

ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO: INDICAÇÃO DE APLICAÇÃO PARTINDO DO PRÉ-PROJETO

Bruno Oliveira Bezerra¹

Edinaldo Feitosa Santos Neto²

Diego Silva Souza³

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

As fundações desempenham um papel fundamental na construção civil, pois são responsáveis por transmitir as cargas da estrutura de uma edificação para o solo de maneira segura e eficiente. Dessa maneira, sua principal função é distribuir o peso da construção de forma uniforme no solo, garantindo a estabilidade e a segurança da estrutura como um todo. Diante de tais conceitos, nesta pesquisa, partiu-se do questionamento: Existem critérios para escolha/adoção de fundação de acordo com a quantidade de pavimentos da edificação? Dito isso, o objetivo geral deste artigo é apresentar de forma simples e prática, critérios para escolha do elemento de fundação a ser utilizado para uma obra, considerando-se apenas um pré-projeto, condições ambientais e quantidade de pavimentos da edificação. Por conseguinte, os conceitos fundamentais relacionados à classificação e escolha de elementos de fundação foram resgatados, proporcionando uma base teórica sólida para as discussões que foram trazidas. Por fim, pode-se afirmar que a pesquisa destaca a importância de uma abordagem consciente e técnica na escolha do elemento de fundação desde as fases iniciais do projeto, otimizando recursos e garantindo a segurança estrutural, de maneira análoga, este trabalho contribui para a sistematização de critérios de escolha, fornecendo uma ferramenta valiosa para profissionais que buscam direcionamento na tomada de decisões fundamentais em projetos de engenharia civil.

PALAVRAS-CHAVE

Condições de Projeto. Escolha do Elemento de Fundação. Tipos de Fundações.

ABSTRACT

Foundations play a fundamental role in construction as they are responsible for safely and efficiently transmitting the loads of a building's structure to the ground. Thus, their main function is to distribute the weight of the construction evenly on the soil, ensuring the stability and safety of the entire structure. Given these concepts, this research started with the question: Are there criteria for choosing/adopting a foundation based on the number of floors in the building? That said, the general objective of this article is to present in a simple and practical way criteria for choosing the foundation element to be used for a construction considering only a preliminary project, environmental conditions, and the number of floors in the building. Consequently, the fundamental concepts related to the classification and selection of foundation elements were reviewed, providing a solid theoretical basis for the discussions that were brought forth. Finally, it can be affirmed that the research highlights the importance of a conscious and technical approach in choosing the foundation element from the initial stages of the project, optimizing resources and ensuring structural safety. Analogously, this work contributes to the systematization of selection criteria, providing a valuable tool for professionals seeking guidance in making fundamental decisions in civil engineering projects.

KEYWORDS

Choice of foundation element. Project conditions. Types of foundations.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que sob o aspecto estrutural, as fundações são elementos essenciais para garantir a segurança e estabilidade das construções. Assim, qualquer erro de alocação e/ou dimensionamento em tais elementos estruturais podem ocasionar, em situações extremas, o colapso da edificação, como também podem ocasionar patologias ao longo da estrutura do edifício.

Na construção civil, a escolha dos elementos de fundação desempenha um papel crucial na estabilidade e durabilidade de uma estrutura. Os critérios para selecionar esses elementos são variados e complexos, envolvendo considerações geotécnicas, econômicas e estruturais. Em primeiro lugar, as características do solo desempenham um papel fundamental, pois diferentes tipos de solo apresentam diferentes capacidades de suporte de carga. Uma análise das propriedades do solo, como sua resistência e compressibilidade, é essencial para determinar o tipo mais adequado de fundação (Alonso, 2020).

Além disso, aspectos econômicos também são fundamentais na escolha dos elementos de fundação, ou seja, os custos associados à instalação e manutenção de diferentes tipos de fundações devem ser avaliados em conjunto com as exigências

específicas do projeto. Com isso, a eficiência e a praticidade desempenham um papel vital na otimização dos recursos financeiros (Bastos, 2019; Calil Jr, 2017).

Ademais, considerações estruturais são essenciais para garantir a integridade da construção. Outros aspectos como a carga a ser suportada, os padrões de construção e as características específicas da estrutura influenciam diretamente na escolha do tipo de fundação. Por fim, a abordagem geral dos critérios de escolha para os elementos de fundação na construção civil envolve uma análise multidisciplinar, considerando fatores geotécnicos, econômicos e estruturais. Uma tomada de decisão informada nesse estágio inicial do projeto é crucial para garantir a estabilidade e a segurança da estrutura ao longo do tempo, além de otimizar os recursos disponíveis (Albuquerque; Garcia, 2022).

Dessa maneira, partindo-se do pressuposto que a escolha do elemento de fundação passe por uma série de pré-requisitos, o engenheiro responsável deve analisar o tipo de obra que pretende ser construída no local da fundação, analisando as questões e problemas urbanos, com base nos custos, já que em algumas situações as soluções são divergentes, o critério econômico será fundamental para decisão final. Ademais, o tempo de execução é outro ponto primordial a ser analisado, pois deve estar em sincronia ao cronograma da obra. Sempre que for possível, aspectos relacionados à logística e à economia de escala devem ser priorizados, optando-se pelo uso de um único tipo de fundação para uma obra (Falconi; Niyama; Orlando, 2017).

Considerando tal abordagem, emerge o seguinte questionamento: Existem critérios para escolha/adoção de fundação de acordo com a quantidade de pavimentos da edificação?

Diante do exposto, o objetivo geral deste artigo é apresentar de forma simples e prática, critérios para escolha do elemento de fundação a ser utilizado para uma obra considerando-se apenas um pré-projeto, condições ambientais e quantidade de pavimentos da edificação. Para tanto, se fazem necessários os seguintes objetivos específicos: categorizar os tipos de fundações de acordo com a NBR 6122 (Abnt, 2019); elencar os critérios para escolha/adoção de fundações; elaborar fluxograma para orientação inicial do elemento de fundação a ser utilizado na obra, dado as exigências de projeto inicialmente definidas pelo cliente, e as condições ambientais.

Com relação aos procedimentos metodológicos foi realizada uma pesquisa bibliográfica e exploratória na literatura, a partir da qual foram identificados os principais autores que discorrem sobre o tema. Dessa maneira, resgatou-se os principais conceitos trabalhados e uma vez estabelecido o problema de pesquisa, partiu-se para a identificação dos critérios de escolha existentes na literatura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundação desempenha um papel crucial na construção civil ao proporcionar suporte e estabilidade à estrutura acima do solo. Conforme destaca Pfeil e Sá (2015), a função primordial da fundação é distribuir as cargas provenientes da edificação para o solo de maneira segura e eficiente, garantindo a estabilidade global da construção.

A correta escolha do tipo de fundação é fundamental para lidar com as características específicas do solo e as cargas impostas pela estrutura, assegurando a durabilidade e a segurança do empreendimento.

Dessa maneira, de acordo com a NBR 6122 (Abnt, 2019), existem diversos tipos de fundações, cada uma projetada para atender a diferentes condições geotécnicas e requisitos estruturais. Assim, para Araújo e Lima (2018), fundações rasas, como as sapatas e blocos, são empregadas quando as camadas superficiais do solo apresentam capacidade de carga suficiente. Já fundações profundas, como estacas e tubulões, são utilizadas quando há necessidade de atingir camadas mais resistentes do subsolo.

Contudo, a escolha entre esses tipos de fundações depende de uma análise geotécnica cuidadosa, conforme enfatizado por Pordeus (2009), que destaca a importância de estudos prévios do solo e das cargas atuantes para uma decisão fundamentada. Neste contexto, nos tópicos a seguir serão apresentados e discutidos os conceitos e classificações dos elementos de fundação.

2.1 FUNDAÇÕES RASAS OU DIRETAS

De acordo com a NBR 6122 (Abnt, 2019) definem-se como rasas o elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, recebendo aí as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada; para esta definição adota-se a menor profundidade, caso esta não seja constante em todo o perímetro da fundação.

Assim, para Rodrigues *et al* (2021), a fundação rasa ou superficial é o elemento que permite a distribuição das tensões sobre sua base de fundação. O nome se dá ao fato de ser um elemento de fundação em que sua profundidade é inferior a duas vezes sua menor dimensão, sendo utilizadas ao máximo de 3,00 metros abaixo do nível do piso. No Quadro 1 são apresentados os tipos de fundações rasas e suas respectivas características de acordo com a NBR 6122 (Abnt, 2019).

Quadro 1 – Tipos de fundações rasas e suas características

Tipo	Características
Sapata Isolada	Elemento de fundação rasa, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim.
Bloco	Elemento de fundação rasa de concreto ou outros materiais tais como alvenaria ou pedras, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo material, sem necessidade de armadura
Radier	Elemento de fundação rasa dotado de rigidez para receber e distribuir mais do que 70 % das cargas da estrutura.

Tipo	Características
Sapata Corrida	Sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de três ou mais pilares ao longo de um mesmo alinhamento, desde que representem menos de 70 % das cargas da estrutura.
Sapata associada	Sapata comum a dois pilares; a denominação se aplica também a sapata comum a mais do que dois pilares, quando não alinhados e desde que representem menos de 70 % das cargas da estrutura.

Fonte: Organizado pelos autores (2023), com base na NBR 6122 (Abnt, 2019).

De forma complementar, verifica-se também que a sapata isolada é uma fundação rasa e individual, utilizada para suportar cargas concentradas de uma coluna ou pilar. Ela consiste em uma base de concreto armado que se espalha no solo, transmitindo a carga da estrutura para uma área maior e mais resistente. Logo, a sapata isolada é dimensionada levando em consideração as características do solo, a carga aplicada e os critérios de segurança, que geralmente majoram a carga transmitida em 5% ou 10%, à critério do projetista (Abnt, 2019; Rodrigues *et al.*, 2021).

Já os blocos são estruturas de fundação que não necessitam de armadura, uma vez que são dimensionados de modo que a estrutura resista aos esforços de tração, o que ocasiona uma grande altura ao elemento. Os blocos são elementos de grande rigidez executados com concreto simples, dimensionados de modo que as tensões de tração neles produzidas sejam absorvidas pelo próprio concreto.

O radier é uma fundação rasa contínua que cobre toda a área da estrutura. Ele é uma laje de concreto armado espessa que distribui uniformemente as cargas da construção sobre uma grande área do solo. O radier é adequado para solos de boa capacidade de suporte e é comumente utilizado em construções de baixo porte, como residências unifamiliares ou pequenos edifícios comerciais (Albuquerque; Garcia, 2022).

No tocante às sapatas corridas e associadas, as primeiras são elementos de fundação rasa e contínua que consiste em uma viga de concreto armado que se estende ao longo da área da estrutura. É usada para suportar cargas distribuídas, como as de muros de arrimo, paredes de subsolo ou vigas de contenção. Assim, as sapatas corridas são dimensionadas para resistirem aos esforços de flexão e cisalhamento e transmitir as cargas para o solo (Bastos, 2019).

Já com relação às sapatas associadas, o autor citado no parágrafo anterior, as define como uma combinação de diferentes tipos de fundações rasas para atender às necessidades específicas da estrutura e do solo. É comumente usada quando há variações nas cargas aplicadas, nas características do solo ou nas restrições de espaço. Por exemplo, em uma edificação com colunas de diferentes cargas e tipos de solo variados, pode-se utilizar sapatas isoladas e blocos em conjunto.

2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS OU INDIRETAS

Dá-se o nome de fundação profunda ou indireta ao 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 3,0 m; quando não for atingido o limite de oito vezes, a denominação é justificada. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões, e para alguns autores também se incluem os caixões (Barbosa, 2021).

Assim, no quadro 2 apresenta-se os tipos e características das fundações profundas de acordo com a NBR 6122 (Abnt, 2019).

Quadro 2 – Tipos de fundações profundas

Tipo	Características
Estaca	Elemento de fundação esbelto que pode ser executado a partir da perfuração ou cravação do solo e que transmite as cargas para o solo por meio da resistência lateral ou resistência de ponta.
Caixões	Usados em edifícios de grande porte e em solos que não oferecem boa resistência.
Tubulão	Elemento de fundação, em que pelo menos na etapa final, há descida de pessoas para o alargamento de sua base ou limpeza do fundo da escavação, pois em tubulões as cargas são transmitidas preponderadamente pela base. O diâmetro mínimo do fuste é de 70 cm, já sua altura máxima da base é determinada 1,80 m

Fonte: Organizado pelos Autores (2023), com base na NBR 6122 (Abnt, 2019).

2.3 CRITÉRIOS DE ESCOLHA E ADOÇÃO DE FUNDAÇÕES

A seleção adequada do tipo de fundação é uma decisão crítica na engenharia civil, influenciada por diversos critérios que variam de acordo com as condições do solo e os requisitos específicos de cada projeto. Para Araújo e Lima (2018), entre os fatores determinantes para a escolha da fundação, destacam-se: a análise geotécnica do solo, considerando parâmetros como resistência, compressibilidade e características hidráulicas. A compreensão detalhada desses elementos é essencial para garantir a estabilidade da estrutura.

Dessa maneira, pode-se afirmar que indicar ou selecionar o elemento de fundação é uma etapa crítica no desenvolvimento de projetos de engenharia civil. Diante de tal afirmação, se faz necessário compreender os principais critérios que orientam a decisão de escolher o tipo de fundação mais adequado para uma construção. Assim, os principais critérios - técnico, econômico e de mercado - são examinados em detalhes para compreender como influenciam a tomada de decisão (Falconi; Niyama; Orlando, 2019).

Nesta perspectiva, o critério técnico é norteador para garantir a segurança estrutural e evitar danos a edificações vizinhas. A seleção de uma fundação deve atender aos requisitos de carga, recalque e condições de solo. No entanto, esse critério muitas vezes limita as opções disponíveis, excluindo certos tipos de fundações (Hachich, 2019). Além do mais, os critérios econômicos e de mercado desempenham um papel complementar na decisão. A viabilidade econômico-financeira é essencial em qualquer projeto, portanto, o custo de construção, incluindo materiais, mão de obra e equipamentos, é cuidadosamente avaliado. Além disso, fatores de mercado, como disponibilidade de materiais e prazos de construção, moldam as escolhas finais (Falconi; Niyama; Orlando, 2019).

Assim, a viabilidade econômico-financeira é um critério crucial na escolha de fundações, pois conforme destaca Calil Jr. (2017), o custo associado à execução, manutenção e eventual recuperação de fundações deve ser cuidadosamente avaliado. Além disso, considerações sobre o cronograma de construção e a disponibilidade de tecnologias também influenciam a escolha da fundação. Conforme apontado por Santos e Oliveira (2016), prazos apertados podem demandar métodos construtivos mais rápidos, impactando na seleção do tipo de fundação mais apropriado.

Além do mais, outro critério relevante é a carga que a fundação deve suportar. De acordo com Pfeil e Sá (2015), é crucial considerar tanto as cargas verticais quanto as cargas laterais e de momento que atuarão sobre a fundação. O dimensionamento correto é fundamental para evitar problemas estruturais e garantir a segurança da edificação. Para além disso, critérios relacionados ao meio ambiente, como a preservação de recursos hídricos e a minimização de impactos ambientais, também podem orientar a escolha do tipo de fundação, conforme abordado por Pordeus (2009).

Dessa maneira, o estudo, ou pré-projeto, também destaca o impacto do avanço tecnológico na escolha de fundações. Neste sentido quanto aos elementos necessários e critérios de projeto, na visão dos autores citados nos parágrafos anteriores, são detalhados os documentos essenciais para o projeto de fundações. Isso inclui levantamentos planialtimétricos, projetos de arquitetura e ensaios geotécnicos, que formam a base da tomada de decisão informada. Além disso, o estudo explora as alternativas de solução, focando especificamente nas fundações superficiais.

Por fim, pode-se afirmar que a escolha e adoção de fundações envolvem uma análise multidisciplinar que considera desde aspectos geotécnicos e de carga até critérios econômicos e ambientais, sendo fundamental para assegurar a eficiência, segurança e sustentabilidade de uma construção.

3 METODOLOGIA

Nesta seção do artigo, serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados com intuito de atingir os objetivos definidos para esta pesquisa. Neste sentido, o estudo é conduzido sob a perspectiva qualitativa, na qual os dados são analisados de maneira sistemática e intuitiva, com ênfase na compreensão total do fenômeno em questão, adoção ou indicação do tipo de elemento de fundação (King;

Keohane; Verba, 2014; Lakatos; Marconi, 2017). Além disso, aborda-se também classificação dos tipos de fundações de acordo com a NBR 6122 - Projeto e execução de fundações (Abnt, 2019) sob perspectiva descritiva.

Por conseguinte, quanto aos objetivos, é uma pesquisa descritiva, a qual se trata de um método de análise com base na descrição objetiva das características, comportamentos e características de um fenômeno, sem a manipulação proposital de variáveis independentes. Assim, a presente pesquisa fornece uma representação precisa e detalhada de como as coisas são em uma certa situação, permitindo uma compreensão aprofundada do contexto em estudo (Lakatos; Marconi, 2017; Gil, 2017).

Para tanto, foram utilizadas recomendações técnicas constantes na literatura e na normatização da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre os critérios de determinação do tipo de fundação mais apropriado tendo em vista o tipo de solo do terreno, a quantidade de pavimentos da edificação (e consequente a carga estimada a ser transferida). Logo, pode-se afirmar que a presente discussão visa proporcionar maior familiaridade com a escolha do elemento de fundação, indicando assim ao leitor um elemento a ser posteriormente dimensionado de forma minuciosa.

Neste contexto, o levantamento bibliográfico realizado para o consequente estudo teve por objeto revisões da literatura, obras como artigos, teses e dissertações nas plataformas do Google Acadêmico e Biblioteca Virtual da UNIT, com acesso de agosto a novembro de 2023. No Google Acadêmico não houve necessidade de identificação do usuário, pois o acesso é gratuito, e utilizou-se os seguintes termos de busca: mecânica dos solos, engenharia de fundações; critérios avaliativos de escolha, envolvendo o tipo do solo; fundações e como fazer a recomendação mais adequada para cada tipo de solo.

4 DISCUSSÕES: COMO ESCOLHER O ELEMENTO DE FUNDAÇÃO?

Os problemas do engenheiro civil, em sua grande parte, agravam-se quando é preciso escavar abaixo da superfície do terreno. Acima da superfície, as construções também podem apresentar problemas, mas é abaixo da superfície do terreno que seus problemas se multiplicam. O grau de incerteza aumenta, e a experiência acumulada com os problemas análogos já vivenciados torna-se um guia duvidoso para solucionar problemas da engenharia de fundações e obras enterradas (Albuquerque; Garcia, 2022).

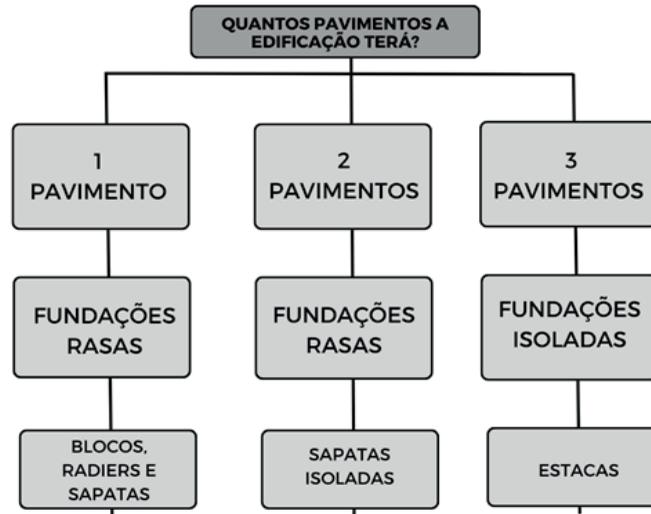
Dessa maneira, é importante tomar cuidado ao escolher o tipo de fundação, desde a análise do solo, dando ênfase para pequenas variações de resistência, até a escolha do tipo de fundação adequado. Assim, a escolha do tipo de fundação deve ser baseada nas características do solo, como a tipologia, a granulometria, a densidade e a resistência. Além disso, a literatura afirma que para a escolha do tipo de fundação é necessário um estudo prévio do solo, tipo de construção, nível de água e das cargas atuantes nas fundações dos edifícios.

Sabe-se que a NBR 6122 (Abnt, 2019), fornece diretrizes gerais e recomendações para o projeto e execução de fundações. No entanto, essa norma não especifica, de forma explícita, o tipo de fundação a ser adotado, em função do número de pavimen-

tos da edificação, pois tal decisão depende das condições do local. Logo, a escolha do tipo de fundação para uma edificação de um pavimento depende de vários fatores, incluindo o tipo de solo, as cargas que a estrutura deve suportar e as condições locais.

Nesta perspectiva, para um edifício de um pavimento, fundações superficiais como a sapata corrida ou a radier são frequentemente adequadas, contudo, a escolha final deve ser feita após uma análise geotécnica do local. Neste contexto, a figura 1 apresenta um fluxograma com um roteiro prático para indicação do elemento de fundação em função do número de pavimentos da edificação.

Figura 1 – Indicação do elemento de fundação em função da número de pavimentos



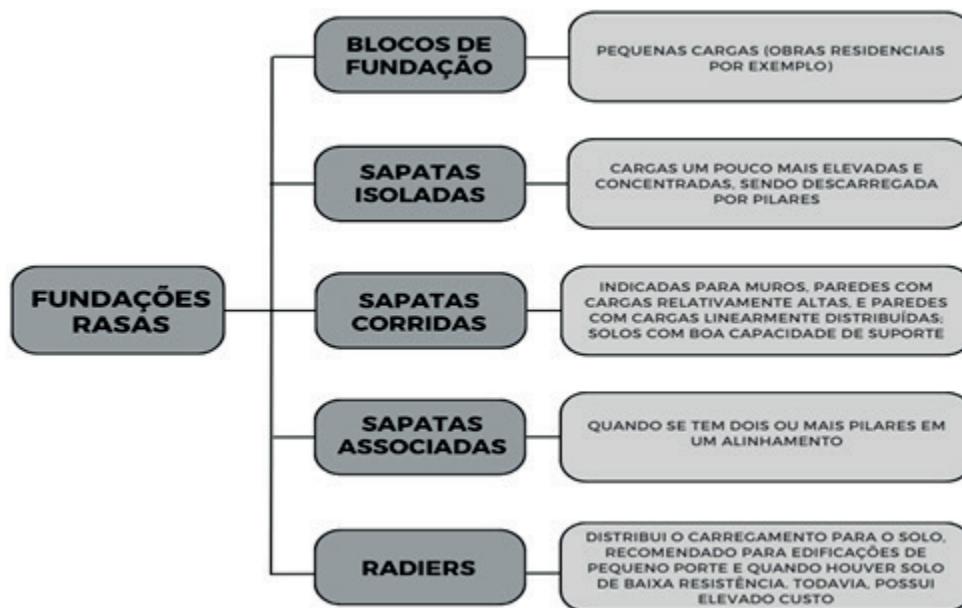
Fonte: Elaborado pelos autores com base em Souza (2023).

De acordo com a Figura 1, recomenda-se utilizar fundações rasas para edificações com até 2 pavimentos, pois retomando a fundamentação teórica, as fundações rasas ou diretas são aquelas em que a profundidade de escavação é inferior a 3 metros, assim estas são mais empregadas em casos de cargas leves como residências, ou em solos firmes (Albuquerque; Garcia, 2022). Dessa maneira, são tipos de fundação utilizadas para transferir as cargas da estrutura para camadas mais superficiais do solo, sendo indicadas em diversas situações, principalmente quando as camadas de solo mais próximas à superfície são capazes de suportar as cargas da construção.

Assim, tais elementos são adequados quando o solo na camada superficial é suficientemente resistente para suportar as cargas da estrutura. Isso é comum em solos argilosos compactados, solos arenosos bem compactados e/ou solos com rochas próximas à superfície (Souza, 2013; Paiva; Almeida, 2011). De maneira geral, são indicadas quando a carga aplicada à infraestrutura é relativamente leve a média, sendo comum em edificações residenciais, comerciais de pequeno porte e estruturas similares, como por exemplo: casas unifamiliares, garagens, galpões e estruturas similares, que não exigem fundações profundas. Para além de tais características e in-

dicações na Figura 2, apresenta-se um fluxograma de indicação de uso das fundações rasas em função das suas características de projeto.

Figura 2 – Indicações de uso das fundações rasas



Fonte: Elaborado pelos autores com base em Souza (2023).

Partindo-se da análise da Figura 2, e corroborando com Carvalho *et al* (2018), pode-se afirmar que em locais onde há restrições à profundidade das fundações devido a características do solo, lençol freático alto ou interferência com estruturas vizinhas, as fundações rasas podem ser a melhor opção. Neste sentido, o radier, o bloco ou as sapatas são exemplos de fundações rasas empregadas nesse tipo de estrutura. Além do mais, os blocos e sapatas isoladas são os elementos de fundação mais simples e, sempre que possível, devem ser adotados dado sua economia e simplicidade no dimensionamento.

Dessa maneira, pode-se afirmar que os blocos são ótimas soluções em edificações residenciais de um pavimento, pois são estruturas de fundação que não necessitam de armadura, uma vez que são dimensionados de modo que a estrutura resista aos esforços de tração, em virtude das baixas cargas transmitidas ao solo (Barbosa, 2021). Assim, no Quadro 3 pode-se identificar as indicações de uso de sapata e blocos de fundação de acordo com as condições de projeto.

Quadro 3 – Indicações para sapatas isoladas e blocos

Bloco	Sapata Isolada
<ul style="list-style-type: none"> • Indicados quando a carga da estrutura é uniformemente distribuída ou quando a base de apoio é extensa. • Apropriados para estruturas de menor complexidade, como casas unifamiliares de um pavimento. • São uma escolha eficiente para estruturas leves e simplificadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadas quando a carga da estrutura é concentrada em pontos específicos, como colunas ou pilares. Projetadas para suportar cargas pontuais. • São comuns em edifícios de vários pavimentos, onde colunas ou pilares transferem cargas para o solo em pontos específicos.

Fonte: Organizado pelos Autores (2023).

Já uma fundação rasa do tipo sapata associada, sapata corrida ou radier deve ser adotada quando as áreas das sapatas imaginadas para os pilares se aproximam muito ou até mesmo se interceptam, por consequência de cargas elevadas dos pilares e/ou camada de solo sem suporte ou mal escolhida (Albuquerque; Garcia, 2022; Barbosa, 2021). Logo, a escolha entre esses tipos de fundação depende das características do projeto, das cargas da estrutura e das condições do solo e no quadro 4 a seguir apresentam-se as possíveis indicações para uso.

Quadro 4 – Indicações para sapatas associadas, corridas e radier

Sapata Associada	Sapata Corrida	Radier
São indicadas para suportar as cargas de dois ou mais pilares. São normalmente empregadas quando a posição de duas sapatas isoladas fica muito próximas por falta de espaço ou opção estrutural.	São indicadas para suportar cargas de elementos contínuos e alongados, como paredes e muros. São comuns em construções de pequeno porte, como casas e edificações de baixa altura.	Indicado para suportar mais de 70% das cargas de uma edificação. Sua capacidade de carga não costuma ser tão alta quanto a outras fundações profundas.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Com relação às fundações profundas, de acordo com a Figura 1 apresentada anteriormente, são indicadas caso a edificação apresente mais de 3 pavimentos. Contudo, tais elementos estruturais são projetados para transferir as cargas da superestrutura para camadas mais profundas do solo, quando as camadas superficiais não oferecem capacidade de carga suficiente. Logo, este tipo de fundação é frequentemente utilizado em situações em que o solo de apoio apresenta características desfavoráveis, como baixa resistência ou compressibilidade significativa (Pfeil, 2010, 2015).

Por conseguinte, a decisão de utilizar fundações profundas é baseada em uma análise cuidadosa das características geotécnicas do solo, das cargas impostas pela

estrutura e de fatores econômicos. Dessa maneira, o emprego adequado de fundações profundas desempenha um papel crucial na segurança, estabilidade e durabilidade das construções, especialmente em projetos que enfrentam desafios geotécnicos específicos. Portanto, entre os tipos mais comuns de fundações profundas estão as estacas e os tubulões, e suas possíveis indicações de uso estão apresentadas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Indicações de uso das fundações profundas



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023).

Dessa maneira, de acordo com a Figura 3, verifica-se que em geral, as estacas são utilizadas em situações em que o solo superficial não oferece capacidade de carga suficiente para suportar as cargas da estrutura. Situações como solos compressíveis, solos expansivos, ou em locais onde é necessário atingir camadas mais resistentes do solo, podem demandar o uso de estacas como fundação. Conforme discutido por Pfeil (2010), a escolha do tipo de fundação, incluindo estacas, está intrinsecamente ligada às características geotécnicas do solo e à distribuição de cargas da estrutura.

Além disso, Azevedo (2015), destaca que as estacas são especialmente úteis em regiões com solos instáveis, onde há a necessidade de atingir camadas mais profundas e resistentes. Por conseguinte, a norma NBR 6122 (Abnt, 2019), em seu capítulo sobre “Tipos de Fundações”, também fornece orientações sobre as condições em que o uso de estacas é apropriado, destacando a importância da análise geotécnica na tomada de decisão sobre o tipo de fundação a ser adotado.

Dessa maneira, Souza (2023), define as estacas como elementos de fundação, caracterizados pela elevada relação entre seu comprimento e sua seção transversal, com a função de transmitir as cargas de uma estrutura para camadas de adequada capacidade de suporte e baixa compressibilidade. Quanto à sua seção transversal, estas podem circular ou prismática (quadrada, hexagonal ou outras).

Para Albuquerque e Garcia (2022), as estacas são denominadas pelo material e pelo tipo de execução. Neste sentido, quanto aos materiais mais empregados nas obras, verifica-se a incidência de estacas em perfil de aço, estacas em concreto, e estacas em madeira. Cabe comentar que as estacas de madeira, amplamente utiliza-

das no passado no Brasil (e ainda bastante utilizadas em alguns países), atualmente na visão dos autores supracitados, são restritas a obras provisórias. Considerando as estacas de concreto estas podem ser pré-moldadas ou moldadas *in situ* (*in loco*, no local por tradução livre).

Quanto ao método de execução a NBR 6122 (Abnt, 2019), classifica as estacas em dois grupos: estacas cravadas (por percussão ou por prensagem) e estacas escavadas. Para Melo (2019), estacas cravadas são elementos estruturais que são introduzidos no solo por meio de impacto, penetrando no subsolo até atingir uma camada resistente capaz de suportar a carga da estrutura. Um exemplo comum de estaca cravada é a estaca metálica, que é cravada no solo usando um martelo vibratório ou um martelo de queda livre.

Já as estacas escavadas, para a mesma autora, são formadas removendo-se o solo para criar um furo no qual a estaca é posteriormente colocada, para o autor, geralmente é utilizado concreto para preencher o furo e formar a estaca, dessa forma uma estaca escavada pode ser do tipo trado, onde um dispositivo de perfuração gira para cavar o solo e, em seguida, o furo é preenchido com concreto.

Assim, quando se discute a forma mais adequada de execução das estacas, cravadas ou estacas, a decisão deve levar em consideração as características do solo, a carga estrutural e os custos envolvidos na instalação de cada tipo de estaca. Contudo, há de se salientar também um fator importante a ser observado quando desta decisão: as condições e imposições do local de execução, pois caso a obra em questão seja realizada em locais que não seja permitido perturbações ou próximo de edificações históricas, não é permitido realizar a execução de estacas por cravação como nos casos dos bate-estacas.

Um dos exemplos das estacas mais utilizadas nas obras pode-se citar as estacas Franki, que embora amplamente utilizadas em fundações profundas, apresentam limitações que vão além do impacto ambiental. Um dos desafios fundamentais está relacionado à dependência da capacidade de compactação do solo ao redor da estaca para garantir sua eficácia, pois em solos moles ou compressíveis, essa compactação pode ser desafiadora, comprometendo a estabilidade e a capacidade de carga da fundação. Assim, o processo executivo dessas estacas promove uma alta capacidade de carga na estaca, assim como um bom controle de qualidade do estaqueamento. Porém, tal processo também é responsável por vibrações excessivas e baixa produtividade (Gehlen, 2016; Joppert Junior, 2007).

Em razão disso, esse tipo de estaca desenvolve elevada capacidade de carga para pequenos recalques. Pode ser executada abaixo do nível de água (N.A.), por meio de perfuração à percussão, utilizando concreto convencional para o preenchimento do furo, e podem ser executadas em profundidades que variam em função do comprimento do tubo e do equipamento de cravação (Albuquerque; Garcia, 2022).

Outra dificuldade notável, para Pereira (2017), é a necessidade de equipamentos especializados, como martelos vibratórios pesados, para a instalação das estacas Franki. Essa exigência não apenas eleva os custos operacionais, mas também introduz complexidades operacionais adicionais, tornando essa escolha menos atrativa

em determinadas situações. Essa complexidade operacional pode afetar a eficiência do processo construtivo e a orientação econômica do projeto.

Portanto, ao considerar as estacas Franki em projetos de fundações profundas, é crucial levar em conta não apenas o impacto ambiental, mas também as limitações relacionadas à capacidade de compactação do solo e à necessidade de equipamentos especializados, garantindo uma abordagem abrangente e equilibrada na escolha do tipo de fundação.

Outro tipo de estacas muito utilizadas nas obras são as estacas pré-moldadas de concreto, uma escolha consagrada em fundações profundas, contudo, apresentam considerações técnicas relevantes que exigem atenção em projetos de engenharia civil. Dessa maneira, a limitação primordial reside no comprimento predefinido desses elementos, uma característica que pode ser restritiva em cenários onde a profundidade de profundidade no solo é um fator crítico. Logo, a inflexibilidade desse parâmetro pode exigir avaliações geotécnicas precisas para garantir que as estacas atendam especificamente às demandas estruturais do projeto (Goulart; Machado, 2018).

Dessa maneira, estas apresentam-se de forma vantajosa no tocante à sua rastreabilidade, que torna possível sua localização durante ou após o processo de cravação. Devido a isso, pré-fabricação permite um controle de qualidade no dimensionamento da estaca, e no material utilizado, como o concreto, e a armadura, com o objetivo de garantir um recobrimento adequado, dificultando, assim, sua corrosão. Além disso, a rapidez de execução, tornando a obra mais limpa, se comparada com outros tipos de fundações profundas. Tais estacas podem ser instaladas acima de uma cota do terreno ou por meio da água em estruturas marítimas, e são estáveis em terrenos sem autossustentação, por isso são utilizadas em solos considerados de argila mole, siltes e lodos (Rosa; Schlemper, 2021).

É interessante salientar que, a logística envolvida no armazenamento das estacas pré-moldadas também requer atenção, especialmente em ambientes urbanos densos ou projetos com restrições de espaço. Logo o gasto com mobilizações se tornará um elemento fundamental a ser levado em consideração em tais projetos. Por fim, tais considerações técnicas destacam a importância de uma abordagem criteriosa, que integra análises geotécnicas planejadas, escolhas estratégicas de equipamentos e planejamento logístico preciso, para garantir o desempenho eficaz dos elementos de fundação em qualquer projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as informações apresentadas, torna-se claro e evidente que é possível obter-se uma ideia inicial de que elemento de fundação escolher, considerando o tipo de projeto e as condições do local bem como a vultuosidade da obra. Entretanto, é indispensável o acompanhamento e execução de um engenheiro civil, com o intuito de pôr em prática todos os conhecimentos adquiridos ao longo da sua formação nas fases mais avançadas do projeto.

Dessa maneira, pode-se afirmar que o presente estudo cumpriu com os seus objetivos, demonstrando que o engenheiro civil possui atuações importantes na escolha do elemento de fundação adequado para obras, por meio de estudos realizados, reconhecimento de locais, tipo de construção, tendo isso como intuito de realizar uma obra qualificada.

Por conseguinte, a análise criteriosa dos diversos elementos que influenciam a escolha do tipo de fundação revela-se como uma etapa fundamental na engenharia civil. Assim, a consideração dos critérios específicos do local, como as características do solo, quantidade de pavimentos e aspectos geotécnicos, desempenha um papel crucial na determinação da fundação mais apropriada.

Diante disso, a presença e a orientação de engenheiros civis durante todas as fases do projeto são essenciais. Logo, a expertise dos profissionais não apenas se manifesta na interpretação dos dados técnicos, mas também na capacidade de aplicar princípios teóricos de forma prática e eficiente. A escolha do tipo de fundação é, portanto, uma arte que combina ciência, experiência e julgamento especializado, reforçando a importância do papel do engenheiro civil na realização de obras seguras, duradouras e adaptadas às demandas específicas de cada empreendimento.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122 - Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ALBUQUERQUE, P. J. R.; GARCIA, J. R. **Engenharia de fundações**. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**: uma introdução ao controle. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2020.
- ARAÚJO, A. C.; LIMA, J. A. M. **Fundações superficiais e profundas**: uma abordagem teórico-prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- AZEVEDO, F. A. **Fundações - teoria e prática**. 4. ed. São Paulo: PINI, 2015.
- BARBOSA, E. P. **Fundações rasas e profundas**. São Paulo: Platos Soluções Educacionais, 2021.
- BASTOS, P. S. S. **Apostila da Disciplina: 2133 - ESTRUTURAS DE CONCRETO III (SAPATAS DE FUNDAÇÃO)**. Bauru: UNESP, 2019. Disponível em: <https://www.wp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2023.
- CALIL JR., C. **Fundações**: critérios de projeto, cálculo e execução. São Paulo: Pini, 2017.

CARVALHO, C. S.; FALCONI, F. F.; FROTA, Régis G. Q.; HACHICH, W.; NIYAMA, S.; SAES, J. L. **Fundações: teoria e prática**. ABEF Ass. Brasileira de Empresas de Eng. de Fundações e Geotecnia/ABMS Ass. Brasileira de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnica. São Paulo, 2018.

FALCONI, F. F.; NIYAMA, S.; ORLANDO, C. **CONCEPÇÃO DE OBRAS DE FUNDAÇÕES**. In: FALCONI, F. *et al.* **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

GEHLEN, D. G. **Dimensionamento e comparativo entre estacas Franki, Hélice contínua E Strauss**: Estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14527/1/PB_COECI_2016_2_34.pdf. Acesso em: 15 nov. 2023.

GIL, A. C. **Metodologia de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOULART, L. B.; MACHADO, G. T. **Análise comportamental de estrutura pré-moldada de concreto e as deformações sofridas em decorrência dos recalques diferenciais oriundos do uso de fundações híbridas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4391>. Acesso em: 15 nov. 2023.

HACHICH, W. Aspectos conceituais de segurança das fundações e escavações. In: FALCONI, F. *et al.* **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

KING, G.; KEOHANE, R. O.; VERBA, S. **Como fazer pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MELO, B. N. **Fundações**. Londrina: Educacional S.A., 2019.

PAIVA, J. L.; ALMEIDA, M. A. **Fundações: escolha e projeto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

PEREIRA, C. **Estaca Franki: processo executivo, vantagens e desvantagens**. 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-franki/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

PFEIL, M. S.; SÁ, J. A. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 2015.

PFEIL, W. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PORDEUS, R. **Geotecnia ambiental**: solos, águas subterrâneas e tratamento de resíduos sólidos. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

RODRIGUES, A. P.; TANAKA, A. M. B.; CALDEIRA, M. G.; FROÍIS, M. R. Fundações Rasas. **ETIC - Encontro De Iniciação Científica**, v. 17, n. 17, 2021. Disponível: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/9030>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ROSA, G. S. DA; SCHLEMPER, J. R. **Estacas pré-moldadas em solos moles de Florianópolis**: interação solo-estrutura e os efeitos sobre seu dimensionamento. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2344>. Acesso em: 17 nov. 2023.

SANTOS, C. S.; OLIVEIRA, J. L. S. **Fundações - projeto geotécnico**. São Paulo: Pini, 2016.

SOUZA, D. S. **Notas de aula da disciplina Fundações e Obras de Terra**. Aracaju: 2023.

Data do recebimento: 12 de Junho de 2023

Data da avaliação: 6 de Agosto 2023

Data de aceite: 22 de Janeiro de 2024

1 Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Tiradentes; e-mail: bruno.obezerra@souunit.com.br

2 Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Tiradentes; e-mail: edinaldo.neto@hotmail.com

3 Doutor em Ciências da Propriedade Intelectual pelo PPGPI-UFS (2024), Engenharia Civil, Professor da Universidade Tiradentes atuando nos Cursos das áreas de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Administração, Ciências Contábeis e Tecnológicas), e em Ciências Exatas (Engenharia Civil); e-mail: souza_ds@outlook.com.br.