

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
RICARDO CAETANO CASTRO

**ESTUDO DE CASO ENTRE A RELAÇÃO DO SOLO E A ESCOLHA DO TIPO DE
FUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE FORMIGA - MG**

FORMIGA - MG

2018

RICARDO CAETANO CASTRO

**ESTUDO DE CASO ENTRE A RELAÇÃO DO SOLO E A ESCOLHA DO TIPO DE
FUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE FORMIGA - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito parcial de obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Esp. Laurêmia Soares da Silva Faria

FORMIGA - MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

C355 Castro, Ricardo Caetano.
Estudo de caso entre a relação do solo e a escolha do tipo de fundação
no município de Formiga - MG / Ricardo Caetano Castro. – 2018.
52 f.

Orientadora: Laurêmia Soares da Silva Faria.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –
Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Fundação. 2. Solo. 3. Estrutura. I. Título.

CDD 624.15

Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Ricardo Caetano Castro

ESTUDO DE CASO ENTRE A RELAÇÃO DO SOLO E A ESCOLHA DO TIPO DE
FUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE FORMIGA - MG

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do UNIFOR-MG, como requisito parcial de
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Laurêmia Soares da Silva

Prof.^a Esp. Laurêmia Soares da Silva
Orientadora

Alessandra Cláudia Cabanelas da Silva

Prof.^a Ms. Alessandra Cláudia Cabanelas da Silva
UNIFOR-MG

Marta Mirtys de Oliveira

Marta Mirtys de Oliveira
Engenheira Civil

Formiga - MG, 09 de novembro de 2018

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais por acreditarem em mim e fazerem de tudo para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus e à minha Nossa Senhora pela ajuda e presença constante.

Ao meu pai Miguel, que nunca mediu esforços para que eu alcançasse os meus objetivos.

À minha mãe Germana, pelos ensinamentos no decorrer de minha vida que me trouxeram por este caminho.

Aos meus irmãos Marcelo e Eduardo, pelo carinho, incentivo e exemplo.

À minha esposa Mariana, pelo amor, companheirismo, paciência e compreensão.

Aos mestres pela sabedoria e paciência.

À minha Orientadora Laurêmia, pela orientação, compartilhando seus conhecimentos com muito profissionalismo, professora de muita admiração.

Aos amigos da faculdade, que sempre foram companheiros mesmo diante das dificuldades.

À equipe do escritório que sempre me deu apoio.

A todos, sinceros agradecimentos.

“A vontade de se preparar tem que ser maior que a vontade de vencer. Vencer será consequência da boa preparação”

(Bernardo Rocha de Rezende)

RESUMO

A presente pesquisa é fonte de um estudo acerca dos possíveis tipos de fundação de obras e da melhor escolha dentre esses tipos para cada circunstância, considerando-se as variáveis envolvidas, sendo a estrutura da obra, o solo e o entorno. Objetivou estudar a relação entre o solo e a escolha do tipo de fundação em projetos de Engenharia Civil e realizar um exemplo de aplicação prática em situação real de obra no município de Formiga - MG. Para tanto, perpassou por etapas caracterizadas por estudar o processo de análise e investigação do solo para obtenção de informações pertinentes ao projeto de fundação; pesquisar sobre os tipos existentes de fundação e suas especificidades; correlacionar os estudos de solo e de fundação para o processo de escolha da fundação ideal para cada projeto; e realizar, por fim, a recomendação prática em obra real. Os instrumentos utilizados para sua realização são bibliografias e documentos, estes caracterizados pelo conjunto de material obtido sobre a Engenharia da obra. A obra escolhida para o estudo de caso se localiza no município de Formiga - MG, próximo ao centro da cidade. Buscou-se analisar as variáveis que podem influenciar na determinação do tipo de fundação e fazer a recomendação, posteriormente colocando o resultado em paralelo com o apresentado pela Engenharia da obra. Dadas as características do solo, de baixa resistência e presença superficial de água, a estrutura da obra e a conformação e circunvizinhança do terreno, ficou constatada como solução mais adequada a estaca do tipo hélice contínua, e a análise resultante do presente estudo foi de encontro, portanto, à solução proposta e escolhida pelo engenheiro da obra, representando este o resultado final da pesquisa.

Palavras-chave: Subsolo; Estrutura.

ABSTRACT

The present research is the source of a study about the possible types of foundation and the best choice among these types for each circumstance, considering the variables involved, being the structure of the work, the soil and the environment. The objective was to study the relationship between the soil and the choice of foundation type in Civil Engineering projects and to carry out an example of practical application in real situation of work in the municipality of Formiga - MG. To do so, it went through stages characterized by studying the process of analysis and investigation of the soil to obtain information pertinent to the project of foundation; research on the existing types of foundation and its specificities; correlate soil and foundation studies to the process of choosing the ideal foundation for each project; and, finally, to carry out the practical recommendation on real work. The instruments used for its accomplishment are bibliographies and documents, these characterized by the set of material obtained on the Engineering of the work. The work chosen for the case study is located in the municipality of Formiga - MG, near the center of the city. Was analyzed the variables that can influence the determination of the type of foundation and was made the recommendation, later placing the result in parallel with the one presented by the engineering of the work. Given the characteristics of the soil, low resistance and surface water presence, the structure of the work and the conformation of the ground, it was verified as the most adequate solution the stake of the type continuous propeller, and the analysis resulting from the present study was of encounter, therefore, to the solution proposed and chosen by the engineer of the work, representing this the final result of the research.

Key words: Subsoil; Structure

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trados: cavadeira, torcido e helicoidais	20
Figura 2 – Sonda Rotativa	22
Figura 3 – Fundação em bloco e tipos de alicerce	25
Figura 4 – Tipos de sapata – A: isolada; B: corrida; C: associada; D: alavancada ...	26
Figura 5 – Radiê	27
Figura 6 – Tubulão a céu aberto e com ar comprimido	28
Figura 7 – Estaca pré-moldada	29
Figura 8 – Estaca Franki	30
Figura 9 – Estaca Strauss	31
Figura 10 – Estaca-raiz	32
Figura 11 – Localização da obra estudada	39
Figura 12 – Locação do furo de sondagem no terreno estudado	40
Figura 13 – Laudo de resultado da sondagem do terreno estudado	41
Figura 14 – Planta baixa pavimento térreo	42
Figura 15 – Planta baixa do 1º pavimento	43
Figura 16 – Planta baixa do 2º pavimento	44
Figura 17 – Estaca de hélice contínua na obra	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de fundação	23
Quadro 2 – Variáveis para escolha do tipo de fundação	33
Quadro 3 – Utilização das fundações diretas rasas	34
Quadro 4 – Utilização das fundações diretas profundas	34
Quadro 5 – Utilização das fundações indiretas	35
Quadro 6 – Variáveis para escolha do tipo de fundação da obra em estudo	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
SETEC/MEC	Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação
SPT	<i>Standard penetration test</i>
SPT-T	Sondagens a percussão com medida de torque

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA.....	15
3	OBJETIVOS.....	16
3.1	Objetivo geral.....	16
3.2	Objetivos específicos.....	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
4.1	Análise e investigação do solo	17
4.1.1	Programa de investigação.....	18
4.1.2	Métodos de investigação do solo	19
4.1.2.1	Poços e sondagens a trado.....	19
4.1.2.2	Sondagens de percussão	20
4.1.2.2.1	Standard penetration test (SPT).....	20
4.1.2.2.2	Sondagem a percussão com medida de torque (SPT-T)	21
4.1.2.3	Sondagem rotativa ou mista.....	21
4.2	Fundações	22
4.2.1	Fundações diretas rasas	23
4.2.1.1	Blocos e alicerces	24
4.2.1.2	Sapatas.....	25
4.2.1.3	Radiês.....	27
4.2.2	Fundações diretas profundas: tubulões	27
4.2.3	Fundações indiretas.....	28
4.2.3.1	Estacas pré-moldadas	29
4.2.3.2	Estacas moldadas in loco com tubo de revestimento	30
4.2.3.3	Estacas moldadas in loco escavadas mecanicamente.....	31
4.3	Escolha do tipo de fundação.....	32
5	METODOLOGIA	37
6	Resultado e Discursão.....	Erro! Indicador não definido.
6.1	Área escolhida e localização	39
6.2	Informações de sondagem e solo.....	40
6.3	Informações do projeto.....	42
6.4	Escolha do tipo de fundação.....	45
6.5	Análise final de viabilidade.....	47

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Fundações são elementos da estrutura de uma construção responsáveis pela sua sustentação, ou seja, pela transmissão das cargas da estrutura ao terreno onde se apoia. Trata-se de uma parte da construção civil que pode ser tomada como das mais exigentes em conhecimento, vivência e responsabilidade (SENA, 2016).

A escolha de uma fundação adequada não se limita ao estudo da estrutura que será construída, mas perpassa de forma essencial pelo solo, necessitando de uma investigação de sua camada superficial e do subsolo. Envolve também conhecimento a respeito das obras circunvizinhas e dos arredores, uma vez que a fundação de uma construção pode exercer influência em outras construções (SENA, 2016).

Visa-se ao equilíbrio entre a resistência e o custo. Uma fundação com resistência aquém do necessário ou com características imprecisas implica em risco para a obra. No outro lado, também uma fundação excessivamente forte, além do que a obra exige, implica em um custo acima do necessário e injustificado. Então, a boa escolha envolve uma série de variáveis que precisam ser levadas em consideração.

Quando se trata de uma obra à qual bastem fundações superficiais, como por sapatas, a execução tende a ser simples. Trata-se de uma solução focada em pequeno a médio porte com solos não muito compressíveis. Já em obras que exijam fundações profundas, como por estacas, requerem equipamentos específicos e mão de obra especializada (MELHADO et al., 2002).

A escolha, que pode ser considerada um diagnóstico na obra, não é intuitiva como se pode imaginar, e faz importante o conhecimento acerca do assunto.

Para tanto, o presente trabalho apresenta um estudo que perpassa por três tópicos, sendo a investigação do solo, os tipos possíveis de fundação e a escolha da melhor fundação para cada circunstância. Como forma de enriquecimento de conteúdo, apresenta também o estudo de caso de uma obra no município de Formiga, objetivando a análise das variáveis e a recomendação da fundação adequada, assim como a verificação sobre se o resultado vai de encontro com a escolha do Engenheiro da obra.

A obra escolhida permite uma análise pormenorizada em uma situação que foge à adoção do tipo de fundação de forma corriqueira e cotidiana, exigindo uma reflexão mais cuidadosa sobre qual escolher.

Isso se dá pela situação não ideal do solo para fundações rasas, além da

questão do entorno, que é representado por construções contíguas ao terreno, praticamente sem afastamento, terreno este de pouca largura, o que faz ser importante a atenção aos cuidados com a possibilidade de a obra afetar as fundações e estruturas já existentes.

O exemplo adotado representa a possibilidade de visualizar, de forma prática, a aplicação do conhecimento teórico apresentado, à acerca das possíveis soluções em termos de fundação e a exemplificação prática de um processo de escolha, o que didaticamente e profissionalmente compõe um conteúdo valioso.

2 JUSTIFICATIVA

Partindo da premissa que a fundação carrega grande importância no conjunto da obra e que se faz necessário conhecimento e experiência no assunto para que o processo de estudo e a escolha da melhor opção sejam eficazes, é também importante a existência de estudos que evidenciem o cuidado que se deve ter e que demonstrem de forma prática o processo completo desde o reconhecimento das variáveis até a recomendação da fundação adequada.

A escolha do tema "Relação entre o solo e a escolha do tipo de fundação em projetos de engenharia civil: um estudo de caso no município de Formiga - MG" se deu em função dos variados tipos de solo encontrados no âmbito terrestre, com potencial de geração de patologias quando não são bem preparados para receber cargas, além da necessidade de conhecimento sobre o processo de determinação da fundação adequada.

Justifica-se a pesquisa na percepção de que a análise do terreno decorrida de uma boa preparação é de muita relevância para evitar os extremos representados pelo risco de segurança de um lado e exageros de materiais e custo do outro. E percebe-se a importância de conteúdos com características práticas no sentido de orientar didaticamente e profissionalmente o processo de aquisição deste conhecimento.

Desta forma, espera-se com este estudo identificar a fundação ideal para um determinado solo levando em consideração características físicas, peculiaridade de projeto e entorno.

3 OBJETIVOS

Diante da importância sobre a identificação da fundação ideal para cada circunstância e da pretendida abordagem para a pesquisa, ficam definidos, para o presente estudo, os objetivos geral e específicos apresentados nos itens subsequentes.

3.1 Objetivo geral

Estudar a relação entre o solo e a escolha do tipo de fundação em projetos de Engenharia Civil e realizar um exemplo de aplicação prática em situação real de obra na cidade de Formiga - MG.

3.2 Objetivos específicos

Para que seja possível o alcance do Objetivo Geral proposto, adotam-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudar o processo de análise e investigação do solo para obtenção de informações pertinentes ao projeto de fundação;
- Pesquisar sobre os tipos existentes de fundação e suas especificidades;
- Correlacionar os estudos de solo e de fundação para o processo de escolha da fundação ideal para cada projeto;
- Realizar um exemplo de aplicação prática dos estudos para escolha do tipo de fundação em situação real de obra na cidade de Formiga-MG.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente estudo engloba levantamento bibliográfico a respeito da análise e investigação do solo, dos tipos de fundação e do processo de escolha, dentre eles, do mais adequado a cada circunstância, baseando-se, para tanto, em variáveis que podem influenciar na determinação da melhor solução.

4.1 Análise e investigação do solo

Para um bom projeto de fundações, é necessário conhecer a estratificação real do solo de um determinado local e os resultados de ensaio de laboratório das amostras de solo obtidas de várias profundidades, levando em consideração ainda a proporção do projeto que será executado, para chegar às melhores escolhas tanto economicamente como em confiabilidade e segurança.

Segundo Caputo (2000, p. 5.), “os estudos para um projeto e execução de fundações de estrutura em edifícios, pontes, viadutos, bueiros, túneis, muros de arrimo etc., requerem investigações geotécnicas”.

O engenheiro deve ter sempre presente que está tratando com um material (terreno) extremamente complexo, que varia de lugar para lugar e que, em geral, não pode ser observado por sua totalidade, mas, tão somente, através de amostras (ainda assim suscetíveis a alteração quando de sua extração do maciço) ou de ensaios *in loco*. Mais ainda, seu comportamento é função das pressões com que é solicitado (CAPUTO, 2000, p. 7).

Ainda segundo o autor supracitado, o engenheiro, ao planejar e desenvolver o seu projeto, deve obter todas as informações possíveis para lidar com diferentes tipos de problemas e estudar diferentes soluções e variantes, analisar os processos executivos, prever suas repercussões, estimar os seus custos e, então, decidir sobre a viabilidade técnica e econômica da sua execução.

Todos esses procedimentos são consequentes de um estudo completo do solo que, dependendo da qualidade das primeiras camadas e da magnitude da estrutura, se faz necessário conhecer as características de camadas ainda mais profundas. Caputo (2000).

4.1.1 Programa de investigação

O programa de investigação consiste em uma fase de análise preliminar composta por algum método de sondagem que irá determinar parâmetros que fornecerão uma perspectiva do comportamento que o solo apresentará ao receber esforços vindos da obra a ser executada.

Segundo Velloso e Lopes (2011), para a definição de um programa de investigação, o projetista deve ter em mãos:

- Planta do terreno (levantamento planialtimétrico);
- Os dados sobre a estrutura a ser construída e sobre vizinhos que possam ser afetados pela obra;
- Informações geológicas-geotécnicas disponíveis sobre área (plantas, publicações técnicas etc.);
- Códigos de obra locais.

A norma NBR 8036 (ABNT, 1983), que tem por finalidade fixar as condições exigíveis na programação das sondagens de simples reconhecimento dos solos, estipula que o número de sondagens deve ser, no mínimo, uma para cada 200m² de área de projeção em planta do edifício com até 1.200m². Para áreas entre 1.200m² e 2.400m², deve ser feita uma sondagem a cada 400m² que excederem os 1.200m². Acima de 2.400m², o número de sondagens deve ser definido de acordo com a peculiaridade da edificação. E sob qualquer circunstância o número mínimo de sondagens deve ser:

a) dois para área da projeção em planta do edifício até 200m²

b) três para área entre 200m² e 400m²

Nos casos em que não houver ainda disposição em planta dos edifícios, como nos estudos de viabilidade ou de escolha de local, o número de sondagens deve ser fixado de forma que a distância máxima entre elas seja de 100 m, com um mínimo de três sondagens. (ABNT, 1983, p. 1).

O local das sondagens deve ser definido no terreno levando em conta as partes em que se concentrarão grandes cargas. A sondagem deve ser igualmente distribuída por toda a área e, quando o número for maior que três, elas não devem ser alinhadas.

Segundo a NBR 8036 (ABNT, 1983), as sondagens devem ser levadas até a profundidade onde o solo não seja mais significativamente solicitado pelas cargas estruturais, fixando-se como critério aquela profundidade onde o acréscimo de

pressão no solo, devido às cargas estruturais aplicadas, for menor do que 10% da pressão geostática efetiva.

Na situação em que a sondagem atingir a rocha ou camada impenetrável à percussão e não haver dúvida sobre a continuidade da camada, ela poderá ser interrompida.

4.1.2 Métodos de investigação do solo

Atualmente no mercado, existem diversos métodos de investigação do subsolo, e cabe ao engenheiro avaliar e optar por processos de acordo com a necessidade, levando em consideração o custo/benéfico. Alguns dos principais processos:

- Poços e sondagens a trado;
- Sondagens de percussão;
- *Standard penetration test* (SPT);
- Sondagens a percussão com medida de torque (SPT-T);
- Sondagens rotativas ou mista;

Segundo Sena (2016), em caso de solos compostos por argilas moles, são indicados os ensaios de campo de palheta e de dilatômetro. Existem, também, métodos geofísicos, os quais são normalmente usados em obras mais extensas.

4.1.2.1 Poços e sondagens a trado

Segundo Velloso e Lopes (2011), poços são escavações manuais, geralmente não escoradas, que avançam até que se encontre o nível de água ou onde for estável, e permitem um exame do solo e amostras indeformado tipo bloco ou em anéis, e esse tipo de investigação está normalizado pela NBR 9604 (ABNT,2016), que especifica os procedimentos e condições exigidas.

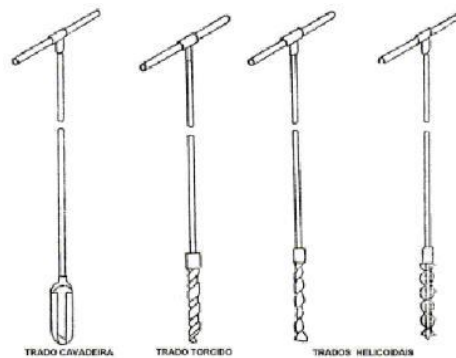
As sondagens a trado são perfurações executadas tanto manualmente como de forma mecanizada. Este método de investigação está normalizado pela NBR 9603 (ABNT,2015). Existem dois tipos de trado mais utilizados: cavadeira e helicoidal, e ainda um menos empregado, que é o trado torcido.

De acordo com Pereira (2015), os trados cavadeira possuem diâmetro de 5, 10 e 15cm, e são utilizados para estudos de ocorrências de materiais para terraplanagem

e pavimentação, barragens, nos estudos de subleito rodoviários e ainda para avanço da perfuração nas sondagens até que se encontre o nível de água ou até o seu limite de utilização. Já os trados helicoidais e torcidos são usados no interior do revestimento de sondagens a percussão, sendo possivelmente utilizados nos solos argilosos, mesmo abaixo do nível de água.

Na FIG. 1, são apresentados visualmente os trados do tipo cavadeira, torcido e helicoidal.

Figura 1 – Trados: cavadeira, torcido e helicoidais



Fonte: Lima (2017)

Existem algumas limitações sobre estes métodos de reconhecimento, relacionados à profundidade escavada, em função das características dos materiais e da posição do lençol freático, geralmente de rasa profundidade, de pedras ou solos extremamente compactados.

4.1.2.2 Sondagens de percussão

Sondagem a percussão é um método para investigação de solos em que a perfuração é obtida através do golpeamento do fundo do furo por peças de aço cortantes. Esse método é usado para a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades, posição do nível d'água e índices de sua resistência à penetração.

4.1.2.2.1 Standard penetration test (SPT)

O termo de origem inglês “*Standard Penetration Test*”, no Brasil, é chamado de Sondagem de Simples Reconhecimento, que segundo a NBR 6484 (ABNT,2001), é o

nome do ensaio pelo qual se determina o índice de resistência a penetração.

De acordo com Lima (2017), o SPT é visto pela Engenharia como sendo o mais popular, rotineiro e econômico devido à sua simplicidade, robustez e rápido tempo de resposta quando se trata de ferramentas para investigação geotécnica. Este ensaio é utilizado para investigação da densidade de solos granulares, consistência de solos coesivos e até mesmo em rochas brandas.

O ensaio de penetração consistirá na cravação do barrilete amostrador, através do impacto sobre a composição do hasteamento de um martelo de 65,0kg caindo livremente de uma altura de 75cm. E, de acordo com a NBR 6484 (ABNT,2001), as amostras retiradas do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio do amostrador padrão e, posteriormente, servirão para análise de dados.

4.1.2.2 Sondagem a percussão com medida de torque (SPT-T)

O método de sondagem a percussão com medida de torque tem similaridades com a sondagem SPT. No entanto, ao final da medida de penetração do amostrador padrão, é feita a medida do torque necessário para rotacioná-lo. Esta medida serve para caracterizar o atrito lateral entre o solo e o amostrador. Os aparelhos utilizados no processo de sondagem percussão com medida de torque não diferem do método da sondagem SPT. Nele, há apenas a adição de um equipamento chamado torquímetro, que possui uma forma de alavanca e é usado para ajustar precisamente o torque de um parafuso em uma porca.

Segundo Sena (2016), ainda no processo de sondagem, após a cravação do amostrador padrão, é retirada a cabeça de bater e acopla-se o adaptador de torque. Rosqueia-se na mesma luva e encaixa-se no pino uma chave soquete, onde se acopla o torquímetro, verificando-se a medida de torque máximo, que define a tensão de atrito lateral, e torque residual, que define a tensão de atrito lateral mínima.

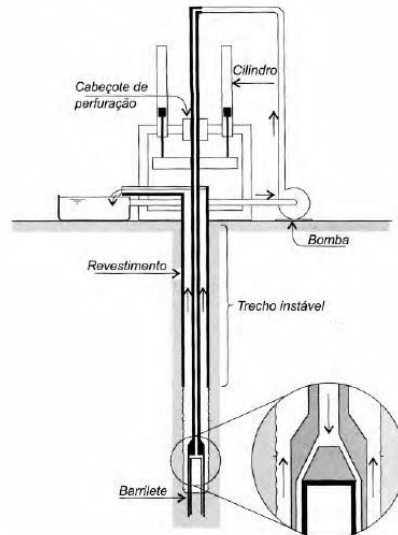
4.1.2.3 Sondagem rotativa ou mista

A sondagem rotativa FIG. 2 ou mista consiste em um método de investigação baseado no uso de um conjunto motomecanizado, cujo fim é de obter amostras de materiais rochosos, contínuas e com formato cilíndrico através da ação perfurante dada basicamente por forças de penetração e rotação. Os equipamentos utilizados

neste ensaio são similares aos da sondagem SPT, com exceção dos barriletes, da sonda rotativa e do sistema hidráulico que exerce a pressão necessário para a perfuração.

Na FIG. 2, é apresentada a sondagem rotativa.

Figura 2 – Sonda Rotativa



Fonte: Velloso e Lopes (2017)

De acordo com o Deinfra (2018), as sondagens rotativas são executadas em cinco diâmetros básicos. Na impossibilidade de se avançar em um determinado diâmetro, a perfuração pode prosseguir no diâmetro imediatamente inferior. O controle da profundidade da manobra deverá ser feito pelas diferenças entre o comprimento total das hastes e a sobra das mesmas em relação a um nível de referência fixo. Em relação à amostragem, as amostras devem ser cuidadosamente retiradas do barrilete e colocadas na caixa, evitando-se rompê-las artificialmente, e de maneira a serem mantidas as posições relativas dos testemunhos coletados.

4.2 Fundações

A fundação é a estrutura da construção localizada em sua base que carrega a função de suportar com segurança as cargas provenientes da edificação. Trata-se, em premissa, de um encargo do projetista de fundação, que cruza informações do projeto estrutural com características do solo do local no qual a construção será edificada (SETEC/MEC, 2017).

A NBR 6122 (ABNT, 2010, p. 1) “estabelece os requisitos a serem observados no projeto e execução de fundações de todas as estruturas da engenharia civil”, e relaciona uma série de tipos de fundações, além de apresentar conceitos.

A partir do enunciado na NBR 6122 (ABNT,2010) e de Melhado et al. (2002), são apresentados os tipos de fundação no QUADRO 1:

Quadro 1 – Tipos de fundação

Fundações diretas rasas	Blocos e alicerces	
	Sapatas	Isolada
		Corrida
		Associada
		Alavancada
Radiês		
Fundações diretas profundas	Tubulões	A céu aberto
		Ar comprimido
Fundações indiretas	Estacas pré-moldadas	Concreto
		Metálica
	Estacas moldadas in loco com tubo de revestimento	Franki
		Strauss
	Estacas moldadas in loco escavadas mecanicamente	Hélice contínua
		Estaca-raiz
Estaca barrete		

Fonte: baseado em ABNT (2010) e Melhado et al. (2002)

Segundo Melhado et al. (2002), a classificação dos tipos de fundação se dá segundo a forma com que a carga da estrutura é transferida para o solo no qual se apoia, podendo ser direta ou indireta. A fundação direta ainda pode ser subclassificada em rasa ou profunda. Já a fundação indireta é sempre profunda.

4.2.1 Fundações diretas rasas

A fundação direta, segundo SETEC/MEC (2017), tem a característica de transmitir a carga da edificação ao solo através das pressões distribuídas sob a base da fundação, ou seja, acontece unicamente pelo apoio da peça sobre o solo. Trata-se

de transferência de cargas a camadas do solo que tenham condições de suportá-las sem sofrer grandes deformidades.

Segundo Brito (1987), a fundação direta rasa tem por característica fundamental uma maior proximidade da camada que suportará a carga em relação à superfície do solo.

As fundações diretas rasas são relacionadas em três tipos, sendo blocos, sapatas e radiês, cada um deles tratado subsequentemente.

4.2.1.1 Blocos e alicerces

Blocos são utilizados quando as cargas atuantes sobre o solo são consideradas pequenas. Trata-se de um tipo de fundação adotada quando as tensões possam ser suportadas sem a utilização de armadura, se limitando à aplicação de concreto simples (SETEC/MEC, 2017).

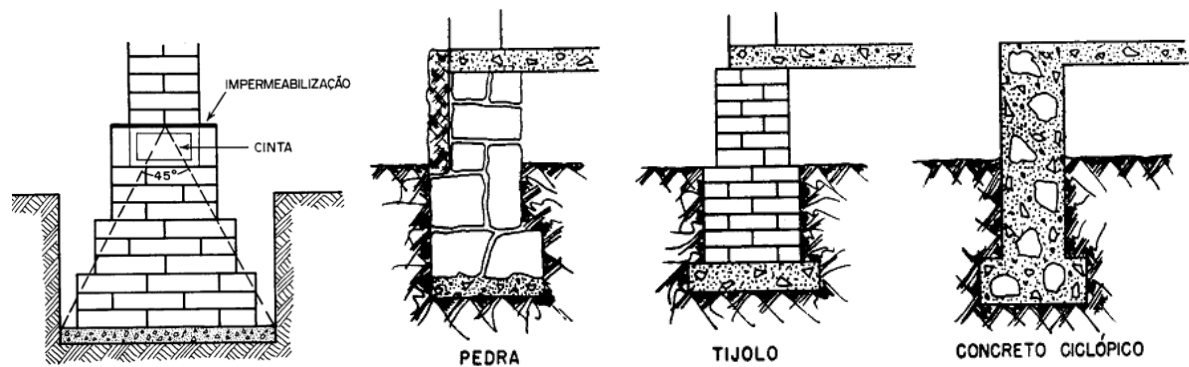
Pequenos sobrados são exemplos de edificações para as quais os blocos podem ser indicados. Segundo Brito (1987), o próprio material do bloco assume a função de absorver os esforços de tração, e pode ser utilizado concreto simples, alvenaria de tijolo comum ou pedra de mão.

No caso de pequenas residências, que exijam um nível de resistência um pouco maior, podem ser indicados os alicerces. Podendo ser construídos em concreto, alvenaria ou pedra, tem como processo de execução o apresentado por Melhado et al. (2002):

- Executar a abertura da vala onde será construído o alicerce;
- Compactar a camada do solo do fundo, apiloando-o;
- Colocar, no fundo, uma camada de concreto magro, de 90 kgf/cm², com espessura de 5cm a 10cm;
- Executar o embasamento em si, de concreto, alvenaria ou pedra;
- Construir uma cinta de amarração, que terá a função de absorção de esforços não previstos, suporte a pequenos recalques, distribuição do carregamento e combate a esforços horizontais;
- Impermeabilizar com argamassa impermeável, chapa de cobre, de alumínio ou ardósia.

A FIG. 3 representa uma fundação em bloco e os tipos de alicerce.

Figura 3 – Fundação em bloco e tipos de alicerce



Fonte: Melhado et al. (2002)

Em situações nas quais o alicerce não é suficiente para suportar as cargas da edificação, o segundo tipo de estrutura que pode ser adotado é a sapata.

4.2.1.2 Sapatas

A sapata, ao contrário dos blocos e alicerces, tem sua confecção necessariamente como estrutura de concreto armado. Tem altura inferior à da fundação do tipo bloco, e a armadura exerce a função de resistência aos esforços de tração (SETEC/MEC, 2017; ABNT, 1996).

De acordo com Brito (1987), uma razão para a necessidade da armadura se dá pelo fato de a sapata trabalhar também a flexão, e não somente a compressão simples, as sapatas podem ser classificadas em isoladas, corridas, associadas e alavancadas.

De acordo com Brito (1987), a sapata isolada transmite a carga de um pilar ou de um conjunto de colunas ao solo através de sua base, e as etapas para construção são relacionadas por Melhado et al. (2002):

- Confecção de forma para o rodapé, que deverá ter uma folga de 5cm para a aplicação de concreto magro;
- Posicionamento das formas nos pontos determinados pela locação;
- Preparação da superfície de apoio;
- Montagem da armadura no local;
- Posicionamento do pilar;

- Colocação de guias de arame para verificação em tempo real da superfície do concreto;
- Concretagem a base aplicando vibração.

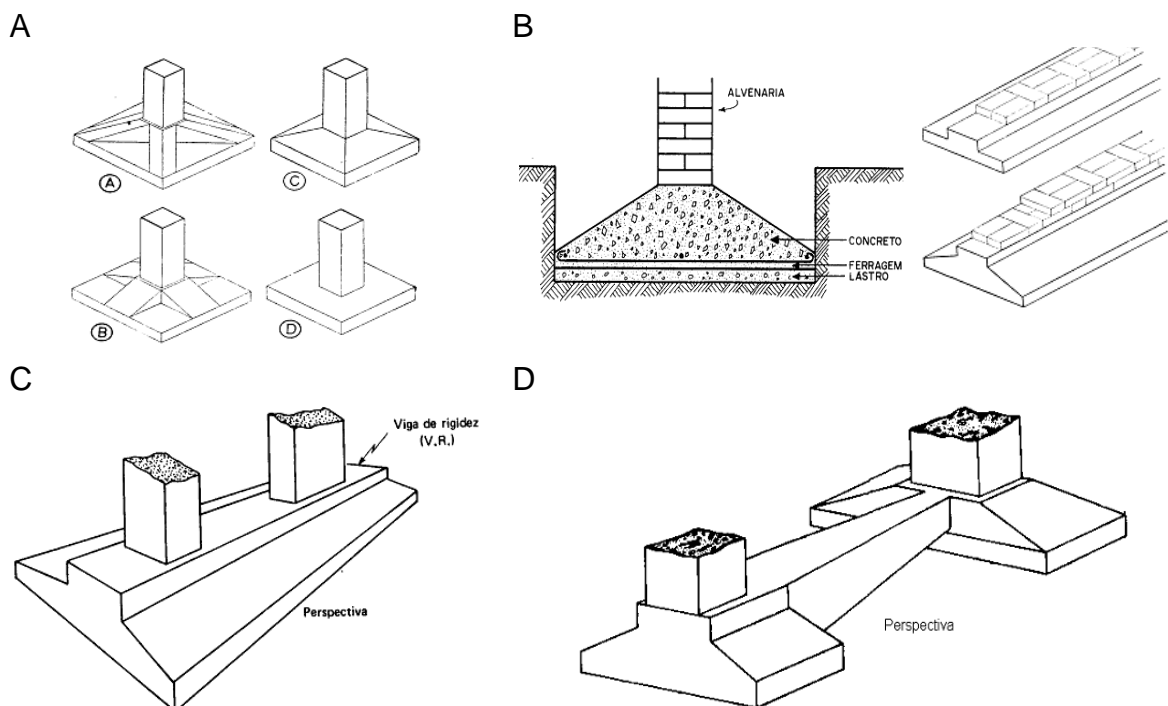
A sapata corrida tem a característica de acompanhar a linha das paredes, recebendo delas a carga em seu desenvolvimento contínuo. De acordo com Brito (1987), a alvenaria simples de tijolos pode ser adotada em casos em que as cargas sejam mais leves, e o concreto armado é indicado para cargas mais pesadas e profundidades maiores que um metro.

A sapata associada tem sua adoção a partir do momento em que a utilização de sapatas isoladas signifique sua sobreposição por decorrência de grande proximidade entre os pilares sustentados. Trata-se de uma medida que se assemelha a uma junção de sapatas isoladas (CINTRA, 2011). É adotada uma viga de rigidez, que une os dois pilares e promove o trabalho da sapata com tensão constante.

Por fim, a sapata alavancada é adotada em situações nas quais não se possa coincidir o centro de gravidade da sapata com o centro de carga do pilar (BRITO,1987).

Na FIG. 4, são demonstrados os quatro tipos de sapata supracitados:

Figura 4 – Tipos de sapata – A: isolada; B: corrida; C: associada; D: alavancada



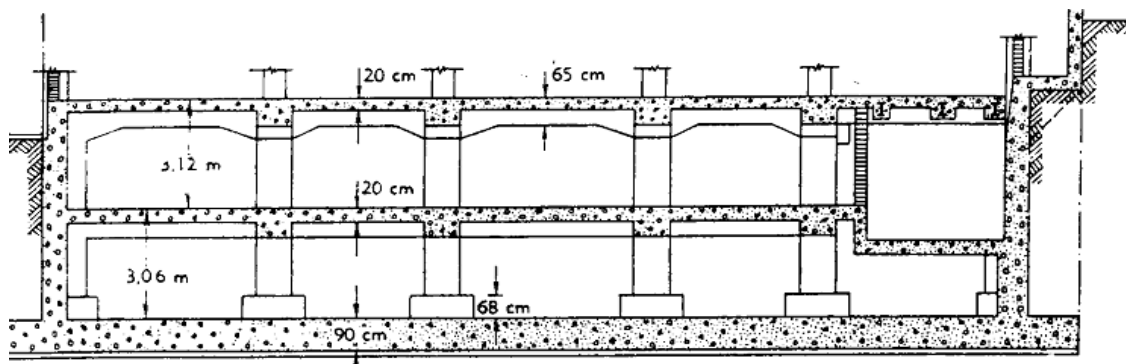
Fonte: Melhado et al. (2002)

Segundo Melhado et al. (2002), quando a área da sapata corrida ultrapassa 50% da área da própria edificação, esta passa a não ser mais economicamente viável. Neste caso, a recomendação é pela utilização do radiê.

4.2.1.3 Radiês

O radiê é um tipo de fundação que tem como ideia um formato baseado na reunião de todas as sapatas que seriam utilizadas em um único elemento. Assim, este elemento recebe sozinho a carga de todos os pilares da obra (SETEC/MEC, 2017), como apresentado na (FIG. 5):

Figura 5 – Radiê



Fonte: Melhado et al. (2002)

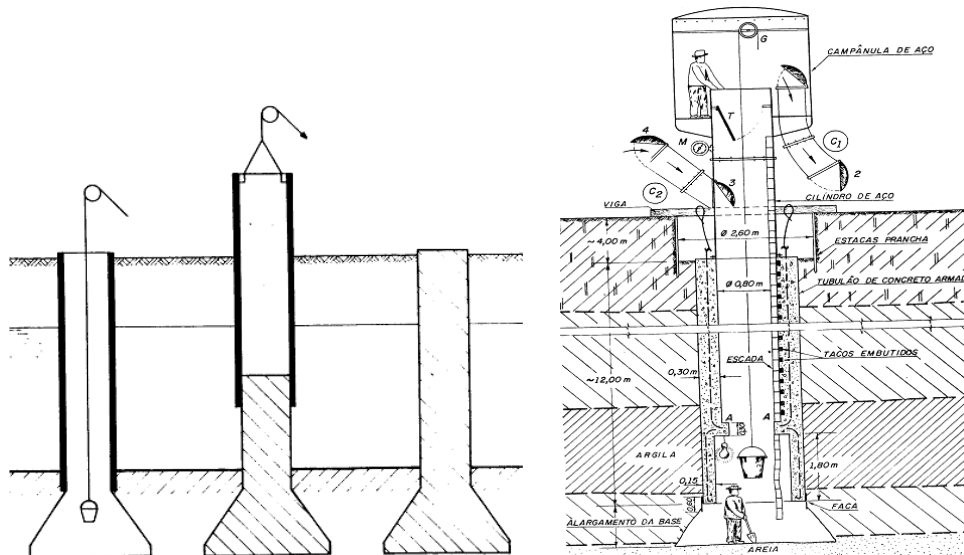
Dada sua estrutura inteiriça, trata-se de um tipo de base que resistirá sozinha a esforços de compressão e de pilares com cargas distintas, além de pressões do próprio lençol freático.

Tem, em sua característica, a positividade da rigidez e o provimento de uma plataforma de trabalho resistente, que favorece a implantação de etapas posteriores da obra, mas, em contrapartida, impõe a exigência de execução antecipada dos serviços de sub-base, a exemplo das instalações sanitárias (BRITO, 1987; MELHADO et al., 2002).

4.2.2 Fundações diretas profundas: tubulões

Na classificação de fundações diretas profundas, somente se encaixam os tubulões. São elementos de forma cilíndrica implantados por meio de escavação e que possuem uma base alargada (FIG. 6).

Figura 6 – Tubulão a céu aberto e com ar comprimido



Fonte: Melhado et al. (2002)

O tubulão pode ser feito a céu aberto ou com ar comprimido.

O tubulão a céu aberto é considerado uma opção econômica para altas cargas. Sua escavação é manual e dispensa escoramento em terrenos mais resistentes. Deve ser construído sempre acima do nível da água (SETEC/MEC, 2017).

O tubulão com ar comprimido pode ser utilizado em situações nas quais existe água, quando a profundidade é grande ou quando há risco de desmoronamento. A entrada da água é impedida justamente pela injeção de ar comprimido nos tubulões (SETEC/MEC, 2017).

Como o tubulão é um tipo de fundação na qual operários entram dentro do local da perfuração, quando é feito com ar comprimido, segundo Brito (1987), é necessário que, na saída, o indivíduo passe por um período de decompressão, em câmara própria, como forma de evitar a formação de bolhas no sangue por gases absorvidos em excesso.

4.2.3 Fundações indiretas

As fundações indiretas têm por característica a transferência das cargas por dois pontos, sendo a base e a superfície lateral. Por se tratar de fundações com peças estruturais de grandes dimensões, são classificadas sempre como profundas (SETEC/MEC, 2017; BRITO, 1987). A transferência da carga pela base é também nomeada, na NBR 6122 (ABNT, 2010), como resistência de ponta, e a transferência

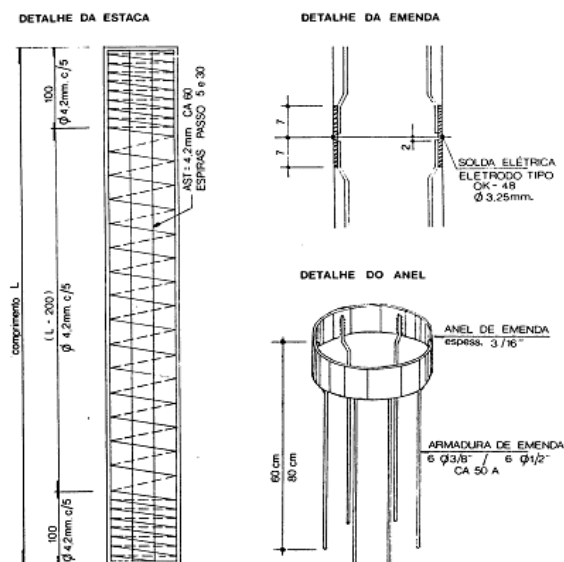
da carga pela superfície lateral como resistência de fuste. A Norma da ABNT estipula, ainda, que a profundidade de assentamento deve ser superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e não podendo ser inferior a três metros.

Com utilização indicada para obras de grande porte e inclusive em solos de menor resistência, as fundações indiretas podem ser caracterizadas por estacas pré-moldadas, estacas moldadas in loco com tubo de revestimento e estacas moldadas in loco escavadas mecanicamente.

4.2.3.1 Estacas pré-moldadas

As estacas pré-moldadas são cravadas no terreno por percussão, com utilização de pilões de queda livre ou automáticos; prensagem, com utilização de macacos hidráulicos e produz menos barulho que a percussão; ou vibração, pela utilização de um martelo com garras de fixação da estaca. Os tipos mais usuais são de concreto, em diversos formatos geométricos; ou metálicas, na forma de trilhos ou perfis (SETEC/MEC, 2017).

Figura 7 – Estaca pré-moldada



Fonte: Melhado et al. (2002)

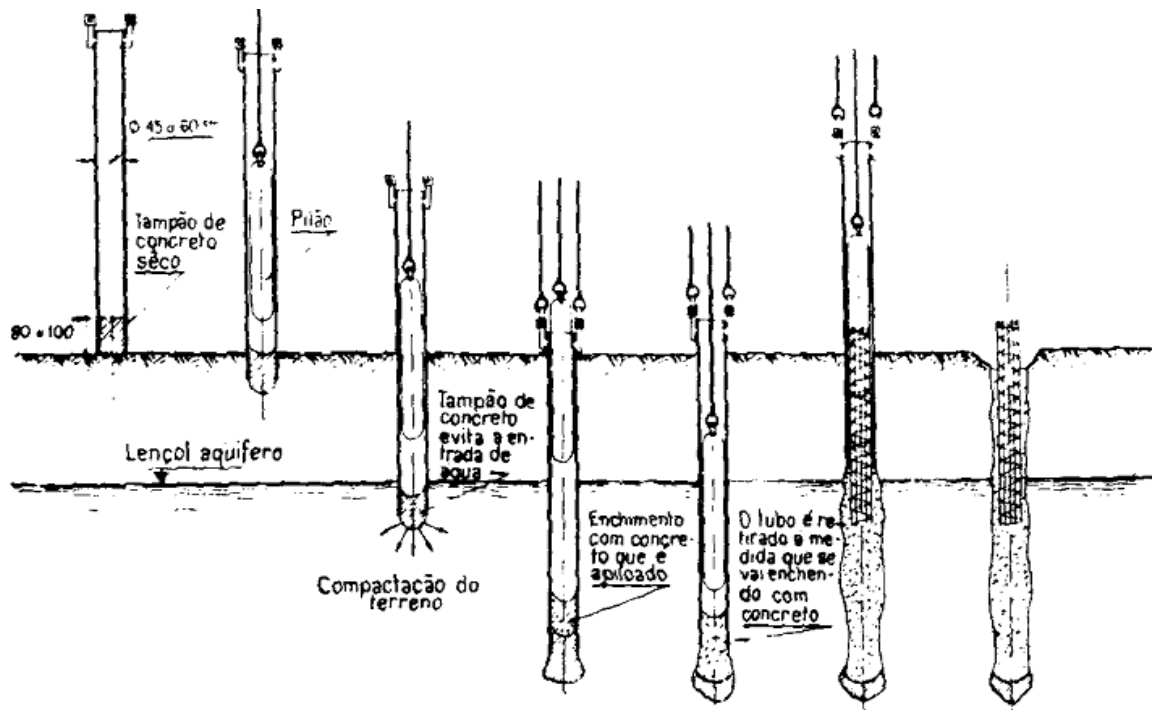
Sena (2016) evidencia estudos recentes que indicam a possibilidade de encurvamento de estacas pré-moldadas metálicas, quando de grandes dimensões e cravadas em terrenos argilosos, embora se trate de raras ocorrências registradas.

4.2.3.2 Estacas moldadas in loco com tubo de revestimento

As estacas moldadas in loco com tubo de revestimento podem ser classificadas como tipo Franki e Strauss.

A estaca do tipo Franki é feita de concreto armado e emprega um tubo de revestimento com ponta fechada, o que impede a entrada de água e, conseqüentemente, elimina limitações relacionadas à profundidade e à presença de água no subsolo (ABNT, 2010).

Figura 8 – Estaca Franki

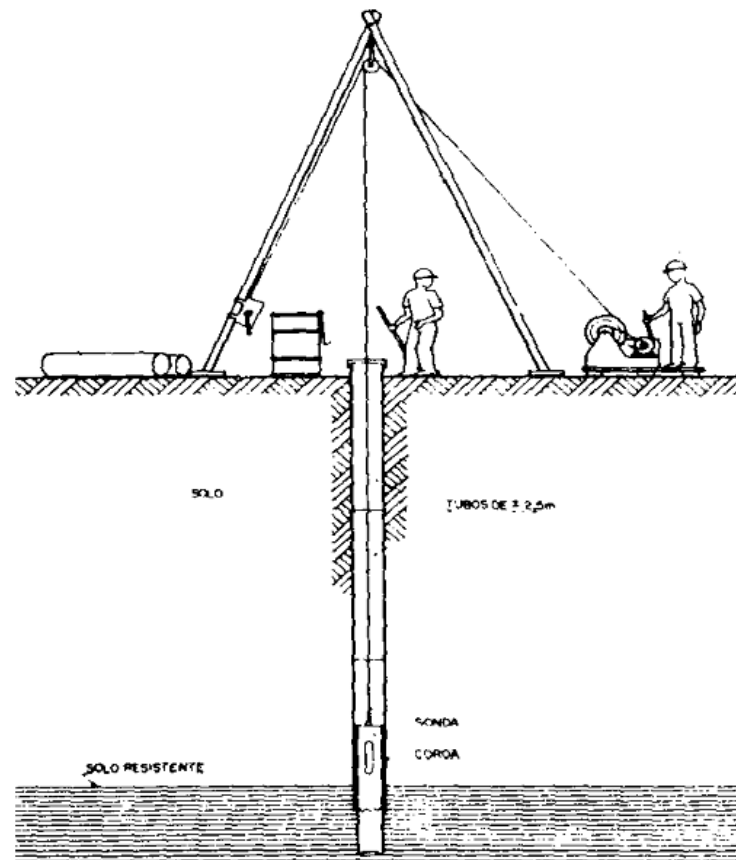


Fonte: Melhado et al. (2002)

No processo de execução, são lançadas, no interior do tubo e compactadas por golpes de pilão, areia e brita, para posterior alargamento da base, armação e concretagem. A pressão exercida na instalação pode movimentar o solo adjacente, levantando outras estacas já instaladas, exigindo cuidado no acompanhamento (MELHADO et al., 2002; SETEC/MEC, 2017).

A estaca tipo Strauss é escavada mecanicamente com equipamento de pequeno porte, o que facilita o trabalho em áreas pequenas. É feito uso de uma camisa metálica recuperável, com perfuração por queda livre da piteira (MELHADO et al., 2002; SETEC/MEC, 2017).

Figura 9 – Estaca Strauss



Fonte: Melhado et al. (2002)

É recomendado por Sena (2016) que o apiloamento e a retirada do revestimento devem ser realizados com cuidado, para que não aconteça interrupção do fuste.

4.2.3.3 Estacas moldadas in loco escavadas mecanicamente

As estacas moldadas in loco e escavadas mecanicamente, sem uso de tubo de revestimento, são a hélice contínua, a estaca-raiz e a estaca barrete.

A hélice contínua é caracterizada por uma estaca de concreto moldada no local da obra por uma perfuradora com forma helicoidal, ou seja, um trado com semelhanças a um saca-rolha, que, ao penetrar, retira o solo e injeta concreto pela haste central de forma simultânea (MELHADO et al., 2002; ABNT, 2010).

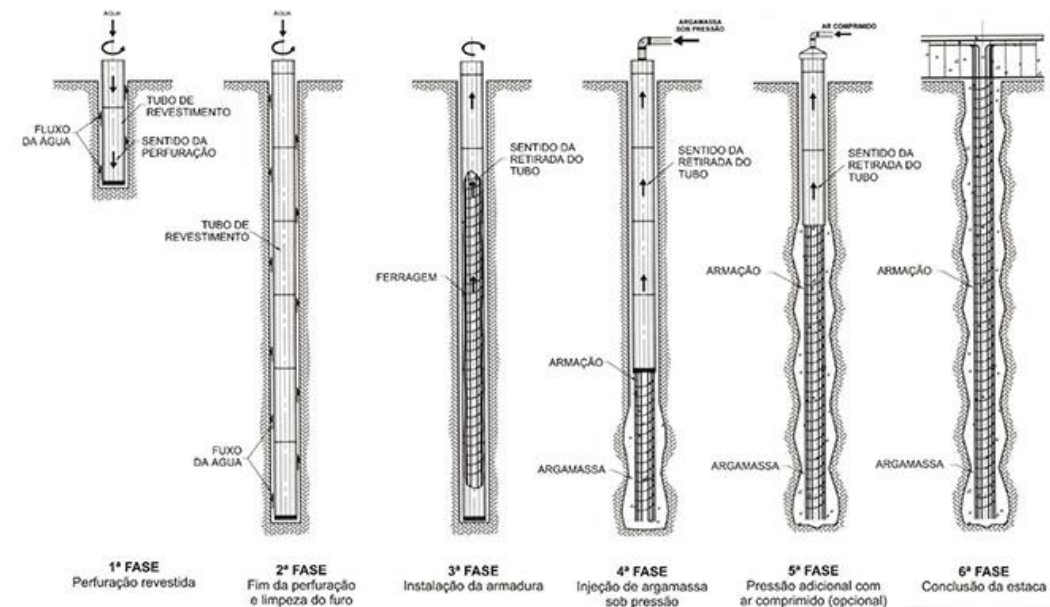
Trata-se de um sistema de boa produtividade, o que faz ser recomendável uma central de concreto próxima, que possa abastecer rapidamente a obra. Com exceção de locais com matações e rochas, e de casos de estacas curtas em terrenos

extremamente moles, pode ser adotada na maioria dos solos (SETEC/MEC, 2017). É recomendável que o terreno permita fácil circulação de equipamentos.

A estaca-raiz é indicada mesmo para situações com presença de matações e rochas, e até mesmo para aplicação inclinada. É escavada com perfuratriz, envolve a circulação de lama bentonítica, ar comprimido ou água, e é executada por meio de equipamento de rotação ou rotopercussão (MELHADO et al., 2002; SETEC/MEC, 2017).

A estaca-raiz é apresentada na FIG. 10.

Figura 10 – Estaca-raiz



Fonte: Este (2018)

A estaca barrete, por sua vez, pode ser escavada inclusive abaixo do nível de água. É executada com equipamentos de grande porte, e a escavação é preenchida por lama bentonítica ao mesmo tempo em que o solo é retirado (MELHADO et al., 2002).

4.3 Escolha do tipo de fundação

A escolha do tipo de fundação, segundo Cintra (2011), Sena (2016) e SETEC/MEC (2012), deve levar em considerações a topografia da área, as características do solo, os dados referentes à estrutura que vai ser construída, dados sobre as edificações circunvizinhas e aspectos econômicos.

O QUADRO 2 reúne colocações dos autores no que precisa ser observado em cada uma das variáveis mencionadas:

Quadro 2 – Variáveis para escolha do tipo de fundação

Variável	Aspectos a serem observados
Topografia da área	<ul style="list-style-type: none"> • Análise sobre a conformação do terreno para prevenção sobre encostas e taludes que possam atingir a obra; • Necessidade de cortes e aterros; • Verificação de erosão e consistência do solo; • Vistoria para averiguação de obstáculos, matações e rochas.
Características do solo	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento da profundidade das camadas do solo; • Verificação da resistência e compressibilidade das camadas do solo; • Levantamento da posição e profundidade do nível de água no subsolo.
Dados sobre a estrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto de Arquitetura; • Tipo e uso da estrutura (construção pequena, edifício, ponte, etc.); • Cargas atuantes.
Dados sobre as construções vizinhas	<ul style="list-style-type: none"> • Características das estruturas para estimativa da interação com a nova obra; • Previsão de atrito e consequências da nova obra; • Danos já existentes no local.
Aspectos econômicos	<ul style="list-style-type: none"> • Custo direto para a execução; • Prazo de execução;

Fonte: adaptado de Cintra (2011), Sena (2016) e SETEC/MEC (2012)

Percebe-se que o processo de escolha passa por uma gama considerável e importante de variáveis, todas elas com necessidade real de ser considerada. Aqui, acontece a conjunção entre os aspectos relacionados à análise e investigação do solo e às características dos diversos tipos de fundação.

Como forma de reunir as características específicas dos tipos de fundação

estudados com as variáveis necessárias no processo de escolha, foram combinados os estudos de Cintra (2011), Sena (2016), SETEC/MEC (2012), Melhado et al. (2002) e ABNT (2010), e no QUADRO 3, são apresentadas as variáveis relacionadas às fundações diretas rasas.

Quadro 3 – Utilização das fundações diretas rasas

Tipo	Utilização	Custo	Execução
Bloco e alicerce	Solo resistente e ausência de restrição a cargas elevadas	Baixo	Simples
Sapata	Solo resistente e ausência de restrição a cargas elevadas	Baixo, mas tende a ser maior que o do bloco	Simples, com versatilidade pelas diversas formas geométricas
Radiê	Em caso de grande aproximação das sapatas e quando se deseja uniformizar recalques	Alto	Prazo longo por necessitar desimpedimento da área

Fonte: adaptado de Cintra (2011), Sena (2016), SETEC/MEC (2012), Melhado et al. (2002) e ABNT (2010)

As fundações diretas profundas são direcionadas ao suporte de maiores cargas, o que faz importante a observação de sua capacidade de carga, profundidade alcançada e potencial de vibrações.

As variáveis relacionadas à utilização de fundações diretas profundas são apresentadas no QUADRO 4.

Quadro 4 – Utilização das fundações diretas profundas

Tipo	Produtividade	Capac. de carga	Profundidade e máxima	Vibrações causadas
Tubulão a céu aberto	4,0m ³ p/ até 10m de prof. c/ escavação manual; 80m ³ p/ até 15m de prof. c/ escavação mecânica	150 a 1000 tf	Até onde estiver o nível de água	Não há vibrações em edificações vizinhas

Tipo	Produtividade	Capac. de carga	Profundidade e máxima	Vibrações causadas
Tubulão com ar comprimido	Variável	800 a 1000 tf	34m abaixo do nível de água	Não há vibrações em edificações vizinhas

Fonte: adaptado de Cintra (2011), Sena (2016), SETEC/MEC (2012), Melhado et al. (2002) e ABNT (2010)

Da mesma maneira, são apresentadas, no QUADRO 5, as variáveis relacionadas à utilização das fundações indiretas, que também envolvem a capacidade de carga, a profundidade máxima e o potencial de vibração.

Quadro 5 – Utilização das fundações indiretas

Tipo	Produtividade	Capac. de carga	Profundidade máxima	Vibrações causadas
Estaca pré-moldada de concreto	50m / dia podendo ocorrer variações	25 a 170 tf	Estacas de 8 a 12m, podendo ser fundidas	Muito barulho e vibração na cravação
Estaca pré-moldada metálica	50m / dia podendo ocorrer variações	20 a 200 tf	Sem limitação. Estacas de aprox. 12m, podendo ser fundidas	Muito barulho na cravação, porém pouca vibração
Estaca Franki	40m / dia	60 a 400 tf	Até 36m	Muito barulho e vibração
Estaca Strauss	30m / dia	20 a 100 tf	20m a 25m	Não há vibrações em edificações vizinhas
Hélice contínua	150m a 400m / dia	25 a 390 tf	20m a 24m. Alguns equipamentos até 30m	Não há vibrações nem descompressão do terreno
Estaca-raiz	30m / dia	10 a 180 tf		Não há vibrações

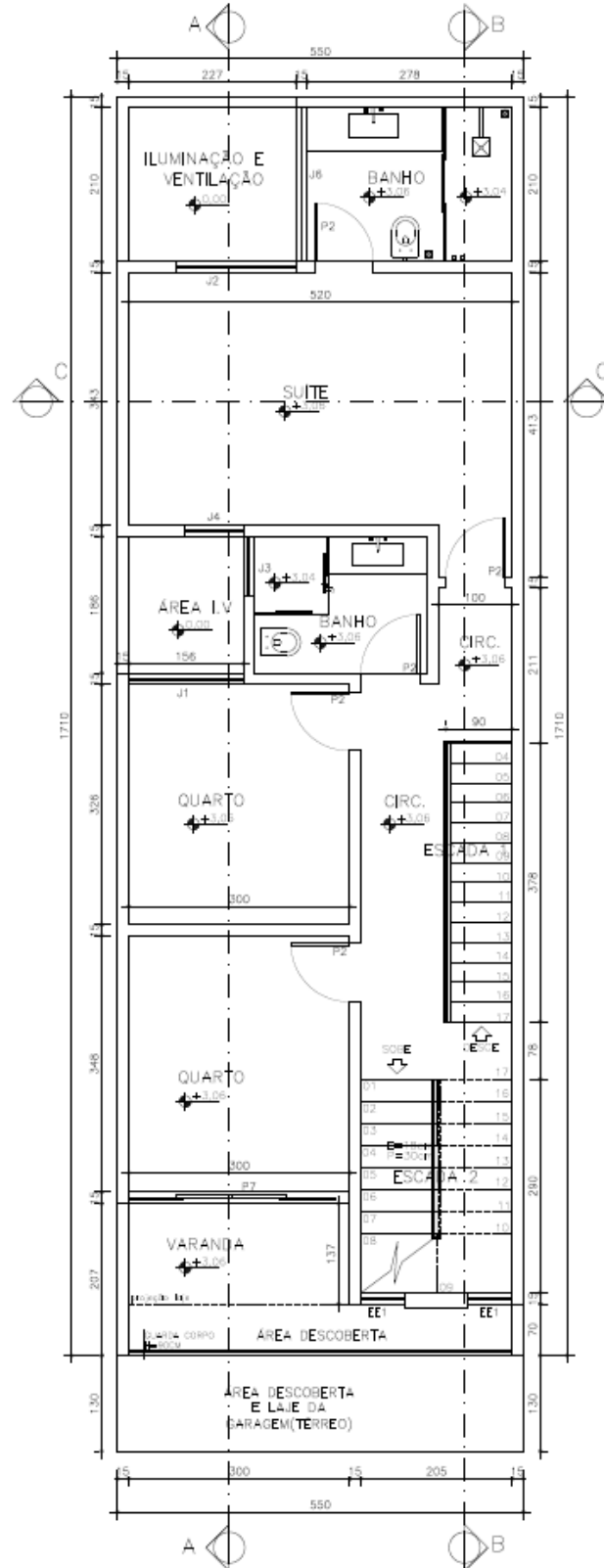
Tipo	Produtividade	Capac. de carga	Profundidade máxima	Vibrações causadas
Estaca barrete	50m / dia p/ espess. 40cm. Acima disto, é variável	500 a 1250 tf	50m ou mais	Não há vibrações em edificações vizinhas

Fonte: adaptado de Cintra (2011), Sena (2016), SETEC/MEC (2012), Melhado et al. (2002) e ABNT (2010)

Segundo as colocações dos autores estudados, é importante associar todas as variáveis no momento da escolha do tipo de fundação e levar em consideração as características de cada um, e reunindo, para o processo decisório, características do solo, das obras circunvizinhas, da estrutura e aspectos econômicos.

Da mesma forma, o projeto do 1º pavimento é apresentado na FIG. 15.

Figura 15 – Planta baixa do 1º pavimento



5 METODOLOGIA

A presente pesquisa é fonte de um estudo acerca dos possíveis tipos de fundação de obras e da melhor escolha dentre esses tipos para cada circunstância, considerando-se as variáveis envolvidas, sendo a estrutura da obra, o solo e o entorno.

É caracterizada como descritiva, bibliográfica e estudo de caso. Os instrumentos utilizados para sua realização são bibliografias e documentos, estes caracterizados pelo conjunto de material obtido sobre a Engenharia da obra. Foi realizada, ainda, visita *in loco*, para tomada de conhecimento a respeito do terreno e da obra, assim como do seu arredor.

Gil (2002) classifica a pesquisa quanto a seus objetivos ou fins como exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista.

No presente trabalho, é classificada como descritiva, que, segundo Reis (2008), tem como objetivo descrever o objeto de estudo, estabelecendo inter-relação entre os fenômenos e a população estudados. Ou seja, apresenta uma realidade, descreve o objeto de estudo e procura descobrir a frequência com que os fatos acontecem no contexto pesquisado.

Assim, a descrição é caracterizada pelo resultado dos processos de coleta de dados sobre a obra e as variáveis que influenciam na escolha do tipo de fundação, e por sua inter-relação com a bibliografia estudada.

Gil (2002) classifica, também, as pesquisas quanto seus procedimentos ou meios: pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, documental, bibliográfica, experimental, *ex post facto* e estudo de caso. O presente estudo se enquadra em estudo de caso, caracterizado por ser uma técnica que consiste em selecionar um objeto, no caso, a obra tomada como instrumento de avaliação quanto à escolha do tipo de fundação mais adequado.

O trabalho em questão, em sua totalidade, é composto por duas modalidades de pesquisa: uma pesquisa bibliográfica, que proporcionou base para o Referencial Teórico, e uma pesquisa de campo.

Segundo Reis (2008, p. 53), a pesquisa bibliográfica é baseada em documentos e bibliografias já existentes, e "fornece os elementos teóricos da revisão de literatura", buscando informações a partir da seleção de documentos que se relacionam com o problema da pesquisa, podendo ser livros, enciclopédias, artigos de revistas,

trabalhos acadêmicos, entre outros. A pesquisa bibliográfica caracteriza uma das técnicas de coleta de dados, voltada à composição do Referencial Teórico.

A segunda técnica de coleta de dados é a pesquisa documental, que, segundo Gil (2002), é baseada na consulta a materiais que ainda não receberam tratamento analítico ou que não tenham caráter científico, a exemplo de arquivos de instituições, relatórios e mapas. Trata-se de uma situação na qual se recorre a documentos não científicos obtidos a partir da interação entre pesquisador e pesquisado.

A pesquisa documental foi aplicada para obtenção das peças referentes à Engenharia da Obra, sendo utilizadas a planta de locação do furo de sondagem para investigação do solo, o relatório com o resultado da sondagem, e a planta baixa dos três pavimentos, parte componente do Projeto Arquitetônico da obra.

A terceira técnica de coleta de dados utilizada foi a observação, que se trata de observação natural, definida por Malhotra (2004, p. 199) como “observação do comportamento da forma como ele acontece no ambiente natural”, o que será representado pela visita ao local da obra para conhecimento acerca do terreno e das condições das obras circunvizinhas. Objetiva a assimilação de todas as variáveis que tenham potencial de influenciar na escolha pelo tipo de fundação e que se relacionem com os objetivos da pesquisa.

A análise dos dados é apresentada com base na interpretação da sondagem e da posterior escolha pelo tipo adequado de fundação, buscando a análise do objeto em sua totalidade, obtendo-se o resultado proposto e chegando às conclusões necessárias ao estudo (PEREIRA, 2004).

Os resultados apresentados têm por finalidade serem colocados em paralelo com a teoria estudada. Abordam-se, aqui, os resultados, como um todo, de forma mista, portanto tendo sua apresentação composta por imagens, fotografias e considerações textuais com embasamento técnico, permitindo solidez quando das conclusões.

6 Resultado e Discursão

Neste capítulo do trabalho, é apresentada uma obra, juntamente com dados concretos para o processo de avaliação do tipo de fundação de acordo com o solo, proposta projetual e entorno do terreno.

Objetiva-se analisar as variáveis que podem influenciar na determinação do tipo de fundação e fazer a recomendação, posteriormente colocando o resultado em paralelo com o apresentado pela Engenharia da obra.

6.1 Área escolhida e localização

A obra escolhida para o estudo de caso se localiza no município de Formiga-MG próximo ao centro da cidade, especificamente na Rua Dr. Teixeira Soares, Bairro Engenho de Serra. A via possui grande fluxo de veículos e pessoas por representar uma rua com quantidade substancial de estabelecimentos comerciais. Em seu entorno, foram observadas edificações de altura máxima dois pavimentos, conforme evidenciado na FIG. 11.

Figura 11 – Localização da obra estudada



Fonte: Google; mapas (2018)

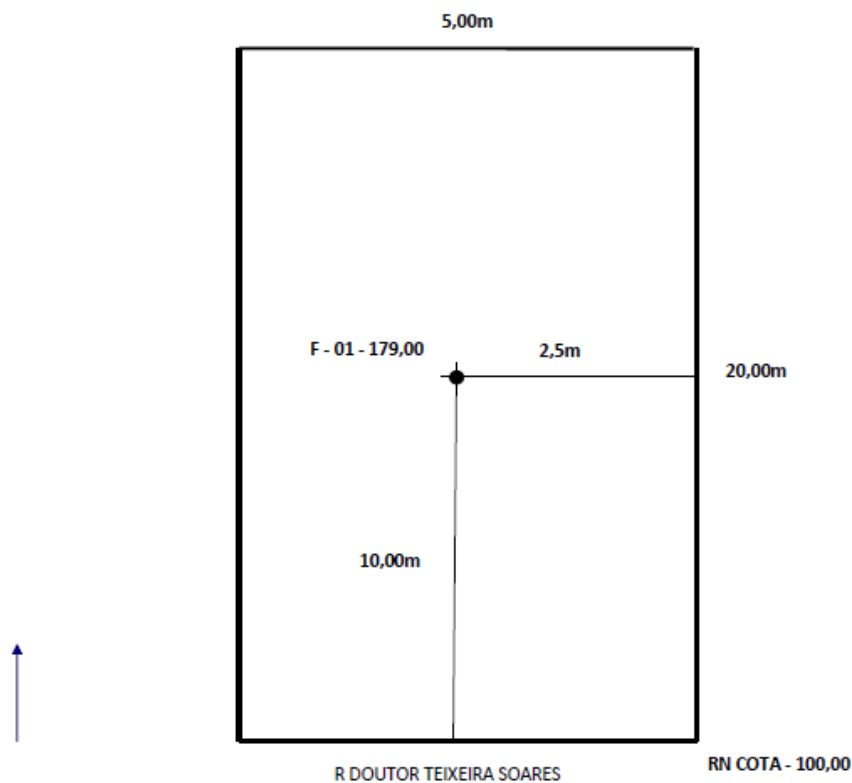
O terreno possui 5,50m de frente e fundos e 18,40m nas laterais, totalizando uma área de 101,20m².

6.2 Informações de sondagem e solo

A pesquisa documental foi aplicada para obtenção das peças referentes à Engenharia da Obra, sendo utilizadas a planta de locação do furo de sondagem para investigação do solo, o relatório com o resultado da sondagem, e a planta baixa dos três pavimentos, parte componente do Projeto Arquitetônico da obra.

A empresa a responsável pelos serviços de sondagem utilizou o método de sondagem a SPT para a investigação das condições das camadas de solo do terreno e também a identificação do nível do lençol freático. A localização do furo de sondagem pode ser vista na FIG. 12.

Figura 12 – Locação do furo de sondagem no terreno estudado



Fonte: Cimentão (2018)

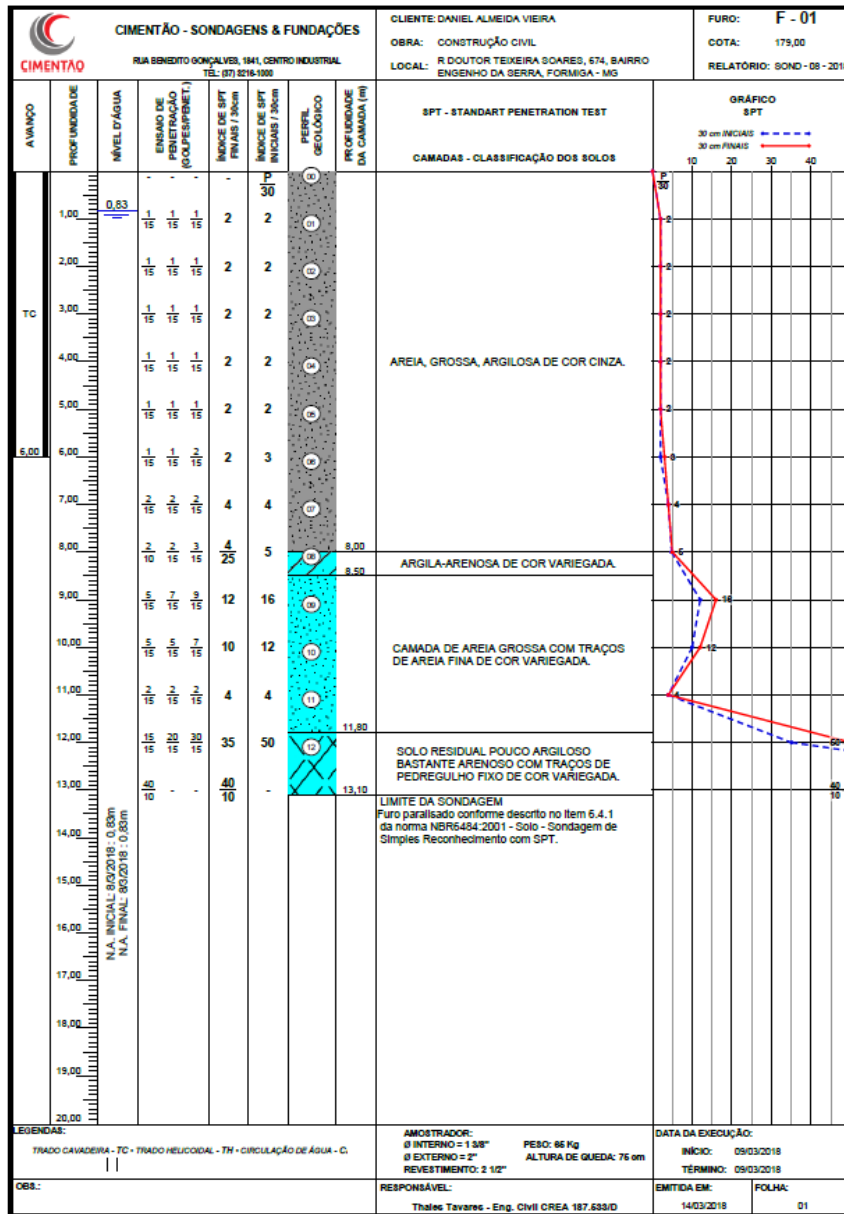
Foi executado um furo para ensaio SPT, como indica a norma NBR 8036 (ABNT, 1983). A norma indica que o número de sondagens deve ser o suficiente para fornecer um quadro, o melhor possível, da provável variação das camadas do subsolo do local em estudo.

As sondagens devem ser no mínimo de uma para cada 200m² de área da

projeção em planta do edifício em áreas de até 1200m². Considerando-se a área de 101,20m² do terreno, uma única sondagem central é suficiente.

Na FIG. 13, é apresentado o laudo resultante da sondagem.

Figura 13 – Laudo de resultado da sondagem do terreno estudado



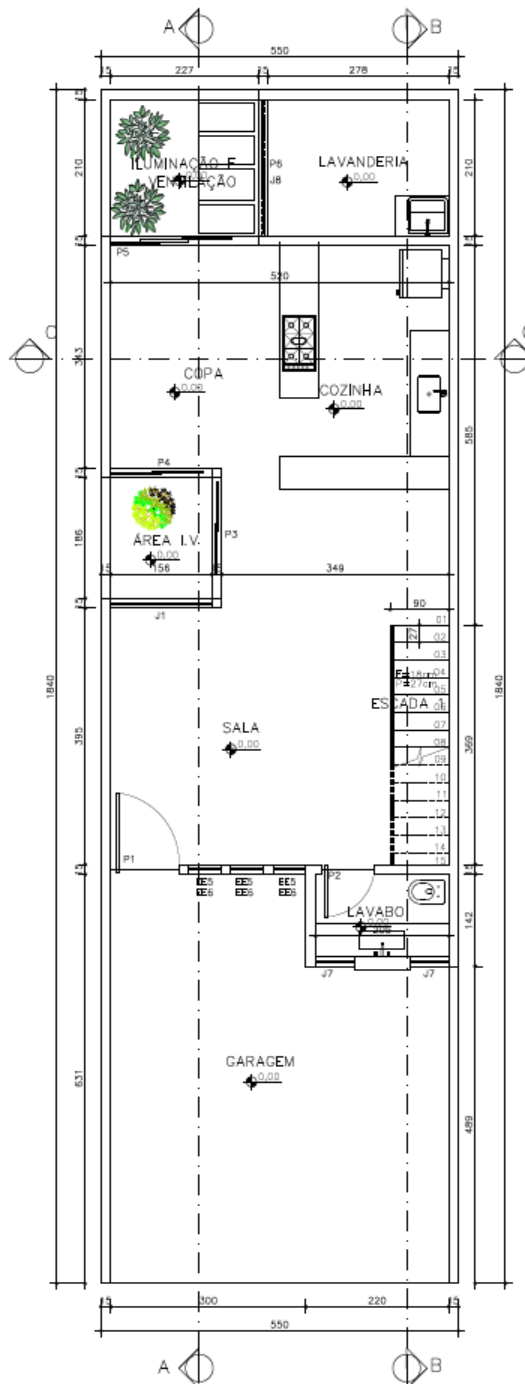
Fonte: Cimentão Sondagens e Fundações (2018)

Fica perceptível, a partir do laudo, que as camadas iniciais do solo apresentaram baixa resistência, e o nível d'água a 0,83m de profundidade se mostra bastante superficial. A coluna referente ao ensaio de penetração apresenta quantidade menor de golpes para penetração nas camadas superficiais, assim como o índice de SPT também é mais baixo.

6.3 Informações do projeto

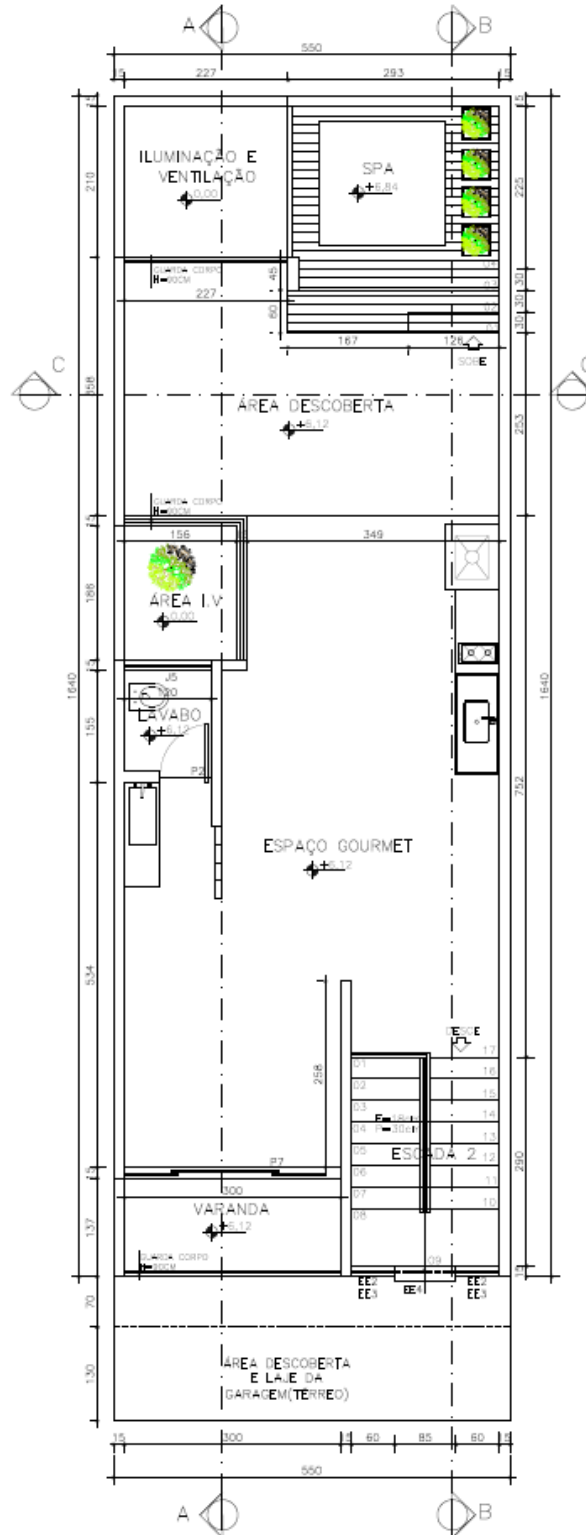
A proposta projetual consiste em uma residência com três pavimentos e área total de construção de 228,93m². O projeto do pavimento térreo é apresentado na FIG. 14 com suas respectivas cotas.

Figura 14 – Planta baixa pavimento térreo



Por fim, a planta baixa com o projeto do 2º pavimento da obra é apresentada na FIG. 16.

Figura 16 – Planta baixa do 2º pavimento



Fonte: Prisma Engenharia (2018)

Por se tratar de obra de três pavimentos, presume-se pela necessidade de fundação com substancial resistência, o que, quase instantaneamente, elimina a opção de sapatas ou outra de caráter superficial.

6.4 Escolha do tipo de fundação

No QUADRO 6, é apresentada uma relação das variáveis com potencial de influenciar na escolha do tipo de fundação em sua situação no local da obra.

Quadro 6 – Variáveis para escolha do tipo de fundação da obra em estudo

Variável	Aspectos observados
Topografia da área	<ul style="list-style-type: none"> • Não foi constatada a presença de encostas e taludes que possam atingir a obra; • Não ficou constatada necessidade de cortes e aterros; • Não ficou constatada ocorrência de erosão e traços visíveis de inconsistência do solo; • Quaisquer obstáculos como matações e rochas foram devidamente removidos.
Características do solo	<ul style="list-style-type: none"> • No laudo da sondagem, ficou caracterizado o solo como sendo composto por areia grossa e argilosa de cor cinza até a profundidade de 8,00m, argila arenosa de cor variegada até a profundidade de 8,50m, areia grossa com traços de areia fina de cor variegada até a profundidade de 11,80m, e solo residual pouco argiloso e bastante arenoso com traços de pedregulho fixo de cor variegada até a profundidade de 13,10m; • O solo apresentou índice de SPT 2 até a profundidade de 5,00m, assim como baixa resistência, ficando registrado um único golpe para cada penetração até esta profundidade; • Foi encontrada água a uma profundidade de 0,83m.
Dados sobre a estrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Trata-se de uma residência de três andares, caracterizando necessidade de substancial resistência da fundação.

Variável	Aspectos observados
Dados sobre as construções vizinhas	<ul style="list-style-type: none"> • O terreno é estreito, possuindo somente 5,50m de largura, e a construção projetada toma toda a dimensão; • As obras circunvizinhas são contíguas ao terreno, sem afastamento, sugerindo que procedimentos que gerem vibração podem ser prejudiciais; • Não foram constatados danos existentes no local.
Aspectos econômicos	<ul style="list-style-type: none"> • Não aplicável, dadas as demais variáveis, que apontam para a necessidade de uma solução de fundação profunda.

Fonte: o autor (2018)

A solução escolhida pelo engenheiro, dadas as características da obra projetada e o tipo de solo, foi a fundação indireta através de estacas de hélice contínua, e o equipamento em modo de execução. (FIG. 17.)

Figura 17 – Estaca de hélice contínua na obra



Fonte: Prisma Engenharia (2018)

Como previamente estudado, a hélice contínua é um dos tipos de estacas moldadas *in loco* e escavadas mecanicamente, sem uso de tubo de revestimento.

É caracterizada, segundo Melhado et al. (2002) e segundo a ABNT (2010), por uma estaca de concreto moldada no local da obra por uma perfuradora com forma helicoidal FIG. 17, ou seja, um trado com semelhanças a um saca-rolha, que, ao penetrar, retira o solo e injeta concreto pela haste central de forma simultânea.

A localização da obra proporciona boa produtividade e fácil acesso para busca de material. Não há, conforme evidenciado no Quadro 6, matações e rochas, o terreno tem baixa resistência na parte superficial, assim como presença de água, a circulação de equipamentos no terreno é facilitada, e, conforme SETEC/MEC (2017), trata-se de uma solução em que não há vibrações nem descompressão do terreno, eliminando riscos às obras circunvizinhas.

Das demais opções, a que mais se aproxima de uma solução viável é a estaca Strauss, um dos tipos de estacas moldadas *in loco* e escavadas mecanicamente, porém com uso de tubo de revestimento.

No processo de execução, segundo Melhado et al. (2002), são lançadas, no interior do tubo e compactadas por golpes de pilão, areia e brita, para posterior alargamento da base, armação e concretagem.

Escavada mecanicamente com equipamento de pequeno porte, elemento este facilitador para a entrada no terreno pequeno, faz uso de uma camisa metálica recuperável, com perfuração por queda livre da piteira (MELHADO et al., 2002; SETEC/MEC, 2017), e tem a maior parte das características em concordância com as necessidades do terreno e da obra, porém um aspecto pesa contra.

A posição secundária como solução viável se dá principalmente pela possibilidade de a pressão exercida na instalação ter potencial de movimentar o solo adjacente. Ainda que se faça o devido acompanhamento para evitar o levantamento de outras estacas já instaladas, o fato de se tratar de um terreno estreito corrobora para com riscos à estrutura das obras circunvizinhas.

6.5 Análise final de viabilidade

Dadas as características do solo, de baixa resistência e presença superficial de água, a estrutura da obra e a conformação e circunvizinhança do terreno, fica constatada como solução mais adequada à estaca do tipo hélice contínua.

A estaca proporciona uma fundação profunda, que ultrapasse a camada menos resistente do solo, oferecendo o suporte necessário às grandes cargas que a estrutura em questão vai lançar no terreno.

A disponibilidade pelo recurso é grande e ele possui bom rendimento de estacas executadas por dia. O terreno fica localizado em área de fácil acesso tanto a equipamento como ao material de abastecimento. O terreno tem topografia plana, permitindo entrada facilitada do equipamento.

Por fim, a alternativa, caracterizada pela estaca do tipo Strauss, alternativa mais próxima de uma solução secundária viável, carrega a característica da possibilidade de a pressão exercida movimentar o solo, o que, dada a largura reduzida do terreno, pode oferecer risco de comprometimento da estrutura de construções circunvizinhas.

A escolha fica apresentada de forma totalmente embasada. Retomando o estudo bibliográfico, a escolha do tipo de fundação, segundo Cintra (2011), Sena (2016) e SETEC/MEC (2012), deve levar em considerações a topografia da área, as características do solo, os dados referentes à estrutura que vai ser construída, dados sobre as edificações circunvizinhas e aspectos econômicos.

O Quadro 6, do item 6.4 do presente trabalho, referente justamente ao processo de escolha do tipo de fundação para a obra real estudada, apresenta o embasamento adotado para tal escolha, em cada item mencionado por Cintra (2011), Sena (2016) e SETEC/MEC (2012).

A análise resultante do presente estudo vai de encontro, portanto, à solução proposta e escolhida pelo engenheiro da obra, e fica exemplificado um processo coerente de escolha para o tipo de fundação de uma obra levando-se em consideração todas as variáveis envolvidas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa objetivou estudar a relação entre o solo e a escolha do tipo de fundação em projetos de Engenharia Civil e realizar um exemplo de aplicação prática em situação real de obra no município Formiga - MG.

No decorrer do estudo, ficou evidenciado que o processo de escolha do tipo de fundação mais adequado a uma obra perpassa por análises de variáveis relacionadas não somente à estrutura da obra em si, como também às características do solo e subsolo, e às obras já existentes no arredor.

A resistência do solo, assim como a profundidade de presença de água, influenciam, conforme ficou constatado, na necessidade de aprofundamento da fundação, a fim de se alcançar a camada mais resistente do subsolo.

No que se refere às obras circunvizinhas, o processo de implantação da fundação pode, dependendo das características, provocar vibrações ou movimentação do subsolo, oferecendo risco às estruturas vizinhas já existentes no arredor.

Por fim, a resistência da fundação tem, também, ligação direta com a estrutura que precisará suportar.

Ao estudar o processo de análise e investigação do solo para obtenção de informações pertinentes ao projeto de fundação, ficou perceptível a importância do rigor quanto à coleta da amostra e análise do solo, por métodos que focam não somente a composição geral, mas também a variação das mínimas características em diferentes camadas do subsolo.

O conhecimento acerca dos tipos existentes de fundação e suas particularidades permite a colocação em paralelo de todas as opções de fundação, analisando as circunstâncias de suas características, para que se possa optar pela melhor solução.

O estudo permitiu não somente compreender a forma como é feita a correlação entre os estudos de solo e de fundação para o processo de escolha da fundação ideal para cada projeto, como proporcionou a oportunidade de aplicar este conhecimento na prática, a partir da indicação analítica e embasada do tipo de fundação adequado em situação real de obra na cidade de Formiga - MG.

A realidade do terreno escolhido contribuiu para que se experimentassem situações que forcem a extrapolação da solução simples. É estreito, existem obras

contíguas, o terreno tem sua camada superior com baixa resistência e presença de água. A necessidade pela escolha de um tipo de fundação que requer conhecimento mais avançado confirma para com o entendimento e o aprendizado decorrente do estudo de caso.

Trata-se de uma iniciativa que promove abertura para novas ideias relacionadas à fundação. Trabalhos futuros podem ter como direção o estudo de caso em terreno maior e irregular quanto à composição do subsolo, a fim de se promover o desafio de uma solução mista. Outra possibilidade é a do aprofundamento no procedimento prático da implantação das estacas, assim como estudos pormenorizados do processo de investigação do subsolo.

Fica evidenciada a importância do conhecimento acerca do tema proposto, como aporte essencial à segurança da obra e, de forma equilibrada, ao custo, visto a busca pelo balanço ideal que garante a sustentação da estrutura e o não desperdício de recursos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9604**: Abertura de poços e trincheiras em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9603**: Sondagem a trado. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6484**: Solo - Sondagens
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122**: Projetos e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- BRITO, J. L. W. **Fundações do edifício**. São Paulo: EPUSP, 1987.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. Ed, V. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- CIMENTÃO SONDAGENS E FUNDAÇÕES. **Relatório de sondagem 08**. Formiga-MG, 2018.
- CINTRA, J. C. A. **Fundações diretas**. São Paulo: Oficina de Textos. 2011.
- DEINFRA. Departamento Estadual de Infraestrutura. 2018. Disponível em <<http://www.deinfra.sc.gov.br/home>> Acesso em 13 out. 2018.
- ESTE Geotecnia e Fundações. **Estaca raiz**. Disponível em <<http://www.este.com.br/servicos.php>> Acesso em 23 out. 2018.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- LIMA, A. **Vamos falar de sondagem**: sondagem a trado. Engenheiro Caiçara. São Vicente, SP, 2017. Disponível em <<http://engenheirocaicara.com/vamos-falar-de-sondagem-sondagem-trado/>> Acesso em: 30 mai. 2018.
- MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. São Paulo: Artmed, 2004.
- MELHADO, S. B.; SOUZA, U. E. L.; BARROS, M. M. S. B.; FRANCO, L. S.; HINO, M. K.; GODÓI, E. H. P.; HOO, G. K.; SHIMIZU, J. Y. **Fundações**. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo: 2002. Disponível em <http://www.civilnet.com.br/Files/FUNDACOES/Apostila_fundacoes_3.pdf> Acesso em: 02 jun. 2018.
- PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos**: estratégias metodológicas para

as ciências da saúde, humanas e sociais. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

PEREIRA, C. **Tipos de sondagem de solo**. Escola Engenharia. 2015. Disponível em <<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sondagem/>> Acesso em: 29 mai. 2018.

REIS, L. G. **Produção de monografia: da teoria à prática**. 2. ed. Brasília: SENAC-DF, 2008.

SENA, L. **Estudo de caso sobre projeto de fundações por sapatas e por estacas**. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC: UFSC, 2016.

SETEC/MEC. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação. **Fundação**. Brasília, DF: SETEC/MEC, 2017. Disponível em <http://redefederal.mec.gov.br/images/pdf/setec_orientacoes_sobre_escolha_de_fundacoes.pdf> Acesso em: 02 jun. 2018.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.