial executado na extremidade de um derrame basáltico, o que resultou em geologia complexa. O terreno apresentava camada pouco profunda de solo residual seguida por horizontes intercalados de matacões e alteração de rocha.

O caso de obra desse edifício evidencia que a geotecnia de contenções e de fundações pode exigir soluções adaptáveis para situações não convencionais. Além disso, a parceria com geotécnicos desde o inicío da concepção de projetos deste tipo podem otimizar outras disciplinas, como foi o caso da revisão do projeto arquitetônico para um subsolo escalonado e térreo implantado em níveis mais elevados, de forma a otimizar o uso do terreno e reduzir riscos executivos e o volume de escavação em rocha.

A utilização de estacas raiz tanto para o sistema de contenção, quanto o de fundação demonstrou ser a solução técnica mais viável, pois permitia a transposição das camadas intercaladas de matacões e alteração de rocha, trazendo segurança estrutural para a torre de 27 pavimentos.

Por fim, os resultados da PCE foram positivos para o projeto e validaram a carga de trabalho de 2300 kN utilizada em projeto, com deslocamentos inferiores a 3,0mm para essa carga.

Esse trabalho contribui para o acervo de experiências em obras geotécnicas em terrenos com derrames basálticos, evidenciando que a investigação geotécnica detalhada e a flexibilidade no projeto são fundamentais para o sucesso de empreendimentos em contextos geológicos complexos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno – Projeto e execução*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. *Solo – Prova de carga estática em fundação profunda*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Besser, M.L., Brumatti, M., Spisila, A.L. *Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Paraná*. Curitiba: SGB-CPRM, 2021. 1 mapa, color. Escala 1:600.000.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *DNER-PRO 102/97: Sondagem de reconhecimento pelo método rotativo*. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dner_pro_102_97-1.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2026.

Lorenzi, V., Oliveira, T.C.F. (2005). *Cortinas de Contenção e Tirantes na prática*. Cascavel: FSC Treinamentos em Engenharia Civil.