

Estudo Comparativo entre Estacas Hélice Contínua e Pré-Moldadas de Concreto para Obra de Ampliação de um Centro Municipal Infantil

Alana Paula Silva de Lima
Graduanda Engenharia Civil, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, alanapaulalima15@gmail.com

Thaciana Fernandes da Silva
Graduanda Engenharia Civil, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, thaciana.fernandes@unifei.edu.br

Adinele Gomes Guimarães
Professora do Magistério Superior, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, adinele@unifei.edu.br

RESUMO: Este trabalho aborda um estudo comparativo entre dois tipos de estacas para uma obra de ampliação de um centro educacional infantil. As sondagens do local mostraram a predominância de argilas com baixos valores de SPT em profundidades superiores a 5 metros, exigindo o emprego de estacas. A obra, com área de 1605 m² em pavimento único, possui 61 pilares com cargas variando de 21 a 163 kN, levando-se a investigar as estacas hélice contínua com 30 cm de diâmetro e as pré-moldadas de concreto vibrado com 26 cm. Para ambos os tipos foram aplicadas três metodologias de estimativa de capacidade de carga. Posteriormente, foram levantados os quantitativos para as soluções, visando a análise econômica. Os orçamentos estimativos foram realizados por consulta aos sistemas de referência. Verificou-se que para obra em questão, o custo para a fundação em hélice contínua foi aproximadamente 36% menor do que o custo da estaca pré-moldada. Sabe-se que a execução da estaca pré-moldada, em comparação com a hélice contínua, é mais limpa, contudo, para as áreas urbanas densas, a vibração gerada pela cravação da estaca pode gerar danos em construções vizinhas. Conclui-se, portanto, que a fundação em estaca hélice contínua é a solução mais viável para a obra de ampliação.

PALAVRAS-CHAVE: capacidade de carga, fundações profundas, orçamento.

ABSTRACT: This work addresses a comparative study between two types of piles for an expansion project at a children's educational center. Site surveys showed the predominance of soft clays, with low SPT values at depths greater than 5 meters, requiring the use of piles. The work, with an area of 1605 m² on a single floor, has 61 pillars with loads ranging from 21 to 163 kN, leading to investigation of the continuous helix piles with 30 cm in diameter and the pre-cast vibrated concrete piles with 26 cm. For both types, three load capacity estimation methodologies were applied. Subsequently, the quantities for the solutions were collected, aiming for economic analysis. Estimated budgets were made by consulting reference systems. It was found that for the work in question, the cost for the continuous helix foundation was approximately 36% lower than the cost of the precast pile. It is known that the execution of the precast pile, compared to the continuous helix, is cleaner, however, for dense urban areas, the vibration generated by the pile driving can cause damage to neighboring buildings. It is therefore concluded that the continuous helix pile foundation is the most viable solution for the expansion work.

KEYWORDS: load capacity, deep foundations, budget.

1 INTRODUÇÃO

A fundação é o primeiro elemento da estrutura a ser executada, e o conhecimento sobre essa área foi acumulado com o tempo, desde as primeiras construções. Sua importância pode ser perceptível em grandes obras históricas que estão plenas mesmo depois de séculos construídas. Podem ser citados o Coliseu e o Panteão em

Roma e a pirâmide de Quéops como exemplos.

Em virtude da evolução das estruturas dos edifícios e por conta de alguns problemas, mostrou-se necessário um estudo para o reconhecimento do solo. Esse ensaio passou por vários estudos, e se chegou a uma ampla gama de metodologias até que se viu a necessidade de uma padronização. Chega-se então ao ensaio SPT (Standard Penetration Test) que é um tipo de sondagem simples para a análise de solos, descrito na NB 1211 de 1979 que mais tarde se tornaria a NBR 6484 de 1980, que atualmente foi atualizada em 2020. Com o ensaio é possível determinar os tipos de solo e suas profundidades, verificar a existência ou não de nível de água e obter os índices de resistência à penetração (N_{spt}) necessários para o dimensionamento de fundações.

O ensaio SPT (Standard Penetration Test) é o mais popular e econômico meio de investigação geotécnica. O procedimento de ensaio consiste na cravação de um amostrador com 50mm de diâmetro externo usando-se da queda de um peso de 65kg a uma altura de 750mm. O N_{spt} é obtido na penetração de 300mm após uma cravação inicial de 150mm. No Brasil os projetos de fundações diretas e profundas usam o resultado do SPT para o dimensionamento (SCHNAID, 2012).

Como existe uma ampla gama de solos com diversas características, as fundações também são inúmeras. Segundo Schnaid (2012) as fundações podem ser divididas em dois grandes grupos: fundações superficiais e profundas. A NBR 6122 (ABNT, 2022) define como fundações superficiais onde a carga é transmitida no solo pela base do elemento de fundação, onde seu assentamento é inferior a duas vezes a menor dimensão do elemento. Já as fundações profundas são aquelas que a carga é transmitida no solo pela base e superfície lateral, assentada a uma profundidade maior que o dobro da sua menor dimensão ou de no mínimo 3 metros.

O presente trabalho tem enfoque nas fundações profundas, que serão projetadas para uma ampliação de um Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI). De posse do projeto estrutural e dados obtidos por meio de três furos de sondagem SPT onde notou-se a presença do nível d'água próximo à superfície, alguns tipos de estacas já foram descartados, como as estacas Strauss e Franki, que não podem ser executadas na presença de lençol freático, ou as estacas escavadas a trado, que dependem de técnicas de encamisamento para possibilitar a execução em terreno saturado. Com a análise das possibilidades restantes, dois tipos de estacas foram definidos como potenciais para a execução, são elas: estaca pré-moldada e estaca hélice contínua.

A estaca hélice contínua é uma fundação profunda de execução simples e versátil, que se adapta a quase todos os tipos de terreno e independe da presença de nível de água. É apenas contraindicada em caso de presença de matacões e rochas. Possui a vantagem de não produzir distúrbios e vibrações apresentados em equipamentos de percussão (HACHICH et al, 1998). É executada pela introdução por rotação de uma hélice contínua, com um orifício para a injeção de concreto pelo tubo central, o movimento rotacional é feito por motores hidráulicos na extremidade superior da hélice, aprofundando-a até a cota de projeto sem que seja retirada da perfuração. Durante a injeção a hélice é simultaneamente retirada. Apresenta uma boa capacidade de carga pelo uso de alta pressão de bombeamento, visto que a hélice é praticamente empurrada pelo concreto, porém esse procedimento tem um elevado consumo de concreto (VELLOSO E LOPES, 2010).

A estaca pré-moldada, possui um excelente controle de qualidade, visto que seu adensamento pode ser feito com vibração e esta pode ser confeccionada em concreto armado ou protendido (ALONSO, 1991). A estaca pré-moldada pode ser executada em terrenos com nível de água e a cravação a percussão é a forma mais difundida pelas construtoras. Segundo Velloso e Lopes, (2010) as estacas pré-moldadas podem ser fabricadas no canteiro ou usina, e a grande vantagem é que o concreto não sofre nenhuma ação de agentes agressivos presentes no solo durante a pega e a cura do concreto. A desvantagem é que se o terreno apresentar uma grande variação de profundidade, haverá a possibilidade de enfrentar problemas com o corte ou emenda de estacas.

Sendo assim, com os dois métodos construtivos escolhidos e dimensionados, o passo seguinte do trabalho será a comparação destes métodos. Eles serão avaliados no quesito econômico e nas ações necessárias para execução no local da obra, bem como seus impactos no entorno durante o período de execução. Ao final será escolhida a fundação que melhor se adequa ao local, tanto economicamente, quanto no processo executivo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Standard Penetration Test (SPT)

O *Standard Penetration Test* (SPT) é um método popular e econômico de reconhecimento de solos. Os projetos de fundações diretas e profundas no Brasil usam normalmente os resultados fornecidos pelo SPT

(SCHNAID, 2012). Com o teste são feitas cravações na área da construção com a finalidade de fornecer os tipos de solo a cada metro de perfuração, sua estratificação, indicação de nível de água caso ocorra e a resistência à penetração (Nspt). Segundo Velloso e Alonso (2010), mesmo atravessando solos mais compactos e o nível de água, a sondagem a percussão não ultrapassa blocos de rocha e matacões. Caso se encontre dificuldade na perfuração, a sondagem é suspensa seguindo os critérios de paralisação citados na norma.

No Brasil, o ensaio é normatizado pela NBR 6484:2020, que consiste na cravação de um amostrador através da queda livre de um peso de 65kg de uma altura de 75cm. com a cravação, é anotado a quantidade de golpes para cravar 45cm do amostrador, dividido em 3 conjuntos de golpes a cada 15cm (VELLOSO E ALONSO, 2010). A soma do número de golpes necessários para cravar os últimos 30cm é comumente chamada de Nspt. A posição dos furos na área de investigação normalmente é feita nos locais de divisa e quando o projeto estrutural já está disponível, onde ocorrem as maiores cargas de pilares, também é importante deixar os furos bem dispersos, evitando alinhamento. A distância dos furos depende do local da construção, para áreas em campo aberto em zona rural, 50 a 100 metros, em áreas urbanas, de 15 a 30 metros. Também é citada na NBR 8036:1983, a quantidade de furos de sondagem a partir da área do terreno.

Para o dimensionamento das fundações se utiliza o Nspt e o tipo de solo fornecidos pelo ensaio. O SPT também pode ser utilizado na determinação da tensão admissível do solo pelos métodos semiempíricos, onde se utiliza o tipo de solo e o Nspt.

2.2 Estaca Hélice Contínua

A estaca hélice contínua é um tipo de estaca escavada moldada in loco por meio de uma perfuratriz. Após a marcação dos pontos topográficos das estacas a perfuratriz se desloca até os pontos marcados, seu trado é centralizado e nivelado para que não ocorra uma inclinação da estaca na perfuração. É introduzido no solo uma hélice com o diâmetro de projeto, em rotação com um orifício central para a injeção de concreto. A rotação é feita por meio de motores hidráulicos na extremidade superior da hélice, fazendo com que a estaca seja aprofundada até sua cota de projeto sem retirá-la da perfuração. A injeção do concreto é feita por meio de bombas simultaneamente com a retirada da hélice. (VELLOSO E LOPES, 2010).

A concretagem é feita um pouco acima da cota de arrasamento. Se a cota fica abaixo da superfície, deve-se ter um cuidado para que o furo não ceda. A armadura é colocada após o término da concretagem, introduzida pelos operários ou com auxílio de vibração ou peso. A ponta da armação normalmente é curvada para dentro para facilitar a introdução do furo e são utilizados espaçadores do tipo rolete. Segundo Velloso e Lopes (2010) as estacas do tipo hélice contínua podem ser monitoradas eletronicamente, tendo como resultados os seguintes itens: comprimento da estaca, inclinação, torque, velocidade de rotação, velocidade de penetração do trado, pressão de concreto, velocidade de extração do trado, volume de concreto e sobre consumo de concreto.

Segundo Alonso (1991) é recomendado que a sequência executiva das estacas garanta que se inicie uma nova concretagem quando todas as outras estacas, num raio de 5 vezes o diâmetro, já tenham sido executadas. A NBR 6122 (ABNT, 2022) determina um tempo mínimo de 12 horas para que seja feita uma nova concretagem. O espaçamento mínimo entre estacas é de 2,5 vezes o diâmetro. A NBR 6122 (ABNT, 2022) também apresenta as especificações do concreto na estaca hélice contínua, tais como: consumo de cimento $\geq 400 \text{ kg/m}^3$, abatimento de cone = $22 \pm 3 \text{ cm}$, fator água cimento $< 0,6$, agregados formados por areia e pedrisco, teor de argamassa em massa $> 55\%$ e fck $\geq 20 \text{ MPa}$ aos 28 dias.

2.3 Estaca Pré-moldada de Concreto

A estaca pré-moldada é normalmente modelada em usinas especializadas, adensada por vibração usando concreto armado, centrifugado ou protendido no seu corpo. Sua cravação é feita por meio de vibração, percussão ou prensagem. Esse tipo de estaca ao ser cravada causa uma compressão do solo ao longo do fuste da estaca, ocorrendo um incremento na capacidade de suporte da estrutura (VELLOSO E LOPES, 2010). Como normalmente não são moldadas in loco, este tipo de estacas precisa ser transportado e armazenado. Para isso, alguns cuidados são necessários. Esse tipo de estaca além de possuir uma armadura dimensionada para solicitação da estrutura, também precisa ser dimensionada para suportar os esforços de manipulação, sendo eles: suspensão para carga descarga, estocagem e içamento para cravação.

As tensões suportadas pela estaca não dependem apenas da qualidade do concreto e da armadura, mas

também do controle de cravação, fabricação e cravação, e em alguns casos, da protensão. Quando se trabalha com estacas pré-moldadas, deve-se prever a necessidade de emenda de estacas, a emenda é feita com a solda de de luvas ou anéis metálicos incorporados no concreto. Estas emendas são feitas para resistir às solicitações durante a cravação e permitem a transmissão dos esforços de compressão, tração e flexão entre estacas. Caso ocorra apenas esforços de compressão, a emenda pode ser feita com luva de encaixe, sendo permitida apenas uma emenda por estaca.

A tensão de cravação segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022) deve ser inferior a 0,85 fck do concreto, a altura de queda não deve ser maior que 1m. Para evitar a deformação da cabeça da estaca, se utiliza amortecedores. Segundo Laurentino (2018), o cepo protege o martelo de elevadas tensões e o coxim protege a estaca. O martelo deve possuir o maior peso possível, com relação mínima de 0,75 com o peso da estaca ($PM/PE \geq 0,75$) ou com pelo menos 20 kN.

A nega e o repique devem ser medidos em todas as estacas quando a cravação se aproxima do impenetrável. A nega, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022) é a medida da penetração permanente da estaca no solo, causada pela queda do martelo de cravação. Em geral é medida por uma série de dez golpes. O repique é a medida do deslocamento máximo da seção da estaca, causado por um único golpe do martelo de cravação, que é obtido ao final da cravação. Para medir o repique, uma reta de referência é traçada e o lápis de estaca é mantido no local durante o golpe do martelo. Essa medida é importante para garantir que a estaca tenha sido cravada corretamente e com a força necessária para suportar a estrutura construída sobre ela. Normalmente são dez repiques durante a obtenção da nega.

3 METODOLOGIA

O objeto de estudo foi a obra de ampliação do Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI) com área de 1605m² com um pavimento, cujo projeto estrutural prevê 61 pilares, localizada no sul de Minas Gerais.

Para fornecer uma compreensão abrangente das características do solo e resistência à penetração, um resumo dos relatórios de sondagem SPT realizados no local de estudo são apresentados na Figuras 1. E os pontos onde os ensaios foram realizados são mostrados na Figura 2. O relatório revela que a resistência superficial do solo é insuficiente para suportar as cargas do projeto. Vale a pena notar que o nível da água no terreno é inferior a 3 metros de profundidade, o que tem implicações para o projeto da fundação. O solo possui uma predominância de argila e pequenas partes de silte e areia sem a presença de matações, favorável a qualquer tipo de estacas, entretanto em função da presença de nível de água optou-se por estudar o uso da estaca hélice contínua ou da estaca pré-moldada no dimensionamento.

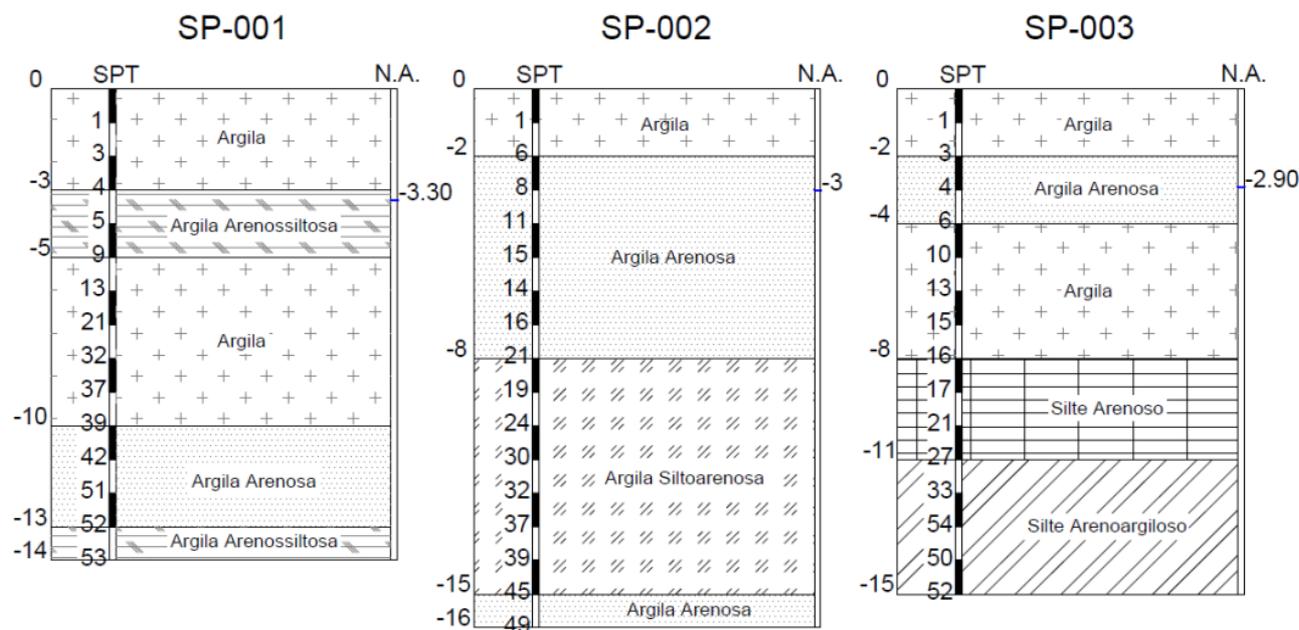


Figura 1. Dados gerais dos ensaios SPT.
Fonte: Adaptado de Alencar Sondagens (2022).



Figura 2. Localização dos furos de sondagem.
Fonte: Adaptado de Alencar Sondagens (2022)

Como sistemática do projeto, o critério utilizado para a definição das seções das estacas foi analogia a seção dos pilares. Dessa forma, para que a área da base das estacas fosse semelhante a área da seção dos pilares do projeto, que é em média $600,0 \text{ cm}^2$, o diâmetro adotado para a estaca hélice contínua seria de 30 cm, com área de $706,8 \text{ cm}^2$. Já para a estaca pré-moldada de concreto, o lado da base adotado foi de 26 cm, com a área de $676,0 \text{ cm}^2$.

Além dos dados do ensaio SPT para o dimensionamento também são necessárias as cargas dos pilares na fundação. Como se trata de um grande número de pilares, para facilitar a execução optou-se pela padronização da fundação. Desta forma, o dimensionamento foi feito para o pilar mais carregado que possui uma carga de 162,6 kN, tendo sido adotado uma carga mínima de 165,0 kN para a cota de apoio das estacas.

A carga admissível, para as duas soluções de fundação propostas (hélice contínua e pré-moldada) foi calculada para cada um dos três furos de sondagem, empregando-se três métodos semiempíricos. Existem muitos métodos de cálculo, tendo sido escolhidos os semiempíricos, por serem os que relacionam resultados de ensaio com tensões admissíveis.

Conhecidos os valores de carga admissível geotécnica da fundação e da carga estrutural da estaca, deve-se adotar o menor deles para garantir a segurança do elo mais fraco do sistema. Assim, considerando o valor da carga mínima, obteve-se a profundidade da cota de assentamento das estacas pelos diferentes métodos, de modo que a tensão admissível fosse superior a 165 kN.

Logo após o dimensionamento das duas soluções, iniciou-se o levantamento dos quantitativos para posterior orçamentação. Foram identificados o número total de estacas, e calculados os volumes de concreto, utilizando-se o diâmetro, o comprimento e o número de estacas.

Para o orçamento, foi realizada a pesquisa dos preços nos bancos de dados dos sistemas de referência de custos de obras e serviços de engenharia, tais como SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e SETOP (Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas), buscando os códigos e descrições correspondentes aos materiais, mão de obra e serviços necessários. Os preços unitários foram levantados conforme a quantidade necessária. O próximo passo envolveu o cálculo dos custos, multiplicando a quantidade pelo preço unitário de cada item para obter o custo total. Esses custos então foram somados para obter o total acumulado.

De posse dos valores obtidos no dimensionamento podem ser feitas as devidas comparações, considerando os aspectos técnicos e econômicos, para identificar qual tipo de estaca se torna mais vantajosa para a obra em questão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados dos ensaios SPT e os coeficientes necessários para a aplicação dos métodos semiempíricos escolhidos, foi possível obter as cargas geotécnicas admissíveis para cada furo de sondagem realizado no local, tanto para solução em estaca hélice contínua quanto para solução em estaca pré-moldada. Para validação da capacidade de carga da fundação estimada pelos métodos semiempíricos, devem ser realizadas provas de carga, o que não se dispunha neste trabalho.

Em relação à definição da cota de apoio das estacas, inicialmente cogitou-se a possibilidade de analisar os resultados dos três furos SPT para os três métodos de cálculo e realizar uma média dos resultados. Contudo, ao finalizar os cálculos foi possível notar uma discrepância entre os resultados para cada método e, por esse motivo, optou-se por utilizar como referência não só o furo mais solicitado, como também o método em que a capacidade de carga fosse mais baixa. Estabelecendo-se como cota de apoio mínima quando a capacidade de carga calculada superava a carga de 165 kN, para atender ao pilar mais solicitado.

Além da capacidade de carga, no dimensionamento de uma fundação há necessidade de verificar se os recalques, absolutos e diferenciais, também satisfazem as condições de funcionalidade. Entretanto, estes cálculos não foram feitos neste estudo comparativo, tendo ficado limitado apenas à segurança quanto à ruptura.

A seguir serão apresentados os resumos dos resultados, para cada um dos tipos de estacas propostas, já devidamente minorados pelo fator de segurança global.

4.1 Estaca Hélice Contínua

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são mostramos os resultados para a solução em estaca hélice contínua considerando os dados, respectivamente, do SPT-001, SPT-002 e SPT-003.

A cota de apoio para a estaca hélice contínua considerando os dados obtidos para o primeiro e segundo furo de sondagem seria de 10 metros, pois nessa cota todos os métodos apresentam uma carga admissível maior que 165,0 kN. Já para o terceiro furo de sondagem, diferentemente dos anteriores, a cota de apoio da estaca determinada seria de 11 metros de profundidade, visto que para a cota anterior, de 10 metros, no método Teixeira (1996), a carga geotécnica admissível não ultrapassou 165,0 kN.

Desta forma, para a solução em hélice contínua a cota de apoio adotada no projeto deve ser de 11 metros de profundidade, para atender a carga admissível mínima considerando os três perfis de solo da área.

Tabela 1. Cargas admissíveis para hélice contínua de 30 cm de diâmetro para o furo SPT-001.

Método	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
Profundidade (m)	Carga Admissível (kN)			
1	2,47	1,27	11,78	5,18
2	8,84	1,7	19,32	9,95
3	15,55	15,04	26,86	19,15
4	24,21	28,19	36,12	29,5
5	39,48	44,25	48,97	44,23
6	57,33	65,44	64,35	62,37
7	95,5	91,58	86,87	91,31
8	152,4	119,62	118,62	130,21
9	210,01	146,28	154,12	170,13
10	267,26	170,47	189,49	209,08
11	345,41	197,11	238,43	260,32
12	412,58	223,96	277,07	304,54
13	465,89	250,5	318,4	344,93
14	523,94	273,46	355,82	384,41

Tabela 2. Cargas admissíveis para hélice contínua de 30 cm de diâmetro para o furo SPT-002.

Método	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
Profundidade (m)	Carga Admissível (kN)			
1	2,47	2,23	11,78	5,49
2	16,26	3,18	22,27	13,9
3	32,66	24,22	37,92	31,6
4	49,11	43,74	55,03	49,3
5	71,38	64,51	76,45	70,78
6	83,37	86,26	96,74	88,79
7	102,92	109,68	117,35	109,98
8	132,98	133,59	144,56	137,04
9	149,41	159,5	167,32	158,74
10	186,15	186,41	195,16	189,24
11	231,64	215,48	230,66	225,93
12	272,46	244,95	266,95	261,45
13	324,36	273,06	305,58	301
14	373,34	303,14	347,01	341,17
15	436,33	332,2	387,82	385,45
16	491,32	360,2	435,72	429,08

Tabela 3. Cargas admissíveis para hélice contínua de 30 cm de diâmetro para o furo SPT-003.

Método	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
Profundidade (m)	Carga Admissível (kN)			
1	2,47	1,27	11,78	5,18
2	8,84	1,7	19,32	9,95
3	17,04	15,46	28,13	20,21
4	26,68	29,43	37,99	31,37
5	40,29	46,12	50,14	45,52
6	61,85	64,86	66,73	64,48
7	85,18	84,24	84,46	84,63
8	108,86	104,2	103,02	105,36
9	165,69	150,92	133,21	149,94
10	207,29	180,91	158,19	182,13
11	263,28	216,03	190,15	223,15
12	312,26	246,65	219,08	259,33
13	442,52	285,02	257,97	328,5
14	507,19	321	295,66	374,62
15	589,15	341,81	331,72	420,9

4.2 Estaca Pré-moldada de Concreto

Os resultados para a solução em estaca hélice contínua considerando os dados do SPT-001, SPT-002 e SPT-003 são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente.

Considerando o furo SPT001, a cota de apoio da estaca deve ser de 9 metros, visto que a profundidade anterior, de 8 metros, não obteve a carga geotécnica admissível superior a 165,0 kN nos métodos Teixeira e Décourt-Quaresma. Já considerando o segundo furo de sondagem, observa-se que a profundidade com carga geotécnica admissível superior a 165,0kN foi de 9 metros, sendo esta considerada a cota de apoio necessária para a estaca pré-moldada. Semelhantemente ao primeiro e segundo furo, para o terceiro, a profundidade com carga geotécnica admissível maior que 165,0kN é de 9 metros.

Como a cota de 9 metros, satisfaz os três perfis analisados, esta deve ser a cota de apoio a ser adotada para a solução em estaca pré-moldada de concreto.

Tabela 4. Cargas admissíveis para pré-moldada de 26 cm de diâmetro para o furo SPT-001.

Método	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
Profundidade (m)	Carga Admissível (kN)			
1	5,86	3,19	18,21	9,09
2	19,42	4,25	24,75	16,14
3	30,82	19,64	31,28	27,25
4	51,32	36,92	45,66	44,64
5	87,01	57,1	64,77	69,63
6	109,05	85,77	77,78	90,87
7	179,95	119,82	109,3	136,36
8	283,2	156,39	155,83	198,47
9	371,67	191,31	202,61	255,19
10	451,81	223,22	240,27	305,1
11	644,42	258,26	377,47	426,71
12	773,55	293,61	410,96	492,71
13	847,88	325,41	446,77	540,02
14	914,52	346,35	432,81	564,56

Tabela 5. Cargas admissíveis para pré-moldada de 26 cm de diâmetro para o furo SPT-002.

Método	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
Profundidade (m)	Carga Admissível (kN)			
1	5,86	5,57	18,21	9,88
2	36,99	7,96	29,30	24,75
3	79,40	31,42	63,53	58,12
4	114,68	57,15	89,31	87,04
5	162,15	83,68	123,20	123,01
6	173,26	106,00	147,35	142,20
7	207,99	130,46	167,41	168,62
8	270,24	154,66	206,32	210,41
9	277,59	182,67	208,83	223,03
10	347,27	212,24	237,74	265,75
11	432,71	246,46	286,05	321,74
12	494,76	281,03	330,27	368,68
13	584,27	311,63	374,92	423,61
14	657,00	346,73	421,99	475,24
15	765,32	378,86	460,54	534,91
16	858,23	407,99	548,45	604,89

Tabela 6. Cargas admissíveis para pré-moldada de 26 cm de diâmetro para o furo SPT-003.

Método	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
Profundidade (m)	Carga Admissível (kN)			
1	5,86	3,19	18,21	9,09
2	19,42	4,25	24,75	16,14
3	40,62	20,17	41,9	34,23
4	62,42	38,54	54,83	51,93
5	78,91	60,11	59,46	66,16
6	114,97	82,6	80,85	92,81
7	150,73	103,56	101,22	118,5
8	184,32	123,63	120,3	142,75
9	339,24	197,34	205,08	247,22
10	422,48	236,53	240,3	299,77
11	538,94	282,21	295,16	372,11
12	603,02	322,3	319,89	415,07
13	897,22	372,13	379,61	549,65
14	958,25	419,01	425,27	600,84
15	1077,25	446,94	456,53	660,24
16	5,86	3,19	18,21	9,09

4.3 Orçamento

Para a realização do orçamento, inicialmente foram realizados os levantamentos de quantitativo. Na Tabela 7, pode-se observar as quantidades levantadas para cada tipo de estaca. Para a estimativa do custo para as duas soluções de fundação proposta, foram utilizadas as bases de dados do SINAPI de dezembro de 2022 para o estado de Minas Gerais, juntamente com os bancos da SETOP de outubro de 2022. O resultado do orçamento básico é mostrado na Tabela 8.

Tabela 7. Resumo dos quantitativos.

Item	Estaca Pré-moldada	Estaca Hélice contínua
Quantidade de estacas (un)	61	61
Profundidade média (m)	9	11
Profundidade total (m)	549	671

Tabela 8. Orçamento estimativo básico.

Item	Descrição	Código	Banco	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Total
1	Estaca pré-moldada						R\$ 179.535,81
1.1	Estaca pré-moldada de concreto armado cravada 28x28 cm/105T	ED-49734	SETOP	m	549,00	R\$321,90	R\$ 176.723,10
1.2	Corte e Preparo de Cabeça de Estacas	ED-49738	SETOP	un	61,00	R\$46,11	R\$ 2.812,71
2	Estaca hélice contínua						R\$ 114.759,86
2.1	Mobilização e desmobilização de equipamento para estaca tipo hélice contínua DMT até 50km	ED-49713	SETOP	un	1,00	R\$9.644,73	R\$ 9.644,73
2.2	Estaca hélice contínua, diâmetro de 30cm, incluso concreto Fck=30MPa e armadura mínima (exclusive mobilização, desmobilização e bombeamento). AF_12/2019	100651	SINAPI	m	671,00	R\$148,62	R\$ 99.724,02
2.3	Corte e Preparo de Cabeça de Estacas	ED-49738	SETOP	un	61,00	R\$46,11	R\$ 2.812,71
2.4	Serviço de bombeamento de concreto com consumo mínimo de 40m ³	44535	SINAPI	m ³	44,00	R\$58,60	R\$ 2.578,40

Ao comparar os orçamentos básicos entre estacas hélice-contínua e estacas pré-moldadas, os valores revelam uma diferença significativa. A estaca hélice contínua apresentou um custo total aproximado de R\$ 114.759,86, enquanto a estaca pré-moldada registrou um valor de R\$ 179.535,81. Esses números demonstram que a opção pela estaca hélice contínua pode resultar em uma economia considerável em relação à alternativa pré-moldada, com uma diferença de aproximadamente R\$ 64.775,95. Essa diferença representa uma economia de aproximadamente 36% em relação ao valor da estaca pré-moldada.

5 CONCLUSÃO

O projeto e a execução da infraestrutura de edificações variam muito com o porte da construção, as cargas aplicadas na fundação e o tipo de solo no local estudado. Além disso, é importante analisar mais de um método

de dimensionamento de fundações, para que seja possível uma análise comparativa entre soluções viáveis, para que a melhor decisão sobre o projeto seja tomada.

Levando em consideração que o presente projeto apresenta um nível d'água próximo a superfície do solo, foram projetados dois tipos de fundação para que assim pudesse ser feita uma comparação econômica entre ambas. As cargas provenientes da estrutura têm uma magnitude consideravelmente alta, além de que, de acordo com a sondagem, a resistência superficial do solo é baixa, não favorecendo o uso de fundações rasas. Sendo assim, o uso de fundações profundas foi considerado e o projeto foi dimensionado para estaca hélice contínua e pré-moldada. Outros tipos de estacas poderiam ser adotados, como por exemplo, estacas metálicas, Franki, mas considerando a prática regional e a disponibilidade de equipamento no município, optou-se por estudar os dois tipos mais comuns usados atualmente no sul de Minas Gerais.

A execução da estaca pré-moldada, em comparação com a hélice contínua, é muito mais limpa, gerando poucos resíduos na obra. Contudo, para as áreas urbanas densamente povoadas, a vibração gerada pela cravação da estaca pode gerar danos em construções vizinhas. Além disso, o custo para a execução da estaca hélice contínua foi de aproximadamente 36% menor do que o da estaca pré-moldada.

Portanto, a escolha da estaca hélice contínua em detrimento da estaca pré-moldada é justificada pelos seguintes aspectos: as vibrações causadas pela instalação das estacas pré-moldadas representam um fator negativo significativo, onde há vizinhos é uma preocupação primordial. Além disso, a estaca hélice contínua oferece uma solução econômica, uma vez que é mais barata do que a opção pré-moldada. Essa redução de custos é crucial para a viabilidade financeira do projeto, permitindo alocar recursos de forma mais eficiente para outras etapas importantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Recursos Naturais (IRN) e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, U. R. (1991) *Previsão e Controle das Fundações*. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). *NBR 6484: Solo – Sondagens de Simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1983). *NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – Procedimento*. Rio Janeiro.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N. (2010). *Fundações por estacas: projeto geotécnico*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- Hachich *et al* editores (1998) *Fundações - Teoria e Prática*. São Paulo: PINI, 1998.
- Laurentino, B.O. (2018) *Estudo de caso comparativo de projeto de fundação por estaca pré-moldada e hélice contínua*. TCC (graduação). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Florianópolis, 2018.
- Neto, A. (1998) *Uma breve história das fundações*. In: HACHICHI *et al* editores. *Fundações - Teoria e Prática*. São Paulo: PINI, 1998. p. 17-32.
- Schnaid, F. (2012) *Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- Vargas, M. (1998) *História da engenharia de fundações no Brasil*. In: HACHICHI *et al* editores. *Fundações - Teoria e Prática*. São Paulo: PINI, 1998. p. 34-36.
- Velloso, D. A. e Lopes, F. (2010) *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.