



Utilização de estacas helicoidais como solução de fundação em obras de Construção Civil

Filipe Henrique Costa Lima

Analista de Engenharia, Incotep, Guarulhos, São Paulo, Brasil, filipe.lima@incotep.com.br

RESUMO: Estaca helicoidal é uma solução de fundação profunda, constituída por uma haste metálica (tubular ou maciça) e helicoides (hélices) soldados que são responsáveis por absorver os esforços aplicados na estrutura e transmiti-los ao solo. Atualmente no Brasil, sua aplicação tem se concentrado mais em obras de linha de transmissão de energia, contudo, novas possibilidades estão sendo exploradas pelas mais diversas empresas de engenharia do país e novos registros vem sendo observados no segmento da Construção Civil. Este trabalho será elaborado apresentando um caso de obra onde utilizando estaca helicoidal para fundação de um galpão logístico, obteve-se maior produtividade na instalação, menor quantidade de profissionais em campo, equipamentos de instalação de fácil acesso, entre outras vantagens que permitiram dizer que foi a melhor solução se comparada a outra que estava em consideração para o respectivo projeto. Além disso, o cronograma também desempenhou papel crucial na definição da solução, uma vez que os prazos se mostravam extremamente restritos. A utilização de estaca helicoidal, por todos os benefícios que serão melhor apresentados, permitiu que todas essas dificuldades em relação a prazos fossem supridas. O cerne do trabalho consistiu em explorar as potencialidades inerentes a essa significativa solução, em contraste com abordagens convencionais presentes no mercado. O resultado foi a formulação de diretrizes que facilitam a avaliação da solução ótima para um projeto específico.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca Helicoidal, Haste Metálica, Engenharia, Construção Civil.

ABSTRACT: A helical pile is a solution for deep foundations, consisting of a metal shaft (tubular or solid) and welded helices that are responsible for absorbing the forces applied to the structure and transmitting them to the soil. Currently in Brazil, its application has been predominantly concentrated in power transmission line projects. However, various engineering companies in the country are exploring new possibilities, and new records are being observed in the Construction sector. This work will be developed by presenting a case study where helical piles were used for the foundation of a logistics warehouse, resulting in increased installation productivity, a reduced number of personnel on-site, easily accessible installation equipment, among other advantages that justify it as the superior solution when compared to another option that was under consideration for the respective project. Additionally, the timeline also played a crucial role in defining the solution, given that the deadlines were extremely tight. The utilization of helical piles, due to all the benefits that will be better explained, allowed for the resolution of all these timeline-related challenges. The core of the work consisted of exploring the inherent potential of this significant solution, in contrast to conventional approaches present in the market. The result was the formulation of guidelines that facilitate the evaluation of the optimal solution for a specific project.

KEYWORDS: Helical Pile, Metal Rod, Engineering, Civil Engineering.

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



1 Introdução

O primeiro registro da utilização de estaca helicoidal pelo mundo se deu no ano de 1833, na cidade de Maplin (Inglaterra). O engenheiro irlandês Alexander Mitchel é creditado pelas mais diversas literaturas como o responsável em desenvolver a solução pioneira, que na época foi usada para fundações de faróis da costa inglesa mostrando-se eficaz diante dos desafios geotécnicos apresentados durante a construção.

Com o passar do tempo a aplicação foi expandida, com grande importância para o desenvolvimento elétrico e de telecomunicações, em especial durante o período da Guerra Fria, e por consequência, desenvolvendo fabricantes em diversos países no mundo, como Estados Unidos, Rússia, Japão, Inglaterra, Canadá e Austrália (Perko, 2000). No Brasil, embora não exista um registro específico que confirme sua primeira utilização, estima-se que tenha ocorrido em meados do século XX.

Atualmente, é amplamente empregada no país como solução de fundação para torre de linha de transmissão de energia já que permite maior produtividade em sua instalação, menor quantidade de pessoas em campo e uma série de outras vantagens que se adequam com a característica deste tipo de obra que normalmente abrange longos trajetos em sua extensão. Além disso, tem se expandido em outros tipos de obras como estacas de reação em provas de carga estática, reforço estrutural, fundação de aerogeradores em parques eólicos e de estruturas em parques solares, gasodutos, estruturas offshore, contenções horizontais e galpões industriais que será tema objeto deste artigo com apresentação de um caso de obra na cidade de Guarulhos – São Paulo.

2 Estacas Helicoidais

2.1 Conceito

Estaca helicoidal é caracterizada como um tipo de solução de fundação profunda instalada em solo através de torque. É constituída por uma haste metálica, normalmente em geometria tubular, com múltiplos helicoides soldados que são responsáveis por absorver os esforços aplicados na estrutura (tração e/ou compressão) e por consequente, transmiti-los ao solo de maneira eficiente.

Ao realizar a análise mecânica e geotécnica de um projeto, utilizando modelos matemáticos reconhecidos em literatura tanto nacional quanto internacional, são determinadas as particularidades de cada estaca. Isso inclui estabelecer o diâmetro e espessura do tubo, o número e dimensões das hélices, a faixa de torque (mínimo e máximo) necessário para a instalação e, por fim, o comprimento médio da estaca.

Segundo pesquisas e estudos conduzidos por diversos pesquisadores (Hoyt e Clemence, 1989; Narasimha Rao *et al.*, 1989; Ghaly *et al.*, 1991; Ghaly e Hanna, 1991; Perko, 2000; Tsuha e Aoki, 2010) a capacidade de carga da fundação com estaca helicoidal pode ser correlacionada ao torque medido no final da instalação por meio de uma relação linear.

No momento da instalação, utilizando equipamentos específicos como retroescavadeiras,

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





mini escavadeiras ou perfuratrizes hidráulicas, o torque é aplicado ao tubo central da estaca helicoidal. Cada volta completa da hélice faz com que a estaca avance uma distância igual ao passo da hélice no solo. Se necessário, são incrementadas novas seções para permitir um maior avanço no solo.

A instalação é concluída quando os critérios estabelecidos no projeto são atendidos, como o torque e o comprimento mínimo, indicando assim que as hélices alcançaram camadas de solo com resistência suficiente para garantir a estabilidade e a capacidade de suporte adequadas para a estrutura.

2.2 Vantagens

Como em qualquer outro tipo de solução, é essencial que os estudos iniciais e o projeto sejam minuciosamente elaborados. Além disso é importante que a execução em campo seja em conformidade com os requisitos necessários, e que disponham de equipes tecnicamente capacitadas garantindo assim a qualidade da fundação.

As estacas helicoidais se destacam como um sistema de fundação altamente eficiente tanto para cargas de compressão quanto para tração. Em cargas de compressão, demonstram boa capacidade de resistir a cargas verticais, graças à geometria helicoidal que proporciona distribuição uniforme das forças e maior resistência ao afundamento. Já em tração, apresentam bom desempenho ao resistir à força de arrancamento devido às hélices que, ao serem inseridas e torcidas no solo, criam uma configuração que oferece melhor resistência ao movimento ascendente. (Niroumand *et al.*, 2012).

A rápida instalação, pequena quantidade de pessoas em campo, o baixo impacto ambiental, a flexibilidade, a reutilização em obras temporárias e a possibilidade de carregamento imediato são fatores que se destacam quando a estaca helicoidal é aplicada com base em um projeto executivo bem elaborado. Além disso, a versatilidade em diferentes tipos de solo e a conexão simplificada com as estruturas adicionam valor à solução, tornando-a altamente competitiva.

Portanto, quando todos os aspectos são devidamente considerados e a instalação é conduzida corretamente, a solução se diferencia e se destaca entre as alternativas de fundações profundas disponíveis, proporcionando eficiência, sustentabilidade e eficácia para diversos tipos de projetos de construção.

3 Estudo de caso

Neste artigo será apresentado um estudo de caso que ocorreu no ano de 2020 em um empreendimento de galpão logístico com 7.600 m² de área construída, situado na Cidade Industrial Satélite de São Paulo – Guarulhos. A construção foi uma resposta a necessidade da empresa X em gerenciar de forma eficiente o armazenamento, movimentação e distribuição de mercadorias.

O galpão construído foi projetado com uma área ampla e plana, apresentando um pé direito de 12 metros, o que proporciona um espaço interno generoso e versátil para a movimentação de equipamentos e mercadorias. Além disso, a instalação possui um total de 46 docas, o que viabiliza uma operação logística altamente eficiente e simplifica o processo de carregamento e

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



descarregamento de cargas. Essas características são fundamentais para otimizar o fluxo de operações no galpão, tornando-o um ambiente adequado e funcional para atender às demandas logísticas de forma eficaz.

Um aspecto importante a ser destacado é a resistência do piso do galpão, que foi projetado para suportar uma carga elevada. Sua capacidade de resistência é de 6 toneladas por metro quadrado (tf/m²), tornando-o adequado para acomodar cargas pesadas e suportar as atividades operacionais do empreendimento.



Figura 1. Galpão logístico

A região onde o galpão está situado apresenta uma notável relevância no âmbito logístico, devido à sua localização estratégica e acesso privilegiado a rodovias de grande importância como Presidente Dutra (BR-116) – que interliga duas das maiores cidades e polos econômicos do país (São Paulo ao Rio de Janeiro), e Ayrton Senna (SP-70). Além disso, a proximidade com o Aeroporto Internacional de São Paulo (GRU Airport) o que contribui no transporte de carga aérea. Assim, as características mencionadas possibilitam que a região desfrute de uma ágil conexão com vias rodoviárias e uma eficiente distribuição de mercadorias para várias localidades em território nacional.

3.1 Implantação do projeto

A fim de viabilizar a implementação do projeto, uma campanha de sondagem foi conduzida no local, cujo objetivo principal se deu pela coleta de dados geotécnicos para avaliar as características do solo e subsidiar a escolha da melhor solução de fundação.

A análise detalhada dos dados resultantes da sondagem revelou um perfil de solo complexo e estratificado, apresentando camadas iniciais com baixa resistência mecânica. A partir da aplicação do ensaio de penetração padrão (SPT), foi obtido um índice médio de resistência à penetração de aproximadamente 7 golpes para tais camadas.

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



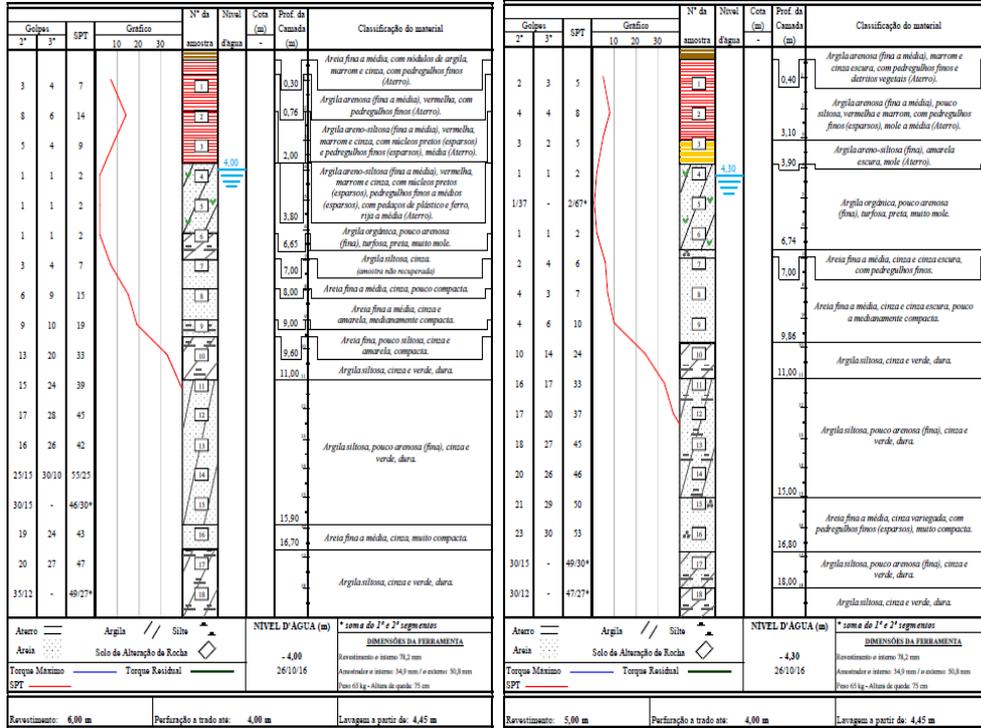


Figura 2. Boletins de sondagem

Diante tal análise, o projeto inicial foi concebido com a proposição de utilizar fundação estacada com hélice contínua, uma técnica que emprega equipamento de trado helicoidal contínuo para a execução das estacas. Nessa metodologia, a concretagem da estaca ocorre simultaneamente à remoção do solo durante o processo de perfuração. A fundação é moldada *in loco*, e a colocação da armadura de reforço é realizada após o lançamento do concreto.

O projeto foi implantado em um período de pandemia, marcado por desafios e incertezas relacionadas à disseminação da doença em escala global - COVID 19. Por este motivo, após a definição da solução de engenharia a ser adotada, procedeu-se à etapa subsequente de viabilização, que consistiu em estabelecer um cronograma de execução que fosse confrontado com o cronograma do projeto final, com o propósito de validar e garantir a convergência entre ambos.

A validação conjunta dos cronogramas permitiu a identificação de conflito nos prazos anteriormente estabelecidos. A crise sanitária global teve impacto significativo na cadeia de suprimentos e na disponibilidade de recursos, resultando em atrasos em várias etapas da construção por parte dos mais diversos fornecedores, já que muitos deles justificavam o estoque reduzido (aço, madeira, cimento, areia, etc.).

Com esse cenário de pandemia, no qual a escassez de materiais e outros desafios logísticos afetariam significativamente a execução do projeto de fundação com hélice contínua, foi necessária uma reavaliação e busca por uma nova solução de fundação mais adequada às condições impostas pelo contexto emergencial.

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



3.3 Método de cálculo

A metodologia de cálculo para as estacas helicoidais envolve uma abordagem multidisciplinar que leva em conta os aspectos geotécnicos, estruturais e construtivos para garantir que essas estacas sejam dimensionadas e projetadas de forma segura e eficiente, proporcionando uma fundação sólida para as mais diversas estruturas.

3.3.1 Dimensionamento

A resistência suportada por uma estaca helicoidal pode ser calculada somando a capacidade de carga de cada uma de suas hélices quando inserida em solos coesivos e não coesivos. Dessa forma, ao considerar uma estaca helicoidal com várias hélices, sua capacidade de carga total será a soma das capacidades individuais de cada hélice. Esse cálculo é essencial para garantir que a estaca seja capaz de suportar as cargas verticais aplicadas a ela, seja o peso da própria estrutura ou outras cargas externas.

O dimensionamento de estacas é uma etapa fundamental no projeto de fundações de estruturas e existem várias abordagens e métodos para realizar esse cálculo. Um dos métodos mais reconhecidos e amplamente utilizados na literatura internacional é a teoria de Terzaghi, que foi desenvolvida pelo engenheiro geotécnico austríaco Karl von Terzaghi, considerado o "pai da mecânica dos solos".

Em sua teoria, a capacidade de carga de uma estaca é calculada através de uma equação que leva em conta as características do solo e da própria estaca. Relaciona a capacidade de carga de uma estaca com as propriedades do solo, como sua coesão, ângulo de atrito interno e resistência ao cisalhamento.

$$Q_{hélice} = A_{hélice} (c \cdot N_c + \gamma' \cdot H \cdot N_q) \quad (1)$$

$Q_{hélice}$ é a capacidade de carga resistente de cada hélice individualmente;

$A_{hélice}$ é a área líquida de contato da hélice com o solo;

c é a coesão do solo;

N_c é o fator de capacidade de carga para solos coesivos - normalmente adota-se 9 conforme consta na literatura para as estacas helicoidais.

γ' é o peso específico do solo;

H é a posição da hélice no solo, na vertical;

N_q é o fator de capacidade de carga para solos não coesivos;

Para este projeto foram adotadas as seguintes características de solo:

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos adotados

Descrição	Parâmetro	Valor admitido
Ângulo de atrito interno	ϕ	25°
Peso específico do solo	γ	1.400 kgf/m ³
Tensão admissível	σ_{adm}	0,50 kgf/cm ²
Tensão de aderência concreto/solo	τ	0,30kgf/cm ²

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



O cálculo do torque necessário para a instalação da estaca helicoidal é baseado na força de resistência que o solo oferece ao cisalhamento durante o processo de penetração. Esse torque pode ser obtido através da formulação características, portanto:

$$Q_{\text{última}} = K_t \cdot T \quad (2)$$

Tabela 2. Resumo do dimensionamento geotécnico

Diâmetro da hélice [cm]	Área da hélice [cm ²]	Inclinação da estaca [°]	H [cm]	N _{SPT}	φ [°]	γ [kgf/cm ³]	Q _{hélice} [kgf]
35.6	838.3	10.000	573	2	25	0.0014	5,971
30.5	592.4	10.000	663	2	25	0.0014	4,744
25.4	384.5	10.000	738	6	25	0.0014	4,612
35.6	838.3	10.000	843	10	25	0.0014	13,015
30.5	592.4	10.000	933	14	25	0.0014	11,498
25.4	384.5	10.000	1008	29	25	0.0014	12,072
25.4	384.5	10.000	1083	35	25	0.0014	14,278
L _{médio} [cm]	1100	Fórmula característica das estacas helicoidais para cálculo do torque: $Q_{\text{global}} = k_t \cdot T_{\text{instal.}}$				Q _{global} [kgf]	66,189
FS	1.4					Q _{resistente} [kgf]	47,278
k _t [m ⁻¹]	23					T _{instalação} [kN.m]	28.8

Levando em consideração a parcela da carga atuante na estrutura que é designada a ser resistida pelas hélices da estaca helicoidal, conforme apresentado anteriormente e de acordo com as definições estabelecidas nos projetos estruturais específicos, temos resumidamente:

- Carga solicitante de projeto: 46,0tf
- Carga resistente de cálculo: 47,28tf

Portanto, o dimensionamento geotécnico foi suficientemente capaz de atender ao carregamento necessário. Outro cálculo realizado foi o do torque máximo de instalação que ficou definido em 28,8 kN.m ≈ 21.400 ft.lbf.

Para este projeto de fundação que inclui estacas helicoidais, o dimensionamento mecânico indicou a escolha de uma haste tubular produzida com aço patinável, cujo limite de escoamento é de 350 Mpa, e que possui capacidade de resistência adequada para suportar as cargas e esforços esperados durante a instalação e ao longo da vida útil da fundação.

A seguir detalhamento da estaca utilizada:

- Diâmetro externo (Ø): 101.6mm
- Espessura de parede do tubo: 8.1mm
- Torque máximo suportado pela estaca com fator de segurança: 21.852 ft.lbf

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



3.3.2 Comprimento mínimo da estaca

Para garantir o adequado desempenho das hélices, é imprescindível atender à profundidade mínima de instalação, a qual está diretamente relacionada ao diâmetro das hélices.

O espaçamento entre as hélices deve ser de, no mínimo, três vezes o diâmetro da hélice anterior. Além disso, a distância entre a última hélice e a superfície superior deve ser de, no mínimo, oito vezes o diâmetro da própria hélice. Estas medidas são fundamentais para assegurar que as hélices funcionem de maneira eficiente e confiável, cumprindo com as exigências do projeto.



Figura 5. Detalhamento da quantidade e posicionamento das hélices utilizadas

Adotado:

- Comprimento mínimo da instalação utilizando apenas a seção guia: 4,5 metros
- Comprimento mínimo da instalação utilizando seção guia + seção intermediária (sobreguia): 7,0 metros

3.3.3 Ensaios

A fim de fornecer subsídios para aceitação da execução da fundação, garantindo que estivesse em conformidade com os requisitos técnicos e normativos estabelecidos, foi realizado ensaio de convalidação nas estacas projetadas para este projeto.

O ensaio realizado foi do tipo estático, que simulou as condições de carga que a fundação do galpão logístico enfrentaria ao longo de sua vida útil. Consistiu em aplicar a carga de forma controlada em diferentes estágios, seguindo as especificações previstas e dimensionadas para suportar a estrutura do galpão:

- Deslocamento máximo no 1º ciclo: $\leq 50\text{mm}$
- Deslocamento máximo no 2º ciclo: $\leq 50\text{mm}$

Os resultados obtidos foram altamente satisfatórios, uma vez que os deslocamentos apresentados permaneceram dentro dos limites previstos pelo projeto. Isso indicou que a fundação demonstrou um excelente desempenho, garantindo a estabilidade e segurança da estrutura.

4 Conclusão

Durante o desenvolvimento do projeto diversos desafios foram encontrados, sendo um dos principais a restrição de tempo imposta pelo cronograma que ficou ainda mais crítica pela situação pandêmica da época. Os prazos ajustados não permitiram grandes modificações ou revisões extensas no plano original, exigindo que as soluções adotadas fossem eficientes e confiáveis desde o início.

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





Nesse contexto, a escolha de um novo tipo de fundação se mostrou uma das decisões cruciais a serem tomadas. A utilização de estacas helicoidais emergiu como uma opção promissora, oferecendo características vantajosas para o projeto. Ao fim do projeto, pode-se afirmar que apresentaram versatilidade e facilidade de instalação, o que contribuiu para atender ao cronograma apertado sem comprometer a qualidade e a estabilidade da fundação.

A opção pelas estacas helicoidais proporcionou benefícios significativos. Em primeiro lugar, a rapidez e praticidade da instalação possibilitaram ganhos de tempo significativos na fase de construção. Além disso, a capacidade de carga e o desempenho adequado das estacas helicoidais foram comprovados por meio de ensaios e análises geotécnicas, garantindo a segurança estrutural da fundação.

O resultado foi uma obra concluída no prazo, sem comprometer a integridade e segurança da estrutura, demonstrando a eficiência da solução.

Sendo assim, fica evidente que a utilização de estacas helicoidais na construção civil se mostra uma alternativa promissora que tende a ganhar ainda mais espaço no mercado, contribuindo assim para o avanço e aprimoramento das fundações e no desenvolvimento de estruturas mais seguras e eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ghaly, A. e Hanna, A. (1991). Experimental and theoretical studies on installation torque of screw anchors. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 28 (3), pp. 353-364.
- Hoyt, R.M e Clemence, S.P. (1989). Uplift capacity of helical anchors in soil. *Proceedings of the 12 International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*, Rio de Janeiro, Brazil, v.2, pp. 1019-1022.
- Narashimha Rao, S.; Prasad, M.D.; Shetty, M.D. e Joshi, V.V. (1989). Uplift capacity of screw pile anchors. *Geotechnical Engineering*. Vol. 20(2), pp. 35-50.
- Niroumand, H., Kassim, K.A, Ghafooripour, A., Nazir, R.E Chuan, H.S (2012) Performance of Helical Anchor in sand. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 17, Bund. R.
- Perko, H. A. (2000). "Energy method for predicting the installation torque of helical foundations and anchors". *New Technological and Design Developments in Deep Foundation Technologies*, ASCE, p.342-352.
- Tshua, C.H.C. (2007). Modelo Teórico para Controle da Capacidade de Carga à Tração de Estacas Metálicas Helicoidais em Solo Arenoso. Teste (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 245 p.
- Tshua, C.H.C. e Aoki, N. (2010). Relationship between installation torque and uplift capacity of deep helical piles in sand. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 47(6), pp. 623-647.

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

