



GIOVANNA NUNES PEREIRA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE FUNDAÇÃO COM ESTACAS EM SITUAÇÃO DE FALHA NA PEGA DO
CONCRETO – ESTUDO DE CASO**

GIOVANNA NUNES PEREIRA

**ANÁLISE DE FUNDAÇÃO COM ESTACAS EM SITUAÇÃO DE FALHA NA PEGA
DO CONCRETO – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia

UBERLÂNDIA – MG
2025



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Engenharia Civil				
Defesa de:	GCI057 - Trabalho de Conclusão de Curso				
Data:	22/09/2025	Hora de início:	08h33min	Hora de encerramento:	10h06 min
Matrícula do Discente:	11911ECV062				
Nome do Discente:	Giovanna Nunes Pereira				
Título do Trabalho:	ANÁLISE DE FUNDAÇÃO COM ESTACAS EM SITUAÇÃO DE FALHA NA PEGA DO CONCRETO - ESTUDO DE CASO				

Reuniu-se na sala de Reuniões do Bloco 1Y, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Civil, assim composta:

Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia - FECIV/UFU, orientador do candidato.

Eng. Dr. Luiz Carlos Guerra, e

Eng. Dr. Francisco Antonio Romero Gesualdo

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, **Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia**, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Curso.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Jean Rodrigo Garcia, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/09/2025, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Antonio Romero Gesualdo, Usuário Externo**, em 22/09/2025, às 11:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUIZ CARLOS GUERRA, Usuário Externo**, em 24/09/2025, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6672184** e o código CRC **FABFE39F**.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer à minha mãe, Carla Adriana, e ao meu pai, Megildo Vicente, por todo apoio, incentivo e motivação, pelos sacrifícios que fizeram e ainda fazem por mim e por nunca terem me deixado desistir. Saibam que tudo isso é e sempre será por vocês. Obrigada por tudo, sempre. Amo vocês. Também agradeço à minha avó Cleonice de Fátima e ao meu tio-avô Onício Rodrigues por estarem sempre ao meu lado e me apoiarem em todas as minhas decisões, mesmo sem tanto conhecimento. Obrigada por cuidarem de mim. Se hoje tenho a criação que tive e me tornei a mulher que sou, foi por conta de vocês. Registro também meu agradecimento ao meu avô Wilson Nunes, que, apesar de não estar mais aqui para me ver formar, sei que sempre torceu por mim com todas as forças. Agradeço ainda à minha avó Terezinha Maria e ao meu avô Manoel Vicente por todo apoio.

Aos meus padrinhos Cleia Simone e Alex Wilson, e à minha tia Clecia Dias, agradeço por todo apoio e ajuda constantes. Sei que, independentemente do que aconteça ou do que eu precise, posso contar com vocês a qualquer momento. Obrigada pelos almoços, pelas caronas e até pelo dinheiro do lanche. Agradeço também ao meu primo Phelipe Nunes, que sempre torceu e me apoiou em tudo. Te considero como um irmão e torço por você na mesma intensidade que você torce por mim.

Às minhas amigas Lara Sanchez, Deborah Marques, Barbara Dias e Larissa Zabisky, agradeço pelo apoio e pelos conselhos, por ouvirem minhas reclamações e me lembrarem de que nunca estou passando por algo sozinha. Que nossos 13 anos de amizade se transformem em 20, 30, 40 e muito mais. À minha amiga Laura Sousa, que chegou em um momento crucial da minha vida, o Ensino Médio, e permanece comigo em todos os momentos, bons e ruins, obrigada por tudo. Agradeço também a todos os amigos que fiz ao longo da minha jornada na UFU, por estarem sempre comigo e por não verem o curso como uma competição, mas sim como uma caminhada coletiva.

Agradeço também ao meu chefe Darci Gouveia e à minha engenheira responsável Aurenny Lívia, por acreditarem em mim e me oferecerem uma oportunidade que me fez perceber o quanto amo a Engenharia. E, por fim, agradeço ao meu orientador, Jean Garcia, por todo apoio e suporte durante minha graduação. Obrigada por me aceitar como orientanda, pela paciência e pela orientação não apenas na vida acadêmica, mas também na vida profissional como um todo. Saiba que vejo em você um modelo de engenheiro a ser seguido.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre manifestações patológicas em fundações do tipo estaca hélice contínua monitorada, executadas em um edifício residencial de 12 pavimentos. O problema identificado ocorreu devido ao uso inadequado de aditivo retardador de pega no concreto, resultando em estacas que não atingiram a pega no tempo previsto. A partir da análise bibliográfica e normativa, foram discutidas as principais manifestações patológicas em fundações, bem como técnicas de remediação e complemento. O caso estudado foi solucionado por meio da execução de estacas adicionais interligadas a blocos complementares, garantindo a estabilidade da estrutura. Os resultados demonstraram que, mesmo as estacas inicialmente comprometidas, apresentaram resistência satisfatória após ensaios, evidenciando que alternativas menos onerosas poderiam ter sido consideradas. Conclui-se que a compatibilização entre projeto e execução, aliada ao controle rigoroso dos materiais e procedimentos, é essencial para evitar patologias em fundações e atrasos no cronograma executivo.

Palavras-chave: Fundações; Patologias; Estaca Hélice Contínua; Complemento Estrutural; Concreto.

ABSTRACT

This work presents a case study on pathological manifestations in foundations using continuous flight auger piles, executed in a 12-story residential building. The problem identified occurred due to the improper use of a set-retarding admixture in the concrete, which resulted in piles that did not achieve the expected setting time. Based on bibliographic and normative analysis, the main pathological manifestations in foundations were discussed, as well as remediation and complement techniques. The studied case was solved through the execution of additional piles connected by complementary pile caps, ensuring the stability of the structure. The results showed that, even the initially compromised piles presented satisfactory strength after testing, indicating that less costly alternatives could have been considered. It is concluded that the alignment between design and execution, combined with strict control of materials and procedures, is essential to avoid foundation pathologies and delays in the construction schedule.

Keywords: Foundations; Pathologies; Continuous Flight Auger Pile; Structural Complement; Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Execução de estaca hélice contínua (a) perfuração da estaca, (b) injeção de concreto (c) posicionamento da armadura.....	2
Figura 2: Superposição de tensões	6
Figura 3: Execução de estacas diferentes num mesmo bloco resultando em rigidez diferente da projetada	10
Figura 4: Corte do empreendimento	11
Figura 5: Corte esquemático com cotas do empreendimento.....	11
Figura 6: Levantamento topográfico do terreno	12
Figura 7: Demonstrativo ensaio SPT.....	13
Figura 8: Locação dos furos de sondagem	14
Figura 9: Projeto Inicial de locação das estacas	16
Figura 10: Perfuração por hélice contínua por meio da perfuratriz.....	15
Figura 11: Corpos de prova de concreto moldados in loco	17
Figura 12: Aspecto do concreto: a) no fuste da estaca após as 12 horas mínimas	18
Figura 13: Posicionamento e dimensões das estacas adicionais.....	20
Figura 14: Posicionamento e dimensões dos blocos adicionais	21
Figura 15: Escavação e arrasamento das estacas adicionais A1 e A2 e, E1 e E2.....	23
Figura 16: Posicionamento de armadura dos blocos B123 e B136	23
Figura 17: Concretagem dos blocos principais.....	24

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	3
1.2	Objetivo	3
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1	Critério de desempenho das fundações.....	4
2.2	Manifestações patológicas	6
2.3	Técnicas de remediações e complementos	7
2.4	Estudos de casos semelhantes.....	8
3.	CASO DE OBRA.....	10
3.1	Caracterização da obra	10
3.2	Caracterização geológico-geotécnica.....	13
3.3	Projeto de Fundação Inicial	15
3.4	Problema Encontrado.....	17
3.5	Causas e Monitoramento	18
4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DO ESTUDO DE CASO.....	19
4.1	Solução proposta.....	19
4.2	Resultado da resistência das estacas	22
4.3	Possíveis soluções.....	22
4.4	Execução da proposta	23
4.5	Análise crítica	24
5.	CONCLUSÃO	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
	ANEXO A – RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 1	28
	ANEXO B - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 2	29
	ANEXO C - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 3	30
	ANEXO D - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 4	31
	ANEXO E - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 5	32
	ANEXO F – PROJETO INICIAL DE LOCAÇÃO DAS ESTACAS	33
	ANEXO G – PROJETO REVISADO DE LOCAÇÃO DAS ESTACAS	34
	ANEXO H – PROJETO REVISADO DA PLANTA DE FÔRMAS	35

1. INTRODUÇÃO

A falta de pega do concreto caracteriza-se pelo atraso na reação de hidratação do cimento, essencial para o endurecimento do material. Diversos fatores podem desencadear essa anomalia, como a ausência de água, temperaturas inadequadas no momento da concretagem e uso excessivo ou inadequado de aditivos retardadores de pega. Essa falha compromete a resistência da estaca, podendo gerar impactos significativos no cronograma e no custo da obra. Assim, é imprescindível adotar soluções rápidas e eficazes, que garantam a adequada transferência dos esforços da estrutura para o solo e minimizem impactos no planejamento executivo.

Segundo a ABNT NBR6122:2022, fundação profunda é definida como um elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3 metros. A fundação profunda é usualmente utilizada em obras onde o solo não possui capacidade de carga suficiente, quando há grandes esforços atuando na estrutura ou quando o nível do lençol freático está próximo à superfície. Neste tipo de fundação é incluído as estacas e os tubulões.

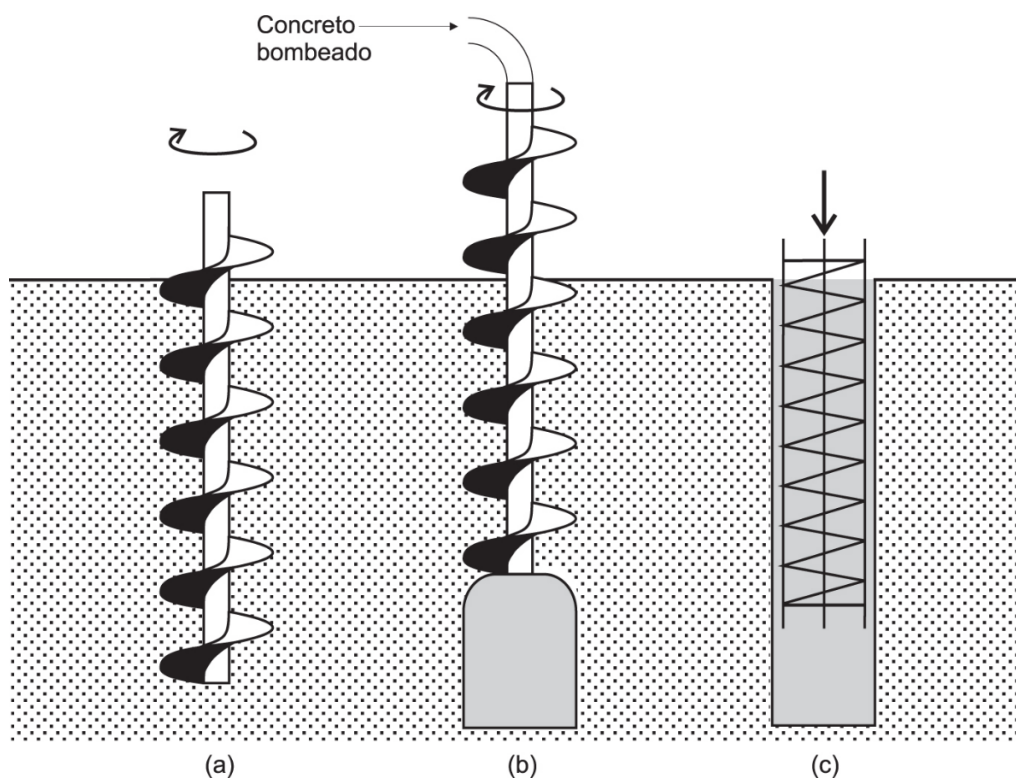
Caracterizada por ser elementos estruturais de fundação profunda executadas inteiramente por processo mecanizado, as estacas podem ser executadas em concreto moldado in loco, argamassa, calda de cimento, madeira, aço, concreto pré-moldado ou qualquer uma destas combinações. Existe 3 tipos de estacas em função das características executivas:

- Pré-fabricadas: metálica, concreto armado ou protendido e madeira;
- Moldadas in loco: broca, escavada, Strauss, barrete, hélice contínua, Franki, ômega, raiz e microestaca;
- Prensadas: Mega de concreto ou metálica.

As estacas moldadas *in loco* ou de substituição apresentam como grande vantagem a eliminação do problema de transporte das estacas pré-moldadas, porém, tem como ponto negativo a deficiência de controle durante a etapa de concretagem, sendo necessário cuidado rigoroso. A estaca analisada no presente trabalho é a estaca hélice contínua, caracterizada pela escavação do solo através de um trado contínuo constituído por hélices em torno de um tubo central vazado onde sua perfuração consiste na introdução da hélice no terreno por meio de movimento rotacional até a cota de projeto sem que a hélice seja retirada da perfuração em nenhum momento. Com a profundidade desejada alcançada, o concreto é bombeado

continuamente através do tubo central ao mesmo tempo que a hélice é retirada sem girar, após o término da retirada do trado, a armação é inserida manualmente por operários, conforme mostra a Figura 1. (VELLOSO, LOPES 2010)

Figura 1: Execução de estaca hélice contínua (a) perfuração da estaca, (b) injeção de concreto (c) posicionamento da armadura



Fonte: Velloso, Lopes (2010)

A estaca hélice contínua é comumente utilizada, já que pode ser executada abaixo do nível d'água (N.A), não causam vibrações no terreno e possuem baixo impacto sonoro, podem ser executadas em profundidades até 38 metros e possui alta produtividade. Além disso, a execução dessas estacas apresenta variações em relação ao previsto em projeto, pois depende diretamente das condições reais de campo. Alterações nas características do solo, limitações dos equipamentos e restrições do canteiro podem exigir adaptações durante a execução, impactando o desempenho final da fundação (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020).

Entre os principais problemas observados em fundações com estacas moldadas *in loco* por substituição, destacam-se: falhas de integridade ou continuidade devido à concretagem não pressurizada; dosagem inadequada do concreto, com baixo teor de cimento, o que pode provocar segregação e redução da resistência; dificuldades na inserção das armaduras; execução de estacas em proximidade com elementos recentemente concretados e, utilização de

equipamentos com capacidade insuficiente, como torque inadequado ou haste de perfuração curta (MILITITSKY et al., 2008).

1.1 Justificativa

Na engenharia de fundações, é comum a ocorrência de problemas durante a execução de estacas. Esses problemas estão geralmente relacionados às características do solo, às limitações dos equipamentos disponíveis e, sobretudo, à qualidade do concreto fornecido. Nesse sentido, este trabalho justifica-se pela necessidade de analisar as causas que levaram à ausência de pega do concreto em duas estacas executadas pelo método de hélice contínua. Mesmo após 24 horas da concretagem, observou-se que o concreto não havia iniciado o processo de pega, comprometendo a integridade das estacas. A partir disso, serão abordadas as possíveis soluções técnicas para esse tipo de falha, bem como a justificativa para o complemento executado no local.

1.2 Objetivo

Como objetivo, tem-se a análise de um caso em que ocorreu falha na execução de estacas do tipo hélice contínua monitorada, com foco na ausência de pega do concreto. Será apresentada fundamentação teórica com casos semelhantes e a importância da execução adequada das fundações. Em seguida, serão discutidos os critérios de desempenho exigidos para as fundações, conforme estabelecido pelas normas técnicas e práticas da engenharia. O estudo também irá tratar das manifestações patológicas observadas no caso analisado, destacando os principais fatores que levaram à falha. Por fim, serão avaliadas as soluções técnicas disponíveis, com ênfase na alternativa de complemento adotada na obra em questão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A execução de fundações profundas requer o atendimento a critérios técnicos e normativos que assegurem a segurança estrutural, a durabilidade e o desempenho global da obra. No caso de estacas moldadas in loco, como a hélice contínua monitorada, a qualidade da execução depende não apenas do projeto, mas também do controle rigoroso dos parâmetros de campo, da adequação dos equipamentos e da conformidade do concreto utilizado. Falhas nessa etapa podem comprometer significativamente o desempenho da fundação e, conseqüentemente, da estrutura apoiada sobre ela.

Dessa forma, a base teórica necessária para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso será apresentada nos tópicos seguintes, abordando: critérios de desempenho das fundações, manifestações patológicas, técnicas de remediação e complemento, e estudos de casos semelhantes.

2.1 Critério de desempenho das fundações

O desempenho das fundações está associado à sua capacidade de transmitir as cargas da superestrutura ao terreno de forma segura, estável e durável, evitando a ocorrência de rupturas ou deformações excessivas. Para isso, devem ser atendidos critérios de natureza estrutural, geotécnica e de recalques admissíveis, sempre em conformidade com as normas técnicas aplicáveis.

- Critérios de desempenho estrutural:

A capacidade estrutural de uma estaca está relacionada tanto ao seu dimensionamento quanto à qualidade dos materiais empregados na execução. A ABNT NBR 6122:2022 estabelece que o concreto utilizado em fundações deve atender à condição A de preparo, conforme a ABNT NBR 12655, sendo obrigatória a apresentação da carta de traço com as proporções dos materiais, classe de resistência, classe de abatimento e limite de exsudação. O recebimento e a aceitação do concreto devem ser verificados por ensaios de abatimento (ABNT NBR NM 67), moldagem de corpos de prova (ABNT NBR 5738) e ensaios de compressão (ABNT NBR 5739), seguindo os critérios estatísticos de conformidade da ABNT NBR 12655. Além disso, podem ser utilizados aditivos plastificantes, superplastificantes, aceleradores ou retardadores, desde que em conformidade com as normas específicas. Esses cuidados asseguram que o concreto apresente desempenho adequado e que a estaca não sofra ruptura estrutural antes da mobilização da resistência do solo.

- Critérios Geotécnicos:

A capacidade geotécnica das estacas está relacionada à resistência oferecida pelo solo para suportar as cargas transmitidas pela fundação. Segundo a ABNT NBR 6122:2022, o dimensionamento deve assegurar que não ocorra ruptura do terreno nem recalques excessivos, sendo recomendado o uso de métodos teóricos, como Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, além da interpretação de ensaios de campo, especialmente o SPT (Standard Penetration Test). Esse ensaio, amplamente empregado no Brasil, consiste em registrar o número de golpes necessários para cravar 30 cm do amostrador no solo, desconsiderando-se os primeiros 15 cm de cravação.

O valor obtido, denominado índice N, é utilizado como parâmetro fundamental para avaliação da resistência do solo, estando associado à compacidade quando se trata de areias e siltes arenosos, e à consistência quando se trata de argilas e siltes argilosos. Em situações de solos muito moles, quando um único golpe resulta em penetração superior a 45 cm, o resultado é expresso como relação entre o número de golpes e a penetração alcançada (PINTO, 2006).

A utilização combinada desse procedimento, associada à aplicação de provas de carga estática, possibilita maior confiabilidade na estimativa da capacidade de carga, garantindo que a fundação atenda aos critérios de desempenho estabelecidos em norma. Para esse fim, a NBR 6122 recomenda a adoção de um fator de segurança mínimo igual a 2,0, de modo a compensar as incertezas inerentes à variabilidade do solo e aos processos executivos das estacas.

- Recalques Admissíveis:

De acordo com Albuquerque e Garcia (2020) a grandeza dos recalques diferenciais que podem ser tolerados por uma estrutura depende essencialmente dos materiais constituintes da estrutura (onde quanto mais flexíveis os materiais, maiores serão as deformações toleráveis), da velocidade de ocorrência do recalque (com a redistribuição das cargas para outros pilares quando um está sobrecarregado), da finalidade da construção, onde 30mm de recalque podem ser aceitáveis para o piso de um galpão industrial enquanto 10mm é considerado exagerado para um piso que suporta máquinas sensíveis a pequenos desníveis. E por fim, da localização da construção, onde recalques totais poderiam ser considerados toleráveis em cidades como Santos (com solos de argilas moles saturadas) mas seriam totalmente inaceitáveis em locais com solos mais resistentes. Dessa forma, os recalques diferenciais são definidos a partir da comparação entre dois pontos distintos, em que um apresenta deslocamento maior que o outro, onde essa diferença, provoca a distribuição desigual de cargas e a ocorrência de deformações no solo.

- Atendimento às normas e projeto:

O desempenho das fundações deve ser devidamente comprovado por meio de documentos técnicos que assegurem a confiabilidade do processo executivo e do dimensionamento adotado. Entre esses, destacam-se os laudos geotécnicos, obtidos a partir de sondagens e ensaios de campo e laboratório; os memoriais de cálculo, que justificam o dimensionamento em conformidade com as condições do solo e as cargas da superestrutura; e os relatórios de execução, que registram as etapas de cravação, concretagem e demais procedimentos realizados em campo. Além disso, é imprescindível o atendimento às normas técnicas vigentes, como a ABNT NBR 6122 (Projeto e Execução de Fundações), a ABNT NBR

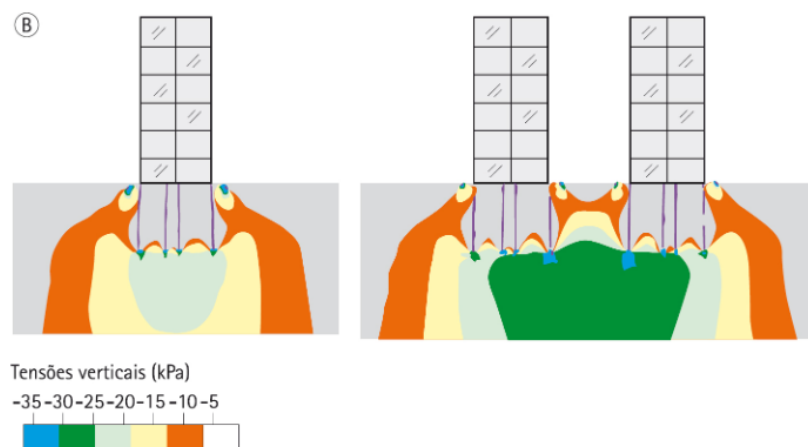
6118 (Projeto de Estruturas de Concreto) e outras correlatas, que estabelecem critérios de segurança, desempenho e durabilidade das fundações.

2.2 Manifestações patológicas

Segundo Milititsky et al. (2008), as patologias são decorrentes das incertezas e riscos inerentes à construção e vida útil das fundações, em que a busca por soluções após a ocorrência do problema, a etapa mais complexa refere-se à identificação das causas e mecanismos responsáveis pela ineficiência da estrutura. Na ocorrência de patologias, deve-se caracterizar suas origens e possíveis mecanismos deflagradores, exigindo fiscalização, registros e certificação de procedimentos. Dessa forma, as principais manifestações que ocorrem em fundações são caracterizadas por:

- Recalques excessivos que geram desnivelamentos, trincas em paredes e problemas de funcionalidade da edificação;
- Investigação geotécnica insuficiente, onde uma interpretação inadequada dos dados dos ensaios executados pode resultar em estacas apoiadas em camadas resistentes sobre solos moles, além da diferença na execução, onde a estimativa não condiz com a realidade (comprimentos de estacas diferentes, presença de rochas em posições não previstas etc.);
- Problemas com a interação Solo-Estrutura, onde uma sobreposição de esforços de fundação, sem avaliação adequada de seu efeito, pode gerar um aumento da tensão efetiva no solo e uma sobrecarga em camadas profundas, gerando como consequências flambagens de pilares, fissuração em vigas baldrame e inclinação na edificação por completo (Figura 2);

Figura 2: Superposição de tensões



Fonte: Milititsky et al. (2008)

- Falhas de execução são uma das principais causas de problemas em fundações. O bom desempenho depende de especificações detalhadas de materiais e procedimentos, uso de equipamentos adequados e rigoroso controle construtivo.

Assim, observa-se que as manifestações patológicas em fundações podem ter origem em diferentes fatores, desde deficiências de investigação geotécnica e erros de projeto até falhas de execução no campo. Dentre estas, destacam-se os problemas relacionados ao concreto, cuja dosagem inadequada pode resultar em baixa resistência, segregação, dificuldade de preenchimento da estaca e perda de desempenho estrutural. Essas ocorrências, somadas a deficiências de supervisão e à ausência de compatibilização entre projeto e execução, tornam-se determinantes para o surgimento de recalques, fissuras e instabilidade estrutural. Dessa forma, fica evidente a necessidade de rigoroso controle tecnológico dos materiais e da execução.

2.3 Técnicas de remediações e complementos

As fundações podem manifestar patologias devido a uma variedade de fatores, como inadequação do projeto às condições do subsolo, problemas de execução, alterações nas cargas da estrutura ou mudanças no lençol freático. A intervenção para recuperação ou reforço desses elementos é uma etapa crítica que demanda diagnóstico preciso e seleção de técnicas adequadas, as quais devem ser embasadas em critérios técnicos robustos (SOUZA; RIPPER, 1998).

De forma geral, as soluções podem ser classificadas em três categorias principais: reforços, suplementos e complementos ao fator de segurança.

2.3.1 Reforços

Os reforços têm como objetivo aumentar diretamente a capacidade de carga da fundação existente, redistribuindo esforços para novos elementos estruturais. Entre as técnicas mais empregadas destacam-se:

- Microestacas: elementos de pequeno diâmetro, geralmente em concreto, executados com perfuração, armadura e injeção de calda de cimento sob pressão e próximos à fundação original para assumir parte dos esforços transmitidos pela estrutura (VELLOSO; LOPES, 2010);
- Encamisamento: ampliação da seção resistente da fundação por meio da adição de concreto ou revestimento metálico em torno do elemento existente;

- Injeção de calda de cimento ou resinas expansivas: utilizada para preencher vazios no solo, melhorar a compactidade e aumentar a resistência de suporte da região próxima à fundação.

2.3.2 Suplementos

Os suplementos consistem em medidas parciais de reforço, aplicadas quando a fundação apresenta capacidade de carga relativamente próxima à necessária, mas ainda insuficiente para atender às exigências de projeto. Essas soluções não substituem totalmente a fundação existente, mas atuam como um suporte adicional. Exemplos incluem:

- Estacas suplementares associadas a blocos de coroamento, que trabalham em conjunto com a fundação original;
- Chumbadores ou elementos metálicos adicionais, utilizados para aumentar a ancoragem em fundações superficiais.

2.3.3 Complemento ao fator de segurança

Há casos em que a fundação possui capacidade resistente adequada para suportar as cargas atuantes, mas o fator de segurança resultante não atende às recomendações normativas. Nesses casos, podem ser adotadas medidas indiretas que aumentam a segurança global da estrutura, sem alterar significativamente a fundação original. Entre as alternativas destacam-se:

- Redução de cargas estruturais, como substituição de revestimentos pesados por materiais mais leves ou alterações arquitetônicas que diminuam as solicitações;
- Melhorias do solo, por meio de técnicas como compactação, drenagem ou injeções, visando aumentar a resistência e reduzir a deformabilidade;
- Execução de estacas complementares, que, além de redistribuir esforços, podem ser enquadradas como medidas de reforço ou de complemento ao fator de segurança, a depender do caso específico.

Assim, a seleção da técnica de remediação deve considerar uma avaliação criteriosa das condições de campo, de forma a garantir que a solução adotada seja tecnicamente viável, econômica e compatível com a estrutura existente.

2.4 Estudos de casos semelhantes

A análise de casos semelhantes é fundamental para compreender como falhas em fundações podem comprometer a segurança estrutural e quais estratégias de remediação podem ser aplicadas em diferentes contextos. A literatura apresenta diversos relatos de ocorrências em

que problemas de execução, dimensionamento ou condições imprevistas do solo resultaram na necessidade de reforço ou complementação das fundações.

- Caso 1:

Um exemplo relevante é apresentado por Milititsky et al. (2008), em que a estaca prevista em projeto foi substituída, no canteiro de obras, por elementos considerados “equivalentes”, devido à ausência de ferramentas e materiais adequados. O caso refere-se a um bloco projetado para suportar um pilar de extremidade de um edifício de doze pavimentos, com carga de 300 toneladas, dimensionado originalmente com quatro estacas tipo Franki de 450 mm de diâmetro. Por problemas de acesso junto a um poste de transformador, duas dessas estacas foram substituídas por estacas tipo Strauss de 500 mm de diâmetro, executadas com equipamento de menor porte para evitar riscos de interferência com cabos de alta tensão. No entanto, essa solução resultou em deficiência da capacidade de carga do bloco e no desaprumo do edifício, sendo necessário um reforço emergencial da fundação com perfis metálicos. Além da baixa resistência intrínseca, a execução das estacas Strauss comprometeu o comportamento das estacas já cravadas, em razão da escavação exigida para sua instalação, reduzindo o confinamento dos elementos originais (Figura 3).

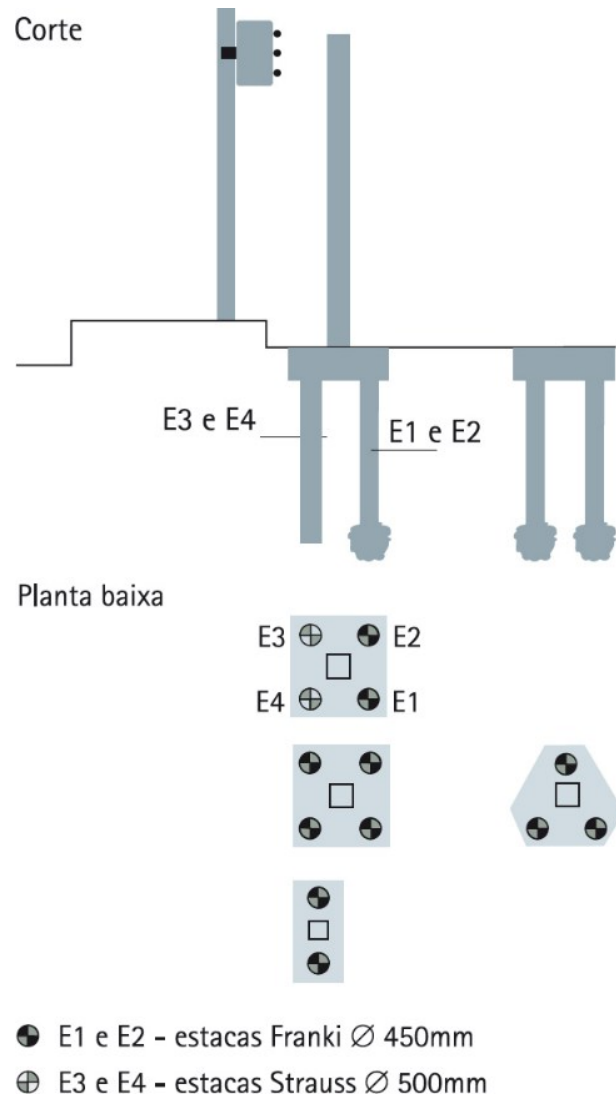
- Caso 2:

Outro exemplo é descrito por Moreira (2018), em um edifício residencial de grande porte localizado em Goiânia, composto por 30 pavimentos apoiados em blocos sobre tubulões. Durante a execução e monitoramento da obra, foram observadas fissuras e trincas em diferentes pontos da estrutura, principalmente nos subsolos e mezaninos, com rápida evolução das aberturas. Inicialmente, investigaram-se possíveis falhas na argamassa e no encunhamento, mas as análises confirmaram que a origem do problema estava no dimensionamento inadequado da fundação, em especial do bloco que sustentava os pilares P37 e P38. Sondagens adicionais e medições de recalque comprovaram que a fundação não suportava adequadamente os esforços previstos, levando a recalques diferenciais e perda de desempenho estrutural. A solução adotada consistiu no reforço do solo por meio de injeção de calda de cimento, associado ao encamisamento e ampliação do bloco de coroamento, o que garantiu a capacidade de suporte necessária.

Dessa forma, tais exemplos evidenciam que decisões inadequadas de projeto ou execução, ainda que motivadas por restrições de campo, podem comprometer significativamente o desempenho estrutural e a estabilidade global da edificação. Assim,

reforça-se a importância da compatibilização entre projeto e execução, bem como do controle tecnológico rigoroso durante todas as etapas da obra.

Figura 3: Execução de estacas diferentes num mesmo bloco resultando em rigidez diferente da projetada



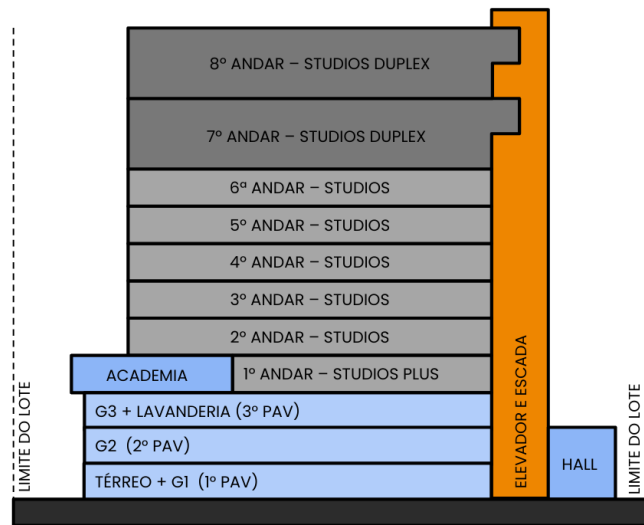
Fonte: Milititsky et al. (2008)

3. CASO DE OBRA

3.1 Caracterização da obra

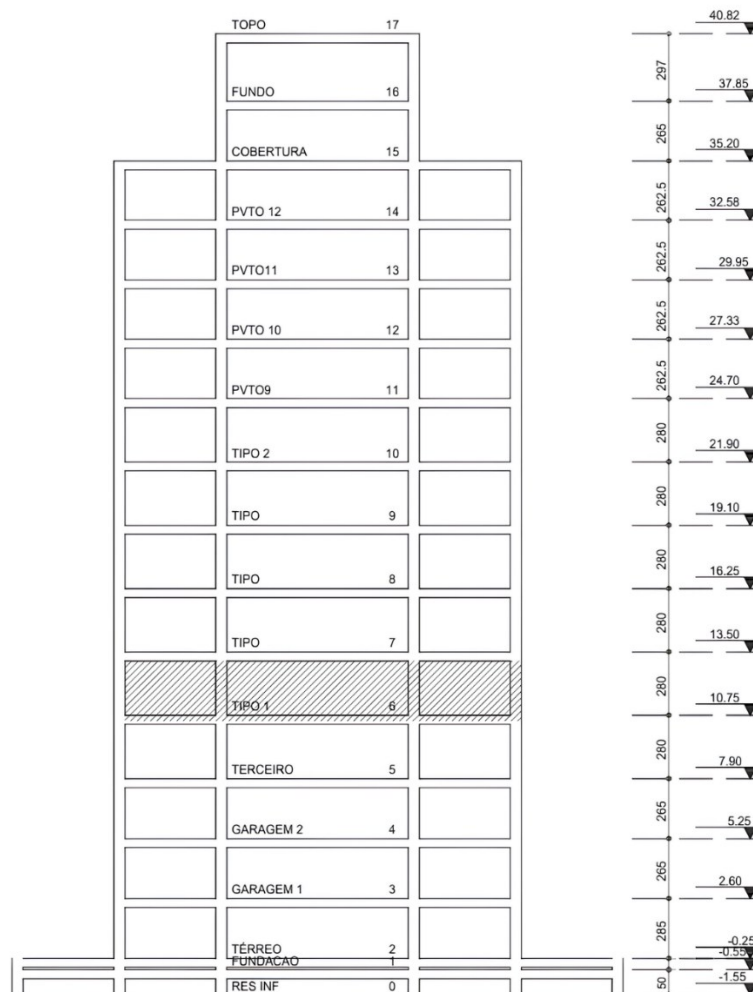
O empreendimento em estudo é um edifício residencial composto por doze pavimentos, sendo três destinados a garagem, onde o térreo abriga o hall de entrada, o segundo nível concentra o espaço administrativo do condomínio e o terceiro pavimento contém a lavanderia coletiva. Os oito pavimentos superiores são destinados a apartamentos no formato *studios*, variando de 28 a 38 m² como demonstra as figuras 4 e 5.

Figura 4: Corte do empreendimento



Fonte: Autora (2025)

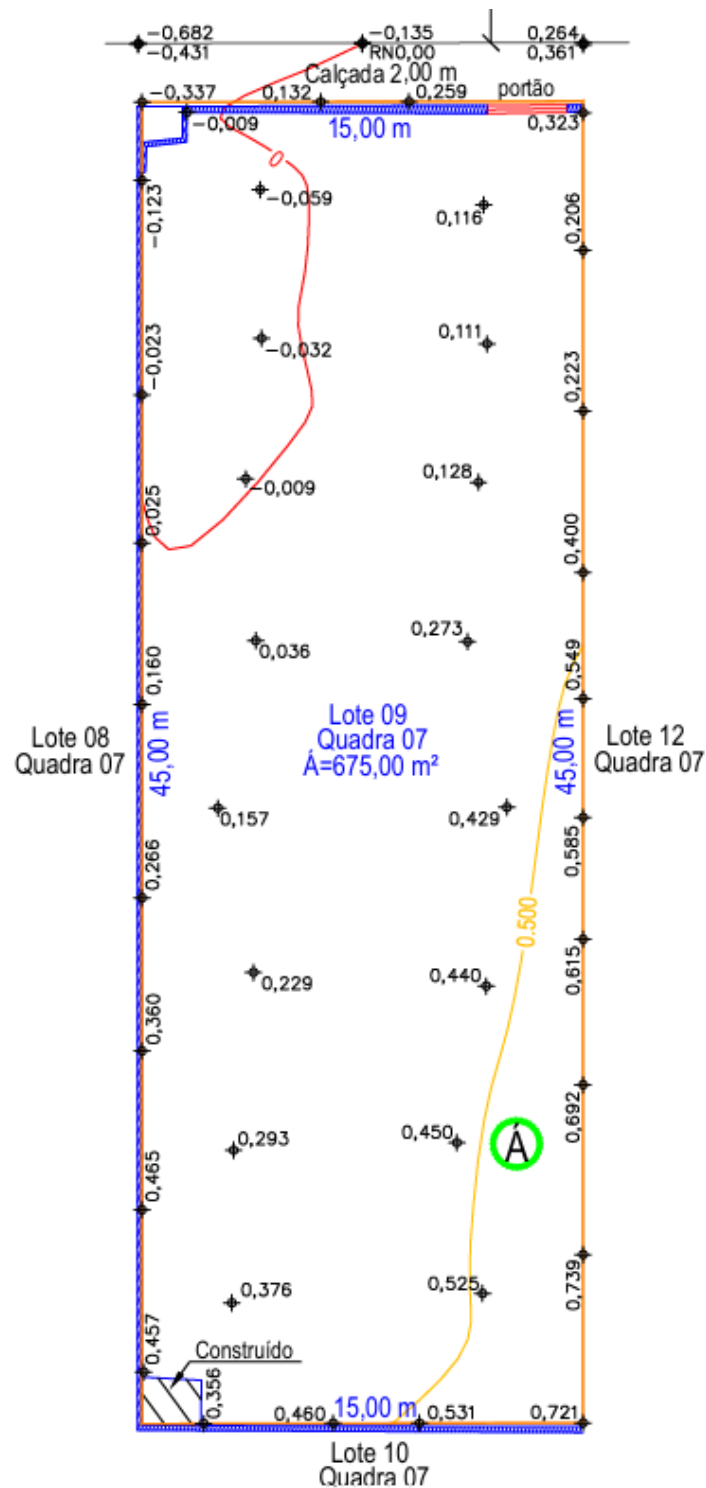
Figura 5: Corte esquemático com cotas do empreendimento



Fonte: Autora (2025)

Em relação às condições do terreno, o levantamento topográfico apresentado na Figura 6 evidencia uma declividade suave, com variação de cotas da ordem de 0,8 m. Essa característica facilita a implantação do empreendimento, mas exige atenção no nivelamento da execução dos blocos de coroamento e no controle da cota de arrasamento das estacas.

Figura 6: Levantamento topográfico do terreno



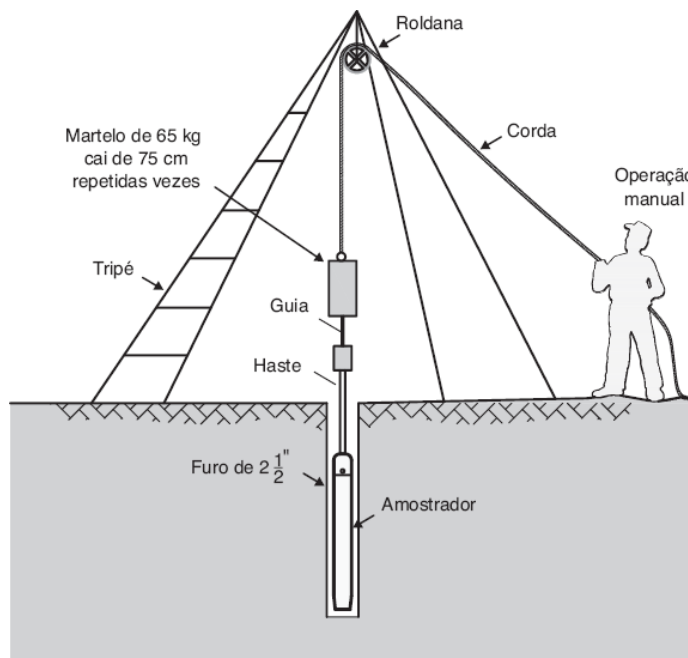
Fonte: Adaptado de Allo Topografia (2019)

3.2 Caracterização geológico-geotécnica

A caracterização geotécnica do solo consiste na identificação dos materiais que o compõem, bem como na determinação de seus parâmetros de resistência e deformabilidade. Esse processo é essencial para compreender o comportamento do terreno frente às solicitações impostas pela estrutura, tanto em termos de capacidade de suporte quanto de possíveis deformações. Além disso, inclui a verificação do nível do lençol freático, fator que pode influenciar diretamente na escolha e no desempenho das fundações. Com isso, busca-se prevenir manifestações patológicas futuras e fornecer subsídios técnicos que orientem o projetista na definição do tipo de fundação mais adequado às condições locais.

Segundo parâmetros de execução estabelecidos pela ABNT NBR 6484:2020, a sondagem de simples reconhecimento consiste basicamente em dois tipos de operação: perfuração e amostragem. Durante a execução da sondagem, é realizado o ensaio SPT (Standard Penetration Test) que permite a determinação da resistência mecânica do solo, por meio do número de golpes necessários à cravação de um amostrador padrão (N_{SPT}), onde a forma de execução é demonstrada na Figura 7.

Figura 7: Demonstrativo ensaio SPT



Fonte: Albuquerque e Garcia (2020)

Dessa forma, segundo a ABNT NBR 8036:1983, as sondagens devem ser, no mínimo, de uma para cada 200 m² de área da projeção em planta do edifício, até 1200 m² de área. Entre 1200 m² e 2400 m² deve-se fazer uma sondagem para cada 400 m² que excederem de 1200 m².

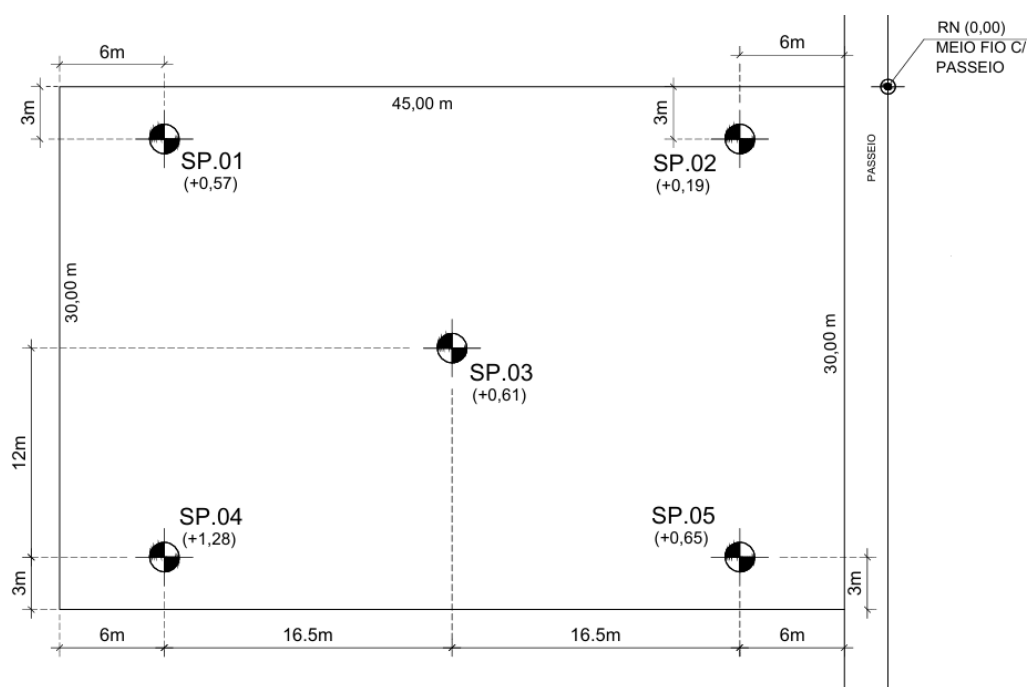
Acima de 2400 m² o número de sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção. Em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser:

- a) dois para área da projeção em planta do edifício até 200 m²;
- b) três para área entre 200 m² e 400 m².

Além disso, as sondagens devem ser levadas até a profundidade de onde o solo não seja mais significativamente solicitado pelas cargas estruturais, fixando-se como critério aquela profundidade onde o acréscimo de pressão no solo, devida às cargas estruturais aplicadas, for menor do que 10% da pressão geostática efetiva.

No caso da obra apresentada, o terreno possui área de 675 m² e aproximadamente 535 m² de área ocupada pela projeção em planta do edifício. Dessa forma, conforme as diretrizes da norma, seriam necessários pelo menos 3 furos de sondagem SPT dispostos no terreno, porém, com o objetivo de construir outra edificação semelhante no terreno ao lado, foi definido a sondagem dos dois terrenos em conjunto com 5 furos no total (Figura 8).

Figura 8: Locação dos furos de sondagem



Fonte: Adaptado de Sondotec (2024)

Segundo boletim de sondagem, as perfurações totalizaram 89,89 metros, além disso, pode-se perceber que o solo é predominantemente argiloso, com o nível do lençol freático variando entre 5 e 6 metros de profundidade e o impenetrável na média dos 17 metros de profundidade, como demonstrado nos anexos A à E.

3.3 Projeto de Fundação Inicial

Levando em consideração os projetos arquitetônico e estrutural, juntamente com o estudo do terreno e do solo, foram inicialmente previstas 89 estacas escavadas do tipo hélice contínua monitorada, com diâmetro variando entre 35 e 60 centímetros (Figura 9). Conforme definido em projeto, o critério de paralisação da perfuração, ou seja, a cota de apoio da ponta da estaca no solo, deveria ocorrer no impenetrável, identificado pelo torque máximo atingido na perfuratriz.

Na Figura 10 é possível visualizar o projeto inicial de locação das estacas, sendo o mesmo demonstrado no anexo F para melhor visualização. De acordo com o projeto executivo e as recomendações da ABNT NBR 6122:2022, a perfuração das estacas deveria respeitar o espaçamento mínimo de dez vezes o diâmetro, além do intervalo entre a concretagem de uma estaca e a perfuração de outra, que não deveria ser inferior a 12 horas — tomando como referência à estaca de maior diâmetro. O concreto especificado possuía resistência característica (f_{ck}) de 30 MPa e abatimento (Slump) de 22 ± 3 cm (Figura 9).

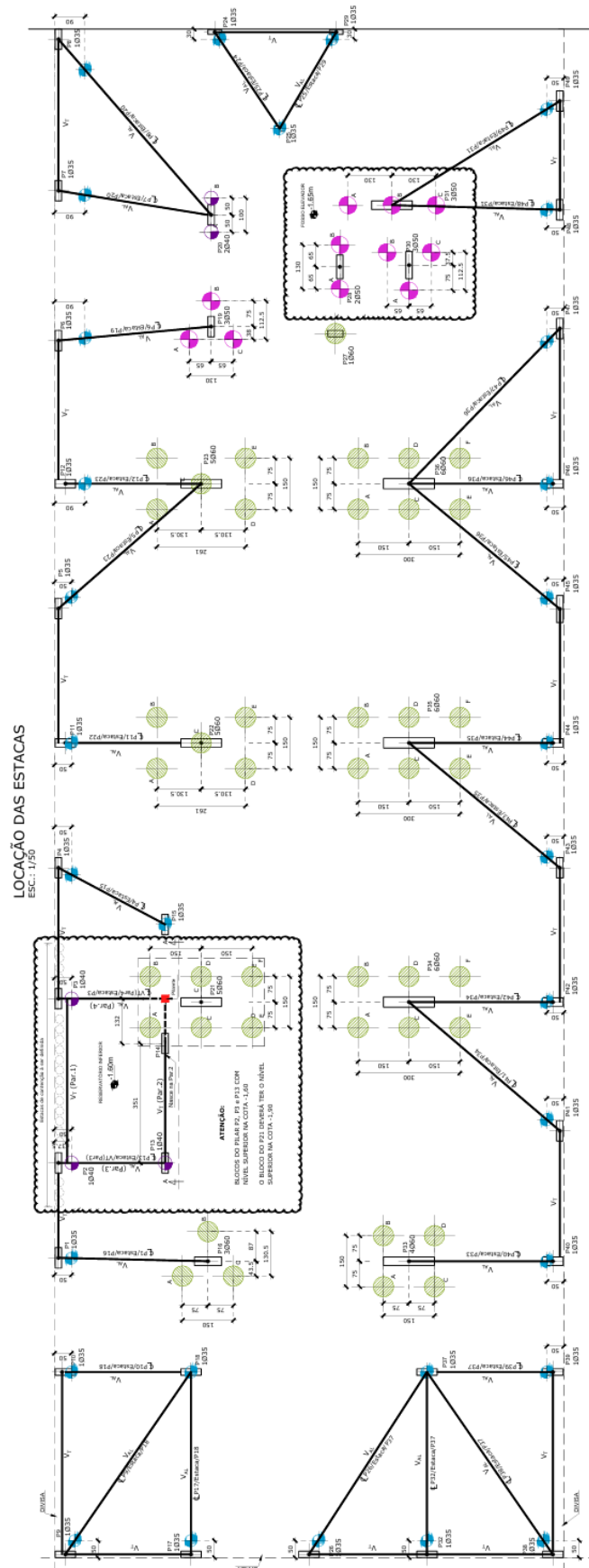
Figura 9: Perfuração por hélice contínua por meio da perfuratriz



Fonte: Autora (2025)

Com o início das perfurações, iniciou-se também o controle tecnológico e conferência do concreto, incluindo a moldagem de corpos de prova in loco e a medição do Slump Test inicial. Esse ensaio permitia o ajuste da fluidez, sendo acompanhado da análise do volume de água retida informado na nota fiscal do concreto (Figura 11).

Figura 10: Projeto Inicial de locação das estacas



Fonte: Adaptado de Sondotec (2024)

Figura 11: Corpos de prova de concreto moldados in loco



Fonte: Autora (2025)

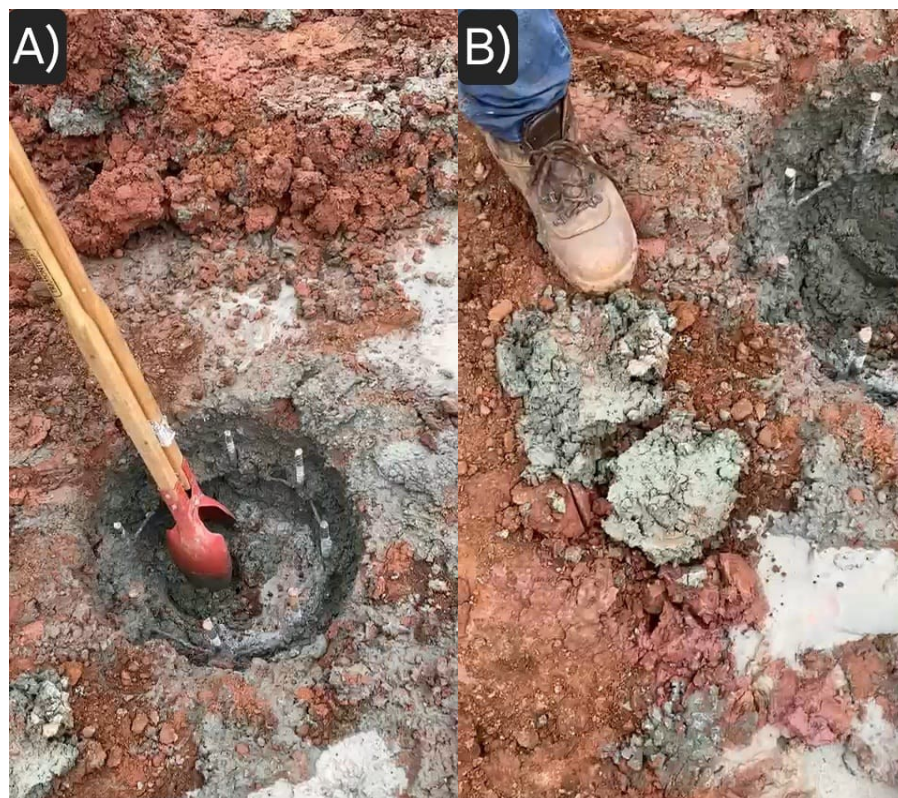
3.4 Problema Encontrado

Após o início das perfurações, foi identificado um desvio no controle das etapas de execução, tanto por parte da equipe de obra quanto da concreteira responsável, uma vez que não foi realizada a devida verificação das estacas concretadas no dia anterior. Dessa forma, a perfuração e a concretagem prosseguiram normalmente e, após a execução de três novas estacas, constatou-se que duas estacas (P36E, P23A) do dia anterior não haviam atingido a pega completa do concreto, apresentando aspecto argamassado mesmo transcorridas as 12 horas mínimas estipuladas em projeto.

Essa ocorrência representava um risco relevante, visto que poderia comprometer a integridade estrutural das estacas, além de potencialmente ocasionar recalques diferenciais e instabilidade global na edificação. Diante disso, o problema foi prontamente reportado à equipe de engenharia de fundações, que determinou a imediata paralisação dos serviços, de modo a evitar o deslocamento das estacas já concretadas e a possível interação inadequada com as novas que estavam sendo executadas.

Assim, a partir da identificação desse problema inicial, tornou-se necessária a análise criteriosa de suas causas, consequências e soluções possíveis, como será discutido nos tópicos seguintes (Figura 12 A e 12 B).

*Figura 12: Aspecto do concreto: a) no fuste da estaca após as 12 horas mínimas
b) retirado do fuste da estaca*



Fonte: Autora (2025)

3.5 Causas e Monitoramento

Segundo Neville (2016), aditivos podem ser definidos como produtos químicos que, salvo exceções, são incorporados ao concreto em proporções de até 5% em relação à massa de cimento, com o objetivo de modificar propriedades específicas da mistura durante a fase plástica. No caso analisado, foi utilizado um aditivo retardador de pega. Ainda de acordo com Neville (2016), esses aditivos têm como principal função prolongar o tempo disponível para transporte, lançamento e adensamento do concreto. No entanto, seu uso requer atenção, visto que, em dosagens inadequadas, podem inibir o processo de pega e comprometer o endurecimento adequado.

Conforme informações da concreteira responsável pelo fornecimento, optou-se pelo uso do aditivo retardador visando aumentar o tempo de plasticidade necessário à execução das estacas por hélice contínua monitorada, adotando-se uma dosagem na faixa de 0,9% a 1% do produto em relação à massa de cimento. Contudo, a combinação desse índice elevado com as baixas temperaturas registradas no dia da execução resultou em um aumento significativo do

tempo de pega do concreto. A empresa assegurou que tal condição não afetaria a resistência final do material, restringindo-se apenas ao atraso no processo inicial de endurecimento.

O monitoramento tecnológico realizado pela equipe de engenharia em campo permitiu identificar detalhes relevantes sobre as falhas ocorridas:

- A estaca P36E, que apresentou falha, foi concretada por dois caminhões diferentes, correspondendo ao segundo e ao terceiro dos oito caminhões que atenderam a obra no dia;
- Já a estaca P23A foi totalmente concretada pelo terceiro caminhão da sequência de fornecimento.

As estacas comprometidas foram monitoradas continuamente pela equipe de obra até que o concreto atingisse a pega adequada, garantindo condições mínimas de resistência para a sequência dos serviços. Somente após essa verificação foi autorizada a retomada das perfurações e concretagens das demais estacas previstas em projeto.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DO ESTUDO DE CASO

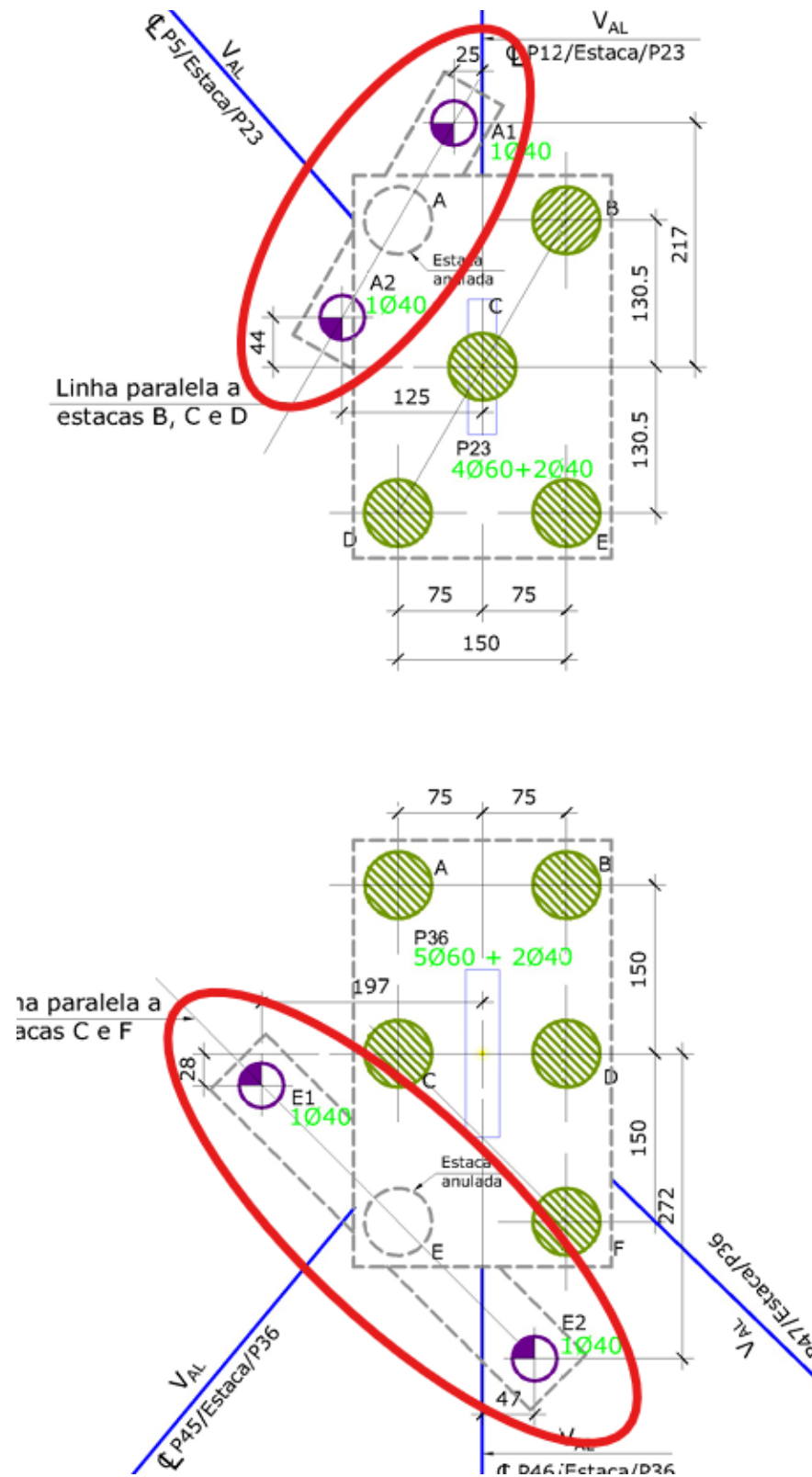
4.1 Solução proposta

Aproximadamente oito dias após a identificação do problema, foi apresentada à obra a proposta de complemento, que consistiu na execução de duas novas estacas próximas às estacas comprometidas, interligadas por meio de um bloco adicional (Figura 13). Essa alternativa foi escolhida por se tratar de uma solução mais simples e de rápida execução, evitando atrasos significativos no cronograma da perfuratriz em obra. As estacas que tiveram retardo na pega do concreto P36E e P23A tinham diâmetro de 60 cm e estavam em blocos de coroamento separados, onde originalmente, no bloco B23 tinha 5 estacas de 60 cm e no bloco B36 tinha 6 estacas de 60 cm. Segundo informações da projetista responsável, o dimensionamento inicial havia sido realizado pelo método semiempírico de Décourt-Quaresma (1978, 1996), que permite estimar a capacidade de carga das estacas a partir da correlação entre resultados de ensaios de sondagem e o comportamento carga-recalque, separando as parcelas de atrito lateral e de ponta.

Para o caso em análise, os projetistas responsáveis decidiram que as estacas que apresentaram retardo excessivo de pega foram consideradas anuladas, de modo que a carga prevista para elas foi redistribuída em duas novas estacas de 40 cm de diâmetro, dimensionadas

para equivaler a uma estaca de 60 cm anulada, como visto na Figura 14 e no anexo G para melhor visualização.

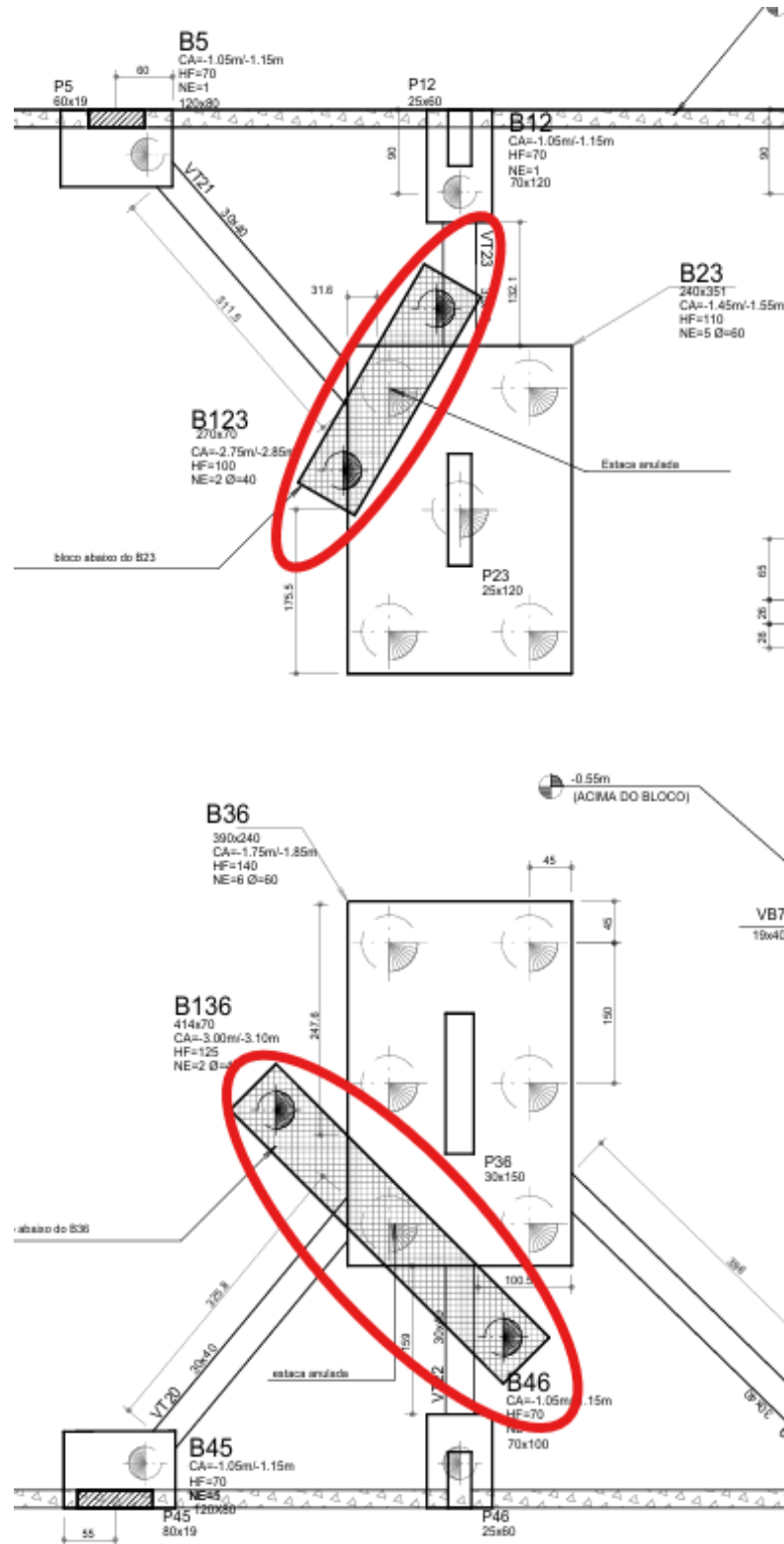
Figura 13: Posicionamento e dimensões das estacas adicionais



Fonte: Autora (2025)

Além disso, foi criado 2 blocos adicionais junto com a equipe de projetista estrutural para suporte e equivalência das cargas recebidas pela estaca que obteve retardo de pega, como demonstrado na Figura 14 e no anexo H para melhor visualização:

Figura 14: Posicionamento e dimensões dos blocos adicionais



Fonte: Autora (2025)

4.2 Resultado da resistência das estacas

Após sete dias de acompanhamento das estacas que apresentaram retardo de pega, foram realizados ensaios de resistência à compressão axial em corpos de prova moldados durante a concretagem, conforme o controle tecnológico da obra. Os resultados indicaram que as estacas P36E e P23A atingiram valores superiores a 100% da resistência característica (f_{ck}) prevista em projeto já aos 7 dias de idade. Esse desempenho ultrapassa o mínimo exigido pela ABNT NBR 6118:2024, que estabelece que, nesse período, o concreto deve apresentar cerca de 70% da resistência de projeto, garantindo assim a segurança e confiabilidade das estacas executadas. (Tabela 1)

Tabela 1: Resultado dos ensaios de determinação da resistência à compressão de corpos de prova de concreto

Estaca executada	Slump Test (mm)	Abatimento de projeto (mm)	Resistência a compressão de projeto – f_{ck} (MPa)	Idade	Resistência a compressão da amostra (MPa)
P36E	250	220± 30	30	7 DIAS	34
				14 DIAS	42,5
				28 DIAS	49,6
P23A	240	220± 30	30	7 DIAS	31
				14 DIAS	38,4
				28 DIAS	45

Fonte: Autora (2025)

4.3 Possíveis soluções

Além da solução adotada, que consistiu na execução de novas estacas interligadas por um bloco adicional, outras alternativas poderiam ter sido avaliadas para a correção do problema. Entre as principais técnicas de remediação destacam-se:

- Análise da resistência à compressão: caso o prazo de execução não fosse fator crítico, a decisão de aguardar os resultados dos ensaios de resistência do concreto poderia ter indicado a viabilidade de manter as estacas executadas, evitando a necessidade de novas estacas e de um novo bloco.
- Provas de carga em fundações profundas: ensaios de carregamento estático poderiam ser empregados para avaliar diretamente a capacidade de carga das estacas comprometidas. Este procedimento permite verificar a integridade estrutural do elemento, estimar a carga de ruptura e analisar o comportamento carga × deslocamento, conforme prescrito na ABNT NBR 16903:2020.
- Injeção de calda de cimento ou resinas expansivas: técnica que promove o preenchimento de vazios e a melhoria da resistência do solo em torno da estaca, aumentando sua capacidade de carga e reforçando o desempenho da fundação existente.

4.4 Execução da proposta

Com a aprovação do novo projeto, iniciou-se a execução por meio da perfuratriz que ainda permanecia disponível em obra. Após a conclusão da fundação profunda, deu-se continuidade à etapa de fundação superficial, composta por blocos e vigas baldrames. Entretanto, devido à presença dos blocos adicionais de complemento, foi necessária a inclusão de uma etapa intermediária de execução, uma vez que estes se encontravam em cota inferior ao bloco principal de coroamento. A etapa teve início com o arrasamento da cabeça das estacas dos blocos complementares B123 e B136, onde em sequência foi posicionado a armadura deles, demonstrado nas figuras 15 e 16.

Figura 15: Escavação e arrasamento das estacas adicionais A1 e A2 e, E1 e E2



Fonte: Autora (2025)

Figura 16: Posicionamento de armadura dos blocos B123 e B136



Fonte: Autora (2025)

Além disso, os dois blocos adicionais foram executados e concretados de forma contra o barranco, com aplicação de chapisco interno e lastro de 5 cm de brita no fundo, visando garantir maior aderência e regularização da base. Já os blocos principais foram executados em formas, com nova conferência da locação dos pilares realizada pela equipe de topografia, assegurando a precisão geométrica e o alinhamento do sistema de fundações (Figura 17).

Figura 17: Concretagem dos blocos principais



Fonte: Autora (2025)

4.5 Análise crítica

Em uma análise crítica de todo o ocorrido, destaca-se a relevância do controle rigoroso no uso de aditivos. De acordo com Souza e Ripper (1998), sempre que possível deve-se evitar o emprego de aditivos, priorizando a obtenção das propriedades desejadas do concreto a partir de uma dosagem adequada dos seus constituintes, reservando o uso desses produtos como última alternativa. Quando adotados, é imprescindível o controle da dosagem, visto que o excesso pode não apenas retardar o endurecimento, mas também comprometer a integridade e a resistência final do concreto.

Outro ponto a ser considerado refere-se à escolha da solução de complemento da fundação. A busca por rapidez e economia levou à adoção imediata da execução de estacas adicionais interligadas por novos blocos.

Além disso, a justificativa apresentada pela concreteira mostrou-se parcialmente consistente. Embora seja verdade que temperaturas mais baixas retardam a hidratação do cimento, a concretagem foi realizada em período diurno de temperatura elevada, sendo a queda térmica significativa apenas à noite. Tal condição não justificaria, por si só, um atraso de mais de 24 horas na pega do concreto.

Por fim, ao analisar a solução adotada, observa-se que a execução de estacas e blocos adicionais configuraria um reforço caso as estacas afetadas não atingissem a resistência mínima especificada. Contudo, como os ensaios de compressão comprovaram valores superiores ao fck requerido, pode-se interpretar os elementos adicionais não como um complemento essencial, mas como complementos de fundação, atuando para elevar o fator de segurança do sistema já existente.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou analisar as manifestações patológicas em fundações profundas, destacando suas possíveis causas, técnicas de remediação e complemento, bem como a aplicação prática desses conceitos em um caso real de obra. Por meio da revisão bibliográfica, foi possível compreender que as patologias em fundações decorrem de uma série de fatores, incluindo deficiências no reconhecimento do subsolo, erros de dimensionamento, falhas na execução e problemas relacionados ao controle tecnológico dos materiais. Tais ocorrências, quando não identificadas e tratadas corretamente, podem comprometer a estabilidade, funcionalidade e durabilidade da edificação.

A análise de estudos de casos semelhantes encontrados na literatura evidenciou que as falhas em fundações não se restringem a situações pontuais, mas representam um desafio recorrente na engenharia civil. Esses relatos reforçam a importância de investigações geotécnicas adequadas, fiscalização rigorosa e compatibilização entre projeto e execução, de modo a minimizar riscos de recalques diferenciais e instabilidades estruturais.

No caso específico da obra estudada, verificou-se que a principal causa do problema esteve associada ao uso inadequado de aditivo retardador de pega no concreto, aliado à ausência de verificação das estacas concretadas no dia anterior. Esse cenário levou à necessidade de paralisação da execução e ao desenvolvimento de uma solução emergencial para complemento das fundações. A alternativa adotada consistiu na execução de novas estacas interligadas por blocos adicionais, garantindo a segurança da estrutura, ainda que tenha implicado em custos adicionais e em um novo sequenciamento executivo.

Os ensaios de resistência à compressão, por sua vez, comprovaram que as estacas inicialmente comprometidas atingiram valores superiores aos exigidos pela norma, o que levanta uma discussão importante acerca da escolha da solução. Embora eficaz, a opção pelo complemento imediato demonstrou-se conservadora, e alternativas como a realização de provas de carga ou o simples monitoramento da resistência poderiam ter evitado a execução de novos blocos.

Diante disso, ressalta-se a importância do controle tecnológico rigoroso, tanto no fornecimento e dosagem de aditivos quanto no acompanhamento das etapas de execução em campo. Por fim, conclui-se que a experiência analisada reforça a necessidade de integração entre projetistas, fornecedores e equipes de obra, além da valorização do monitoramento e do controle de qualidade em todas as fases da construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DANZIGER, Bernadete Ragoni; LOPES, Francisco de Rezende. *Fundações em estacas*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

DAS, Braja M. *Princípios de engenharia de fundações*. São Paulo: Cengage Learning, 2016. Adaptação e tradução da 8ª edição norte-americana.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. Volume completo. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. *Patologia das fundações*. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha de; GARCIA, Jean Rodrigo. *Engenharia de fundações*. 1. ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

ANDRADE, Stephane Lima Pereira de; GUIMARÃES, Diego; ALMEIDA, Patrícia de; SENA, Caroline Silva; PETER, Eduardo Alcides; VENTURI, Denise Itajahy Sasaki Gomes; SANTOS, Dione Dulcinea dos. *Fundações e obras de contenção*. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

PINTO, Carlos de Sousa. ***Curso básico de mecânica dos solos: em 16 aulas***. 3. ed. com exercícios resolvidos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

CAMPOS, João Carlos de. ***Elementos de fundações em concreto***. 2. ed. atualizada. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

NEVILLE, A. M. ***Propriedades do concreto***. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. ***Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto***. São Paulo: Pini, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR 6122: Projeto e execução de fundações***. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Emenda 1: 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios***. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto***. 4. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Versão corrigida 2: 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR 6484: Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio***. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

MOREIRA, Carla Mesquita. ***Análise e proposta de reforço de fundação devido às patologias apresentadas em um edifício residencial***. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. ***Fundações por estacas: projeto geotécnico***. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

WYDE. **Reforço de fundação**. Disponível em: <<https://www.wyde.com.br/reforco-fundacao>>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ANEXO A – RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 1

INÍCIO: 14/12/2023		SONDAGEM N°		SP.01		DIÂMETRO NORMAL DE REVESTIMENTO 2 1/2"								
TÉRMINO: 15/12/2023						DIÂMETRO DO AMOSTRADOR - Ø _{EXT} 2" - Ø _{INT} 1 3/8"								
COTA RN (m)	N.A. e DATA	AVANÇO DO FURO	PERFIL GEOLOGICO	ENSAIO DE PENETRAÇÃO				SPT N/ 30cm FINAIS	TORQUE (kgf.m)	PROF. (m)	GRÁFICO DO N° DE GOLPES / 30 cm			CLASSIFICAÇÃO
				0/	N/15	N/15	N/15				10	20	30	
0,57														
			1	-	1	1	1	2						MARROM, MUITO MOLE.
			2	-	2	1	1	2						
			3	-	1	1	1	2						
			4	-	2	2	2	4		3,50				
			5	-	2	2	2	4						C/ PEDREG. ESPARSOS DE QUARTZO, COR VARIEGADA, MUITO MOLE A MOLE.
-4,43			6	-	1	1	1	2		5,60				
	18/12/2023	6,00	7	-	1	2	1	3						COR VARIEGADA, MUITO MOLE A MÉDIO.
			8	-	1	1	1	2						
			9	-	2	3	2	5						
			10	-	3	3	4	7						
			11	-	2	2	3	5						
			12	-	3	3	4	7						
			13	-	5	6	7	13		12,80				
			14	-	6	8	9	17						
			15	-	4	6	8	14						
-14,43			16	-	6	8	10	18						
			17	-	11	16	27	43		16,55				
			18							17,61				
			19											
			20											
-19,43			21											
CA.: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRADO O NÍVEL D'ÁGUA				AVANÇO POR TEMPO:				1ºs 10 min		LEGENDAS:		RV TC TH CA		
<input type="checkbox"/> AVANÇO INFERIOR A 50mm APÓS 10min								2ºs 10 min		----- INICIAIS				
<input type="checkbox"/> SOLO ADERENTE AO TRADO								3ºs 10 min		———— FINAIS				

ANEXO B - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 2

INÍCIO: 18/12/2023		SONDAGEM N° SP.02		DIÂMETRO NORMAL DE REVESTIMENTO 2 1/2"	
TÉRMINO: 19/12/2023				DIÂMETRO DO AMOSTRADOR - Ø _{EXT} 2" - Ø _{INT} 1 3/8"	

COTA RN (m)	N.A. e DATA	AVANÇO DO FURO	PERFIL GEOLÓGICO	ENSAIO DE PENETRAÇÃO				SPT N/ 30cm FINAIS	TORQUE (kgf.m)	PROF. (m)	GRÁFICO DO N° DE GOLPES / 30 cm			CLASSIFICAÇÃO		
				O/	N/15	N/15	N/15				10	20	30			
0,19																
-4,61	20/12/2023		1	-	1	1	1	2							MARROM, MUITO MOLE A MOLE.	
			2	-	1	2	1	3								
			3	-	1	1	2	3								
			4	-	2	2	2	4		3,50				ARGILA ARENOSA		
			5	-	2	3	2	5								
			6	-	3	3	3	6		5,80						
			7	-	2	2	2	4								
			8	-	3	3	3	6								
			9	-	3	3	4	7								COR VARIEGADA, MOLE A MEDIO.
			10	-	3	2	4	6								
11	-	2	2	2	4											
12	-	2	3	3	6											
-9,81			13	-	4	5	7	12		12,70					C/ TRAÇOS DE ALTERAÇÃO DE BASALTO, COR VARIEGADA, RIJO A DURO	
			14	-	5	7	7	14								
			15	-	6	8	8	16								
			16	-	7	9	11	20								
-14,81			17	-	23	22 12	-	22 12		16,60				C/ ALTERAÇÃO DE BASALTO, COR VARIEGADA, DURO.		
			18	-	24	21	-	21 15								
			19	-	38 6	-	-			19,10						
			20												IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO EM ROCHA OU MATAÇÃO	
			21													

■ ENCONTRADO O NÍVEL D'ÁGUA

CA.:

□ AVANÇO INFERIOR A 50mm APÓS 10min

□ SOLO ADERENTE AO TRADO

AVANÇO POR TEMPO:

1ºs 10 min

2ºs 10 min

3ºs 10 min

LEGENDAS:

--- INICIAIS

— FINAIS

RV

TC

TH

CA

ANEXO C - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAAGEM PARA O FURO 3

[illegible]

ANEXO D - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 4

INÍCIO: 13/12/2023		SONDAGEM N°		SP.04		DIÂMETRO NORMAL DE REVESTIMENTO 2 1/2"								
TÉRMINO: 14/12/2023						DIÂMETRO DO AMOSTRADOR - Ø _{EXT} 2" - Ø _{INT} 1 3/8"								
COTAR N (m)	N.A. e DATA	AVANÇO DO FURO	PERFIL GEOLOGICO	ENSAIO DE PENETRAÇÃO				SPT N/ 30cm FINAIS	TORQUE (kgf.m)	PROF. (m)	GRÁFICO DO N° DE GOLPES / 30 cm			CLASSIFICAÇÃO
1,28				0/	N/15	N/15	N/15				10	20	30	
			1	-	1	1	1	2						MARROM, MUITO MOLE A MOLE.
			2	-	1	1	2	3						
			3	-	2	2	2	4						
			4	-	2	3	3	6		2,90				
			5	-	2	2	2	4						
-3,72	5,05		6	-	2	3	2	5		5,50				C/ PEDREG. ESPARSOS DE QUARTZO, COR VARIEGADA, MOLE A MÉDIA.
	18/12/2023		7	-	3	5	6	11						
			8	-	6	7	8	15						
			9	-	4	5	5	10						
			10	-	4	5	6	11						
-8,72			11	-	2	1	2	3						COR VARIEGADA, MOLE A RIJO.
			12	-	2	2	2	4						
			13	-	2	3	3	6						
			14	-	3	4	6	10						
			15	-	6	8	10	18		14,80				
-13,72			16	-	7	10	14	24						C/ TRAÇOS DE ALTERAÇÃO DE BASALTO, COR VARIEGADA, RIJO A DURO.
			17	-	9	16	22	38		16,60				
			18							17,82				
			19											
			20											
-18,72			21											C/ ALTERAÇÃO DE BASALTO, COR VARIEGADA, DURO.
														IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO EM ROCHA OU MATAÇÃO

CA.: ☐

ENCONTRADO O NÍVEL D'ÁGUA

☐

AVANÇO INFERIOR A 50mm APÓS 10min

☐

SOLO ADERENTE AO TRADO

AVANÇO POR TEMPO:

1º 10 min

2º 10 min

3º 10 min

LEGENDAS:

----- INICIAIS

———— FINAIS

RV

TC

TH

CA

ANEXO E - RESULTADO DO ENSAIO DE SONDAGEM PARA O FURO 5

INÍCIO:		19/12/2023		SONDAGEM N°		SP.05		DIÂMETRO NORMAL DE REVESTIMENTO 2 1/2"					
TÉRMINO:		20/12/2023						DIÂMETRO DO AMOSTRADOR - Ø _{EXT} 2" - Ø _{INT} 1 3/8"					
COTA RN (m)	N.A. e DATA	AVANÇO DO FURO	PERFIL GEOLOGICO	ENSAIO DE PENETRAÇÃO				SPT N/ 30cm FINAIS	TORQUE (kgf.m)	PROF. (m)	GRÁFICO DO N° DE GOLPES / 30 cm	CLASSIFICAÇÃO	
				O/	N/15	N/15	N/15						
0,65													
-4,35	21/12/2023	4,85	1	-	1	1	1	2					MARROM, MUITO MOLE.
			2	-	2	2	1	3		1,60		ARGILA ARENOSA	
			3	-	2	2	2	4					
			4	-	2	3	2	5				C/ PEDREG. ESPARSOS DE QUARTZO, COR VARIEGADA, MUITO MOLE A MOLE.	
			5	-	3	3	4	7		3,90			
			6	-	4	4	6	10					
			7	-	3	3	3	6					
			8	-	3	4	4	8					
			9	-	3	2	4	6					
			10	-	3	3	4	7					
			11	-	3	3	3	6					
			12	-	2	2	6	8		11,70			
			13	-	4	5	5	10					
			14	-	4	5	6	11					
			15	-	5	6	7	13					
			16	-	8	10	15	25					
			17	-	10	16	24	40		16,80			
			-14,35			18						17,81	
19												IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO EM ROCHA OU MATAÇAO	
20													
21													
-19,35													

CA.:

ENCONTRADO O NÍVEL D'ÁGUA

AVANÇO INFERIOR A 50mm APÓS 10min

SOLO ADERENTE AO TRADO

AVANÇO POR TEMPO:

1ºs 10 min

2ºs 10 min

3ºs 10 min

LEGENDAS:

INICIAIS

—

FINAIS

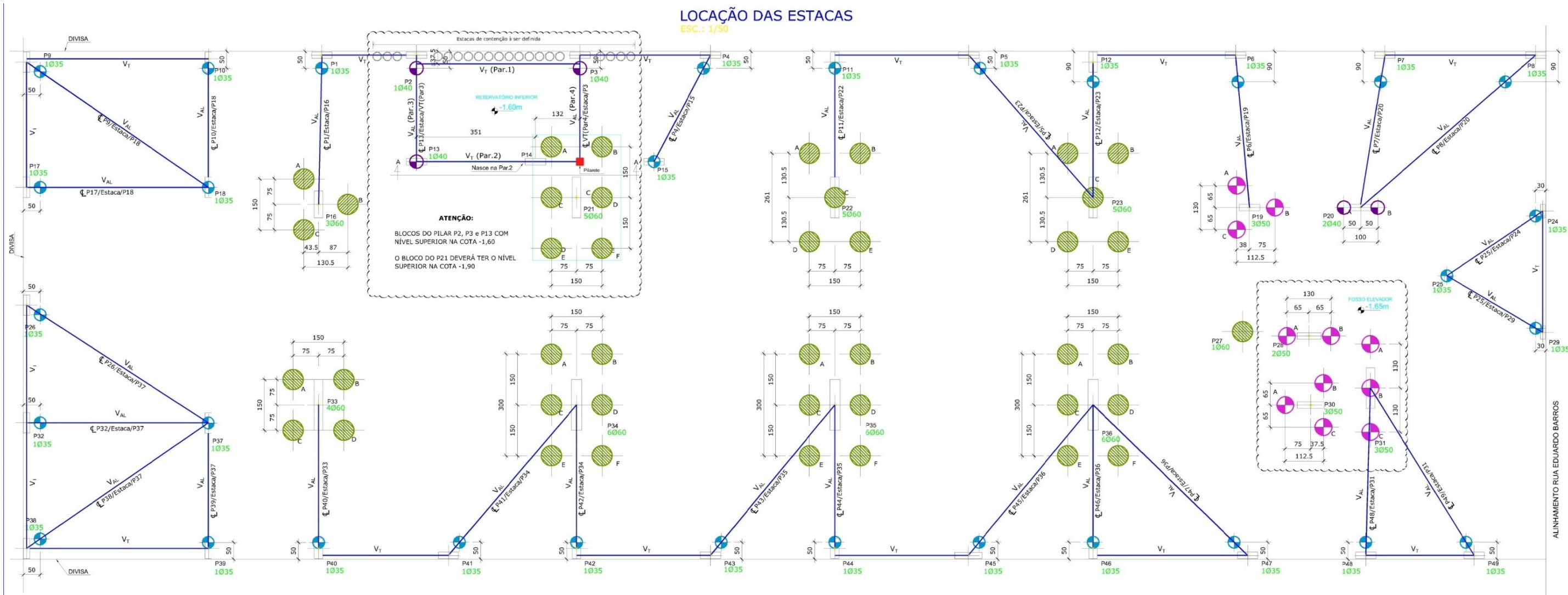
RV

TC

TH

CA

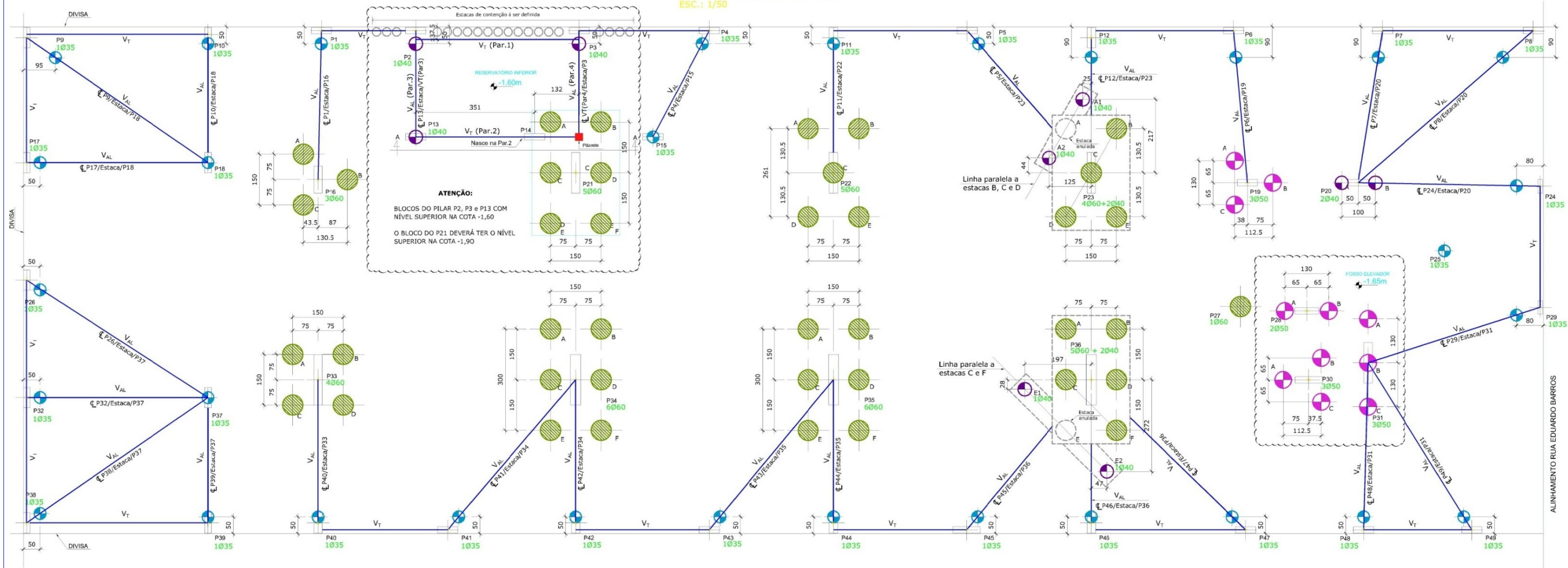
ANEXO F – PROJETO INICIAL DE LOCAÇÃO DAS ESTACAS



ANEXO G – PROJETO REVISADO DE LOCAÇÃO DAS ESTACAS

LOCAÇÃO DAS ESTACAS

ESC.: 1/50



ANEXO H – PROJETO REVISADO DA PLANTA DE FÔRMAS

