



Fundações Profundas em Regiões Cársticas: os desafios encontrados durante as perfurações

Carolina Cesilo dos Santos
Assistente de Engenharia Civil, Geofix Engenharia e Fundações, São Paulo, Brasil,
carolina.santos@geofix.com.br

Luiz Ricardo Araújo Piccolo
Assistente de Engenharia Civil, Geofix Engenharia e Fundações, São Paulo, Brasil,
luiz.piccolo@geofix.com.br

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

Denis Pereira Andrade
Engenheiro Civil, Geofix Engenharia e Fundações, São Paulo, Brasil,
denis.andrade@geofix.com.br

RESUMO: Apresenta-se neste artigo um estudo de caso realizado em uma obra de grande porte na cidade de Cajamar, região metropolitana de São Paulo. O município que já é conhecido por muitos estudiosos desde 1986 pelo famoso “Buraco de Cajamar” - fenômeno repentino de abatimento de solo que destruiu várias residências e comprometeu a estrutura de muitas outras - vem sendo investigado pela presença de rochas carbonáticas que, através de dissolução química, sofrem fenômenos cársticos que provocam a subsidência do solo, como aconteceu no “Espaço Natura” em 2004 também no município de Cajamar, comprometendo a estrutura de vários galpões da fábrica na época. Este artigo apresentará os desafios encontrados durante as perfurações das fundações de três galpões situados sobre formações cársticas, as famosas “cavernas” localizadas abaixo de uma superfície de doze metros de aterro em uma área de 380 mil metros quadrados, bem como o consumo sobreabundante de concreto durante a concretagem de estacas do tipo Hélice Contínua que chegam a trinta e quatro metros de profundidade e oitenta centímetros de diâmetro.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, Geotecnia, Carste, Estaca Hélice Contínua, Cajamar

ABSTRACT: This article presents a case study carried out in a large construction site in the city of Cajamar, in the metropolitan region of São Paulo. The municipality that has been known by many scholars since 1986 for the famous “Cajamar Hole” - a sudden phenomenon of soil collapse that destroyed several residences and compromised the structure of many others - has been investigated for the presence of carbonate rocks that, through dissolution chemically, suffer karst phenomena that cause subsidence of the soil, as happened in “Espaço Natura” in 2004 also in the municipality of Cajamar, compromising the structure of several sheds of the factory at the time. This article will present the challenges encountered during the drilling of the foundations of three sheds located on karst formations, the famous “caves” located below a surface of twelve meters of landfill in an area of 380 thousand square meters, as well as the excessive consumption of concrete during the concreting of Continuous Flight Auger Pile that reach thirty-four meters in depth and eighty centimeters in diameter.

KEYWORDS: Foundations, Geotechnics, Karst, Continuous Flight Auger Pile, Cajamar

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





1 INTRODUÇÃO

Situado às margens da Rodovia Anhanguera, uma das rodovias mais importantes do estado de São Paulo, a construção de um Centro Logístico destacou-se por suas particularidades em geotecnia e fundações. A obra é composta por três galpões construídos em estrutura pré-fabricada e cobertura metálica, totalizando cerca de 200.000 m² de área construída em uma área de intervenção de 380.000 m².

Com base nos resultados obtidos nas investigações de sondagem, optou-se pela fundação em estacas do tipo Hélice Contínua, prevendo perfurações de até trinta e quatro metros de profundidade em um solo com características predominantes de silte e argila, contendo também um material rochoso composto por filito, com inclusões centimétricas de material carbonático.

Durante o processo de perfuração e concretagem das estacas, a equipe de execução encontrou grandes cavernas localizadas abaixo dos doze metros de aterro, o que resultou em um consumo excessivo de concreto em níveis extraordinários. As cavernas encontradas são o resultado do fenômeno cárstico, que são processos geológicos que ocorrem em áreas ricas em rochas solúveis, como calcário, gipsita ou mármore. Essas rochas são vulneráveis à dissolução pela água, resultando na formação de características distintas, como cavernas, dolinas, sumidouros e relevos cársticos.

A presença de fenômenos cársticos pode ser de grande importância em projetos de infraestrutura e construções, já que podem afetar a estabilidade do terreno e causar desafios geotécnicos, assim como eventos que já ocorreram na região de Cajamar e que nos deixaram em alerta durante a execução da fundação deste Centro Logístico.

2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO REGIONAL E PROBLEMAS CÁRSTICOS

A região de Cajamar, localizada no estado de São Paulo, é conhecida por enfrentar problemas relacionados ao solo, especialmente em relação à sua estabilidade geotécnica. A cidade está situada em uma área que faz parte da Bacia do Rio Tietê e abriga uma diversidade de solos e formações geológicas, o que pode levar a diferentes desafios no que diz respeito à construção e infraestrutura.

Em relação a fenômenos cársticos, assim como outras áreas do estado de São Paulo, a região pode enfrentar problemas devido à presença de rochas carbonáticas no subsolo. O carste é uma paisagem formada pela dissolução das rochas carbonáticas, como calcário e dolomita, por água ácida ao longo de períodos geológicos extensos.

A presença de rochas cársticas pode apresentar desafios adicionais durante a construção de infraestrutura, como a necessidade de estudos geotécnicos detalhados para identificar potenciais áreas problemáticas e implementar medidas de mitigação adequadas.

3 FUNDAÇÃO

Uma fundação tem como objetivo transmitir as cargas da estrutura para o solo de maneira segura e estável, evitando problemas como recalques diferenciais e instabilidades.

Existem diversos tipos de fundações, e a escolha do tipo mais adequado depende de vários fatores, incluindo o tipo de solo presente no local, a carga a ser suportada pela estrutura e as características específicas do projeto.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



3.1 Estaca Hélice Contínua

As estacas Hélice Contínua são um tipo de fundação profunda utilizada em obras de engenharia civil e construção para transmitir as cargas da estrutura para camadas mais resistentes do solo.

Este tipo de fundação permite maior agilidade na conclusão do estaqueamento, tendo como principal característica o monitoramento eletrônico e a ausência de vibrações no solo local e vizinho. O equipamento escolhido para a execução das estacas deverá apresentar características mínimas, estabelecidas pelo projetista e pelo executor, de modo que a profundidade especificada no projeto seja assegurada, com torque e força de arranque compatíveis com o diâmetro da estaca e com a resistência do solo a ser perfurado. A especificação tem como objetivo primordial minimizar o desconfinamento do solo durante a perfuração, assegurando, assim, a resistência geotécnica prevista em projeto para a estaca (ABNT NBR 6122:2019).

3.1.1 Método executivo e cuidados na execução

A estaca Hélice Contínua é uma estaca de concreto moldada *in loco*, executada mediante a introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo de diâmetro constante. A injeção de concreto é feita pela haste central vazada do trado simultaneamente à sua retirada. A armadura é sempre colocada após a concretagem da estaca, como indicado na figura 1.

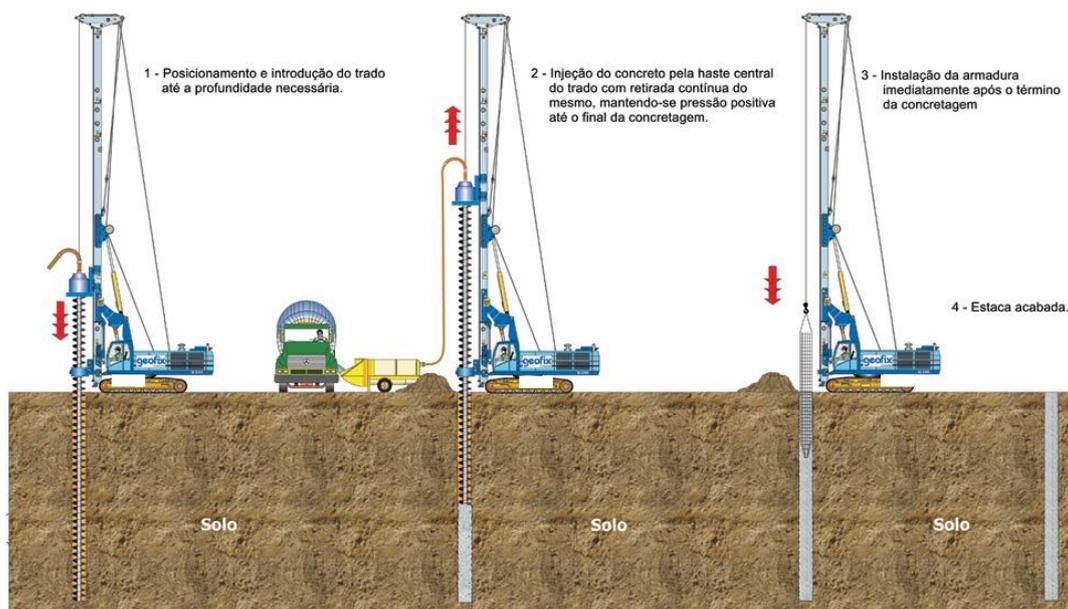


Figura 1. Método executivo de estacas hélice contínua.

Para evitar que durante a introdução do trado haja entrada de solo ou água na haste tubular, existe, em sua face inferior, uma tampa metálica provisória, que é expulsa no início da concretagem.

A metodologia de perfuração permite a sua execução em terrenos coesivos e arenosos, na presença ou não do lençol freático e atravessa camadas de solo resistentes com índice de 30 golpes a mais de 50 golpes (SPT), dependendo do tipo de equipamento utilizado.

A velocidade de perfuração produz em média 250 metros de estaca por dia dependendo do diâmetro, da profundidade, da resistência do terreno e principalmente do fornecimento contínuo do concreto.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



3.2 Equipamento utilizado

Para assegurar uma execução otimizada do projeto, o nosso corpo técnico de engenharia escolheu cuidadosamente o equipamento e ferramentas mais adequadas, levando em conta os desafios impostos pelo terreno, tais como trechos com passagem de rocha fragmentada e aterros de até 13 metros de altura.

Diante das dificuldades encontradas, foi escolhido o modelo C850, cujas características técnicas demonstram sua capacidade para atingir as profundidades necessárias, garantindo o desempenho na perfuração e concretagem.

Para lidar com as passagens de rocha, o equipamento precisava ser capaz de atingir pressões acima de 300 bar. Além disso, foram utilizadas ponteiras com videas para superar os trechos de rochas, o que garantiu maior eficiência e precisão no trabalho.

Com relação à profundidade, o equipamento mostrou-se plenamente adequado às necessidades do projeto, podendo atingir até 34 metros de profundidade, satisfazendo assim o limite requerido no projeto.

A escolha do modelo C850 provou ser acertada, proporcionando maior agilidade na execução do projeto e superando os desafios apresentados pelo tipo de solo, o que contribuiu para uma realização bem-sucedida do empreendimento.

4 RESULTADOS

As obras de fundações deste centro logístico tiveram início em maio de 2022. Inicialmente, o projeto executivo previa a perfuração de 1.083 estacas do tipo Hélice Contínua, com até 34 metros de profundidade. Contudo, devido a revisões de projeto e interferências encontradas durante o processo executivo, o número de perfurações executadas foi de 1.762. Como consequência, o prazo inicial de cinco meses foi estendido para treze meses de obra, representando um aumento de 2,6 vezes mais do que o previsto.

4.1 Projeto x Execução

O gráfico a seguir apresenta a comparação entre as quantidades de estacas de cada diâmetro previstas no projeto e as quantidades efetivamente executadas:

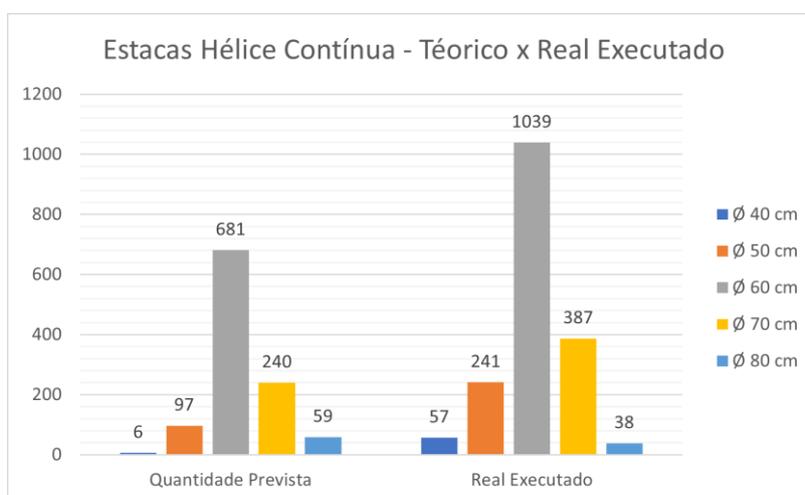


Figura 2. Gráfico quantitativo de Estacas Hélice Contínua do Centro Logístico.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Observa-se um aumento significativo nos diâmetros das estacas. Um dos motivos para esse aumento está relacionado às interferências de rochas encontradas ao longo de todo o terreno, o que dificultou a perfuração e tornou necessário revisar o projeto, incluindo novas estacas de reforço para atender às especificações.

Por outro lado, houve uma redução no número de estacas com o diâmetro de 80 cm. Durante as revisões de projeto, algumas estacas originalmente planejadas com 80 cm de diâmetro foram alteradas para o diâmetro de 70 cm, o que otimizou a produção e reduziu a necessidade de trocas de trados.

Em relação aos metros perfurados, a estimativa inicial era de 36.822,00 metros. No entanto, o total efetivamente executado foi de 43.877,53 metros, o que significa que a perfuração das estacas ultrapassou a estimativa inicial em 7.055,53 metros, representando um aumento próximo de 20%.

4.2 Interferências

Durante uma obra de construção civil podem ocorrer diversas interferências, internas e externas, que têm potencial para gerar atrasos, aumentar custos e prejudicar a qualidade do projeto. Algumas das principais interferências incluem as condições climáticas, como chuvas intensas, ventos fortes e extremos de calor e frio, que podem impactar o cronograma e dificultar o processo de construção. O fornecimento de materiais também pode ser problemático, com a falta de itens essenciais ou atrasos em suas entregas, causando paralisações e retardando o andamento da obra. Problemas no solo, como solos instáveis, contaminação ou condições inesperadas do terreno, podem afetar a fundação e a estabilidade da estrutura. Além disso, condições imprevistas no local, como descobertas arqueológicas, resquícios de construções antigas ou condições inesperadas, podem exigir mudanças no projeto e acarretar em custos adicionais.

As interferências citadas acima foram alguns dos principais motivos que causaram o atraso no término da fundação e resultaram em baixa produção diária. No entanto, o que mais nos chamou a atenção foi a presença de grandes cavernas abaixo de uma alta camada de aterro.

A presença dessas cavernas gerou preocupações consideráveis, dado o potencial risco de subsidência do solo, desmoronamentos e até mesmo o colapso total da região demarcada. Ao todo, durante as perfurações, 95 (noventa e cinco) estacas tiveram interferência de cavernas, resultando em um sobreconsumo médio de 51% entre o volume teórico de concreto e o volume real total, conforme ilustrado no gráfico a seguir:

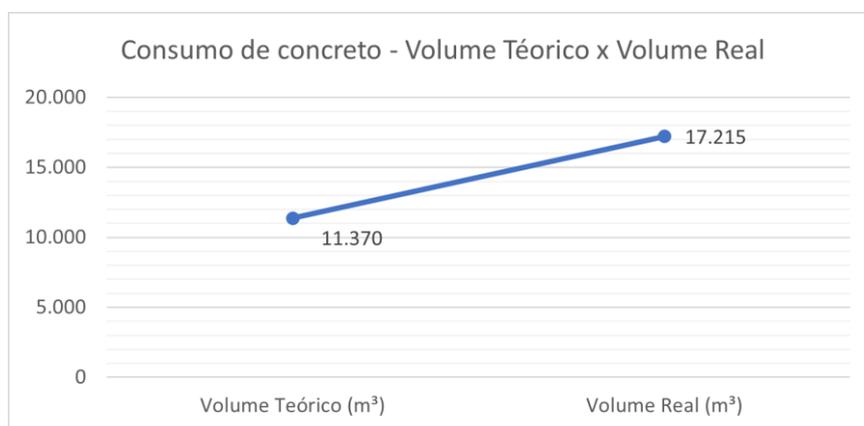


Figura 3. Gráfico do consumo de concreto teórico x real

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



A seguir, destaca-se a tabela com os dados de execução de quatro estacas que apresentaram o maior índice de sobreconsumo de concreto durante a obra. As estacas estavam próximas uma da outra, situadas em uma área do terreno denominada como Deck Park pelo projeto de fundações. A equipe técnica de engenharia dedicou especial atenção para identificar soluções rápidas e assegurar que a execução fosse concluída com alta qualidade e segurança para todos os envolvidos.

Tabela 1. Estacas com maior sobreconsumo de concreto da obra do Centro Logístico.

Estaca	Ø	Profundidade (m)	Vol. Teórico (m³)	Vol. Real (m³)	Consumo Concreto	Caminhões Betoneira
P15	60	27	7,63	144,00	1786%	21
P31A	60	30	8,48	58,00	584%	9
P48A	60	31	8,77	65,50	647%	10
P53	60	28,5	8,06	89,50	1011%	13

Após uma análise minuciosa, o consultor de fundações determinou uma solução para lidar com essas interferências encontradas: preencher os vazios identificados nas estacas até que o concreto atingisse o nível de execução do terreno, assegurando assim a estabilidade da área e integridade da fundação.

A aplicação dessa solução não foi uma tarefa simples. Requerendo a adoção de acompanhamento técnico para controle de preenchimento total do trecho perfurado (estacas e cavernas) e o uso de materiais adequados para o preenchimento das cavidades detectadas.

Durante a concretagem da estaca P15, por exemplo, a equipe enfrentou um grande desafio com a disponibilidade de caminhões betoneiras para atender à demanda do volume de concreto exigido. Isso resultou em uma paralisação nas outras frentes de serviço da obra enquanto aguardávamos a empresa responsável pelo fornecimento do concreto. Contudo, após seis horas de concretagem, o trabalho foi concluído com sucesso e a estaca foi finalizada.

Na Figura 4, podemos observar que ambas as estacas estão localizadas no mesmo eixo 11, sugerindo a possibilidade de uma única caverna com uma extensão aproximada de 25 metros ter sido encontrada durante o processo de execução da fundação deste centro logístico. Embora as medidas precisas da caverna encontrada não tenham sido totalmente identificadas, o volume total de concreto consumido nas quatro estacas foi de 357 m³, o que equivale a preencher os vazios com o uso de 53 caminhões betoneiras.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



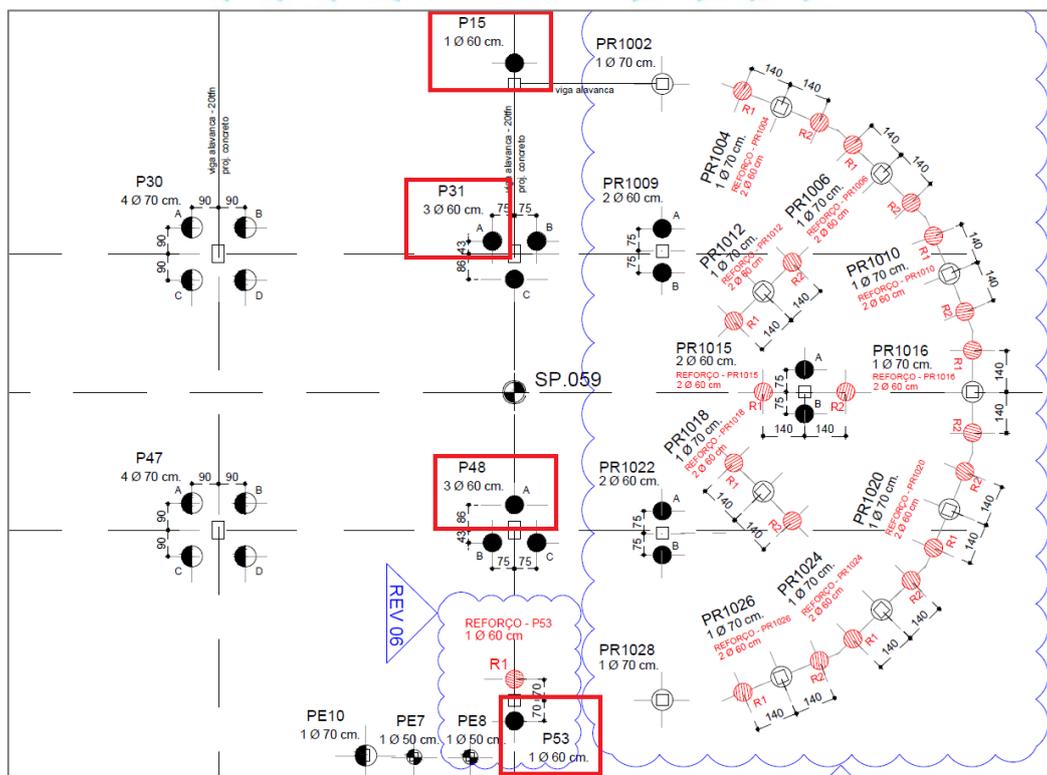


Figura 4. Localização das estacas P15, P31A, P48A e P53 no projeto de fundações.

4.3 Produtividade

Conforme estabelecido no projeto inicial, a fundação deveria ser entregue em até cinco meses, equivalendo a um total de 150 dias corridos de obra. No entanto, diversos desafios surgiram durante a execução, incluindo interferências no terreno, como cavernas e rochas, atrasos na escavação e no fornecimento de concreto, bem como as chuvas intensas durante o verão. Esses fatores adversos impactaram significativamente a produtividade diária esperada e resultaram em um tempo total de obra de 376 dias corridos, mais que o dobro do previsto.

Dentro desses 376 dias, aproximadamente 72% foram dedicados exclusivamente à produção das 1.762 estacas. Ao desconsiderarmos os domingos e feriados, em cerca de 39 dias não houve nenhuma produção devido a problemas relacionados à liberação de frente de serviço, falta de materiais, chuvas fortes, manutenções e outros contratemplos (Figura 5).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



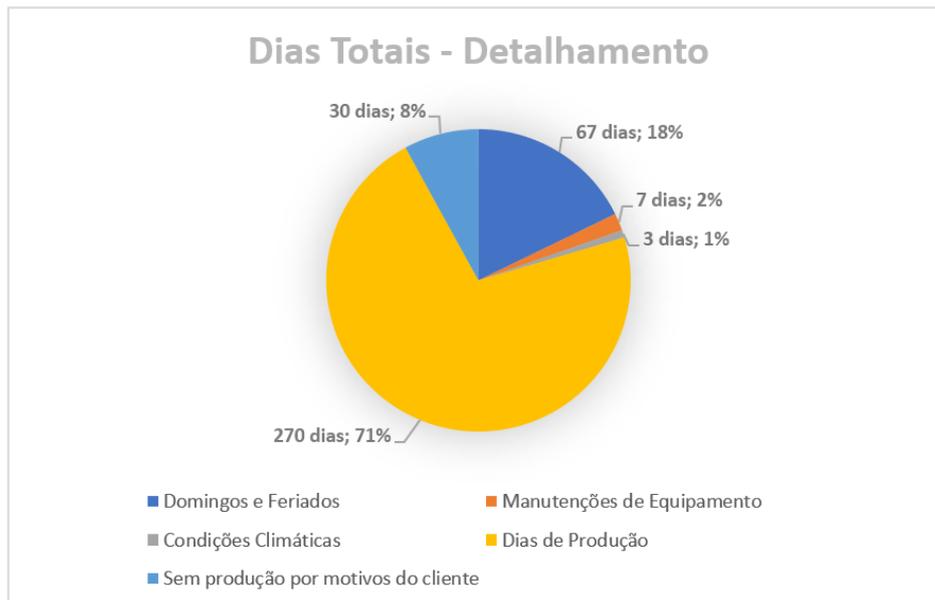


Figura 5. Gráfico de detalhamento em dias corridos durante a execução da fundação.

Essa combinação de desafios reduziu drasticamente a média diária inicial de produção, que passou de 14 para apenas 7 estacas, tornando o cronograma inicial algo praticamente impossível de ser alcançado. Os atrasos e contratemplos enfrentados tiveram um impacto significativo na eficiência geral do projeto e foi necessário ajustar as expectativas em relação à produtividade para se adaptar às condições adversas encontradas durante o desenvolvimento da obra.

4.3 Prova de carga

A seguir, apresentamos o gráfico de carga (tf) x deslocamento (mm) obtido para a estaca PEL53, do tipo hélice contínua, com diâmetro de 50 centímetros e 30 metros de profundidade.

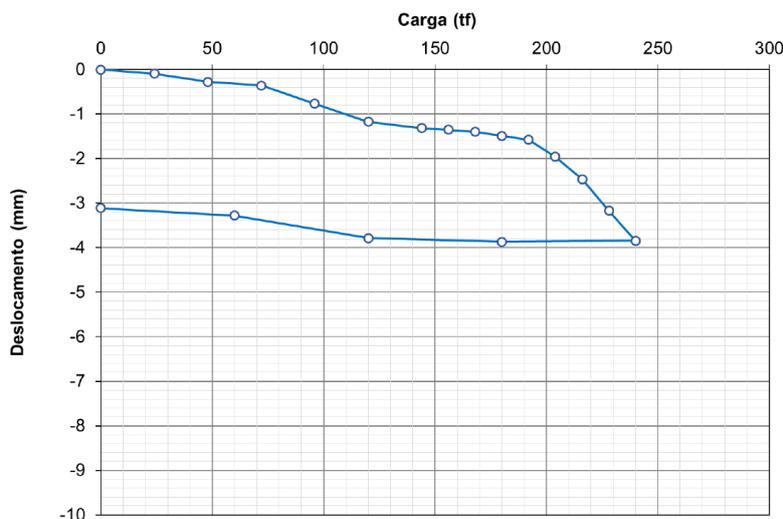


Figura 6. Gráfico Carga x Deslocamento da estaca PEL53

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



A carga máxima prevista para o ensaio, de 240 tf, foi alcançada com êxito, sendo observado deslocamento máximo de 3,85 mm.

O descarregamento foi realizado normalmente em quatro estágios, obtendo-se no final do ensaio um recalque residual de 3,11 mm.

Perfurada e concretada no dia 08/09/2022, podemos visualizar na figura abaixo (Figura 7) o gráfico de controle da estaca PEL53:

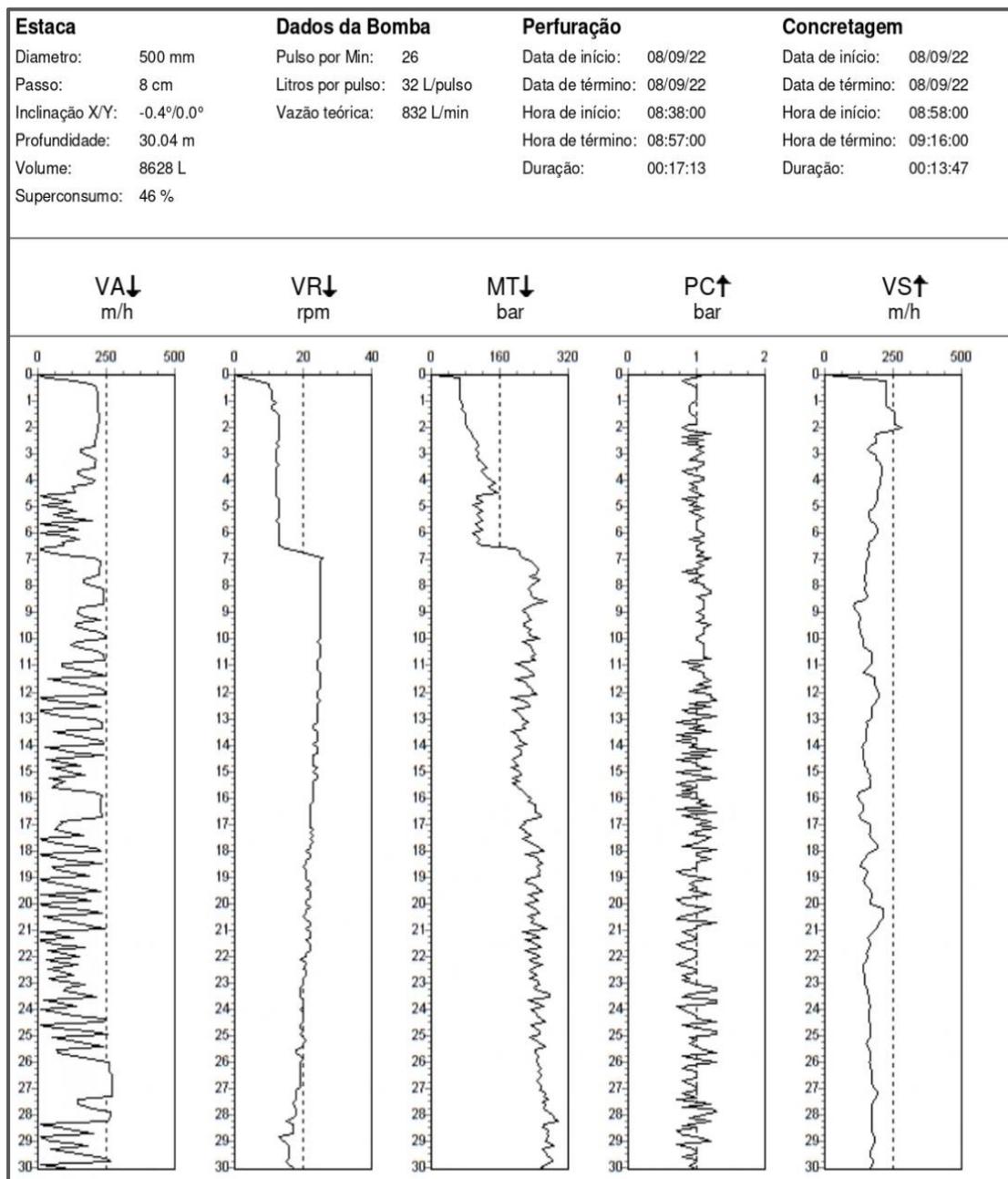


Figura 7. Gráfico de controle de perfuração e concretagem da estaca PEL53

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



5 CONCLUSÃO

A presença de fenômenos cársticos representou um desafio significativo na construção do Centro Logístico, exigindo revisões no projeto, novas estacas de reforço e a aplicação de técnicas especializadas para lidar com as interferências encontradas. Além disso, outros fatores, como condições climáticas adversas e atrasos no fornecimento de materiais, também contribuíram para uma considerável quantidade de dias sem produção ao longo dos 376 dias corridos da obra.

Em resumo, a construção do Centro Logístico destacou-se por suas particularidades em geotecnia e fundações, enfrentando interferências cársticas e outros desafios ao longo do processo. A escolha da estaca Hélice Contínua e o uso do equipamento adequado foram essenciais para superar os obstáculos e garantir a estabilidade e resistência da fundação, resultando em uma realização bem-sucedida do empreendimento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 91 p.

ABEF – Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. Manual de execução de fundações e geotecnia: Práticas recomendadas. Editora Pini. 1. Edição. São Paulo, 2012

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

