

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO LATO SENSU

TIAGO PRUDÊNCIO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA
DE DIFERENTES TIPOS DE FUNDAÇÃO
EM CASAS POPULARES

CRICIÚMA, MAIO DE 2011.

TIAGO PRUDÊNCIO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA
DE DIFERENTES TIPOS DE FUNDAÇÃO
EM CASAS POPULARES**

Monografia apresentada como requisito parcial,
para conclusão do curso de Especialização na
Construção Civil, da Universidade do Extremo
Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Esp. Alexandre Vargas

CRICIÚMA, MAIO DE 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por estar sempre ao meu lado, capacitando-me e abençoando todos os meus afazeres.

Aos meus pais, Hildebrando Prudêncio e Maria Isabel Berti Prudêncio, que sempre apoiaram e incentivaram nos momentos de dedicação aos estudos.

À minha noiva Vanessa, pela compreensão e amor dispensados ao longo do curso.

Ao professor orientador Eng. Alexandre Vargas que muito contribuiu para a elaboração do trabalho monográfico.

“A sabedoria é a coisa principal; adquira, pois,
a sabedoria; sim, com tudo o que possuiis,
adquire o conhecimento.”

Provérbios 4:7

RESUMO

Em busca de racionalização em obras residenciais, a construção civil vive em um constante desenvolvimento de novos estudos, mais aprofundados, sobre métodos construtivos. Sendo a fundação uma das etapas mais importantes e que possuem uma grande parcela no valor total de uma obra popular, se faz necessário pesquisas visando qual método é mais economicamente viável, sem perda de desempenho, para cada caso. No Brasil existem métodos pouco difundidos como o radier, que dependendo das condições do solo e da obra, podem apresentar melhor relação custo x benefício que estacas ou sapatas, soluções essas que possuem grande empregabilidade na região. Para o estudo comparativo entre os três métodos citados, é apresentado o dimensionamento, levantamento de quantitativos e custos globais de ambos os métodos para uma habitação de pequeno porte.

Palavras-chave: Fundações, Radier, Estaca Escavada, Sapatas Isoladas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas na execução de sondagem a percussão.....	20
Figura 2 - Classificação dos principais tipos de estacas pelo método executivo.....	28
Figura 3 - Detalhe do equipamento de escavação.....	29
Figura 4 - (a) Deformações excessivas, (b) colapso do solo, (c) tombamento, (d) deslizamento, (e) colapso estrutural, resultantes de projetos deficientes.....	32
Figura 5 - Carregamento de uma sapata isolada.....	36
Figura 6 - Estaca submetida à carga de ruptura de compressão.....	39
Figura 7 - Trajetórias principais de compressão.....	41
Figura 8 - Geometria dos blocos rígidos para uma estaca.....	41
Figura 9 - Planta baixa casa em estudo.....	44
Figura 10 - Disposição das sapatas.....	47
Figura 11- Vista em corte destacando a altura das sapatas.....	48
Figura 12 – Disposição das estacas.....	49
Figura 13 – Vista em corte destacando a posição da armadura de fretagem.....	49
Figura 14 – Disposição do radier.....	50
Figura 15 - Disposição das malhas de aço do radier.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens das estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal (sem lama bentonítica).....	30
Tabela 2 - Capacidade de carga das estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal (sem lama bentonítica).....	31
Tabela 3 - Discriminação orçamentária estacas escavadas.....	52
Tabela 4 - Discriminação orçamentária sapatas isoladas.....	53
Tabela 5 - Discriminação orçamentária radier.....	54
Tabela 6 - Discriminação ganhos de serviço quando da execução de radier.....	54
Tabela 7 - Custo efetivo radier.....	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora.

SPT – Standard Penetration Test.

“in loco” – No local.

m – Metro.

cm – Centímetro.

cm² - Centímetro quadrado.

mm – Milímetro.

kg – Quilograma

MPa – Mega Pascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	11
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
1.4 OBJETIVOS.....	12
1.4.1 Objetivo geral	12
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 QUESTÕES DE PESQUISA.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 DEFINIÇÕES.....	14
2.2 ELEMENTOS NECESSÁRIOS AO PROJETO DE FUNDAÇÃO.....	15
2.3 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS	16
2.3.1 O Programa de Investigação.....	17
2.3.1.1 Etapas do Programa de Investigação	17
2.3.1.2 Objetivos do Programa de Investigação.....	18
2.3.2 Classificação dos Métodos de Investigação.....	18
2.3.3 Sondagem à percussão com SPT (“Standard Penetration Test”)	19
2.4 TIPOS DE FUNDAÇÕES.....	21
2.4.1 Fundações superficiais (ou rasas ou diretas).....	22
2.4.1.1 Sapatas isoladas	23
2.4.1.2 Radiers	24
2.4.2 Fundações profundas (ou indiretas).....	27
2.4.2.1 Estacas	27
2.4.2.1.1 Estaca escavada mecanicamente com trado helicoidal (sem lama bentonítica)	28
2.5 REQUISITOS DE UM PROJETO DE FUNDAÇÕES.....	32
2.6 AÇÕES NAS FUNDAÇÕES	34
2.7 CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS COM BASE NOS CRITÉRIOS DE ANÁLISE DE RUPTURA POR CISALHAMENTO DO SOLO	35

2.7.1 Métodos para a determinação da capacidade de carga de fundações superficiais	37
2.8 CAPACIDADE DE CARGA NAS FUNDAÇÕES PROFUNDAS.....	38
2.9 BLOCO DE COROAMENTO SOBRE UMA ESTACA.....	40
3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	44
4 DESCRIMINAÇÕES DOS DADOS OBTIDOS	46
4.1 SAPATAS ISOLADAS	46
4.2 ESTACAS ESCAVADAS	47
4.3 RADIER	49
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	51
5.1 DIMENSIONAMENTO QUANTITATIVO E ORÇAMENTÁRIO DAS ESTACAS ESCAVADAS.....	51
5.2 DIMENSIONAMENTO QUANTITATIVO E ORÇAMENTÁRIO DAS SAPATAS ISOLADAS.....	52
5.3 DIMENSIONAMENTO QUANTITATIVO E ORÇAMENTÁRIO DO RADIER ...	52
6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O acelerado ritmo que é aplicado no processo de execução de casas populares, aliado ao relativo baixo nível técnico de tais obras, muitas vezes faz com que sejam negligenciados procedimentos essenciais à obtenção da qualidade da construção. É o caso da execução das fundações, que dificilmente são executadas de acordo com os preceitos de norma, trazendo com isso perda de desempenho nas edificações ou, em determinados casos, superdimensionamento estrutural, causando desperdício já no arranque da obra.

Serão apresentados neste trabalho, estudos de três diferentes tipos de fundação, de modo a analisar-se a diferença de desempenho e custo entre os mesmos.

1.1 TEMA

Análise de viabilidade econômica de três diferentes tipos de fundação em casas populares.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Atualmente o segmento de habitação popular está em alta, e em decorrência da simplicidade técnica dessas obras, aliado a margens de lucro reduzidas, muitas vezes fazem com que a execução das fundações pautem-se pelo fator econômico, em detrimento dos aspectos técnicos. A tendência é optar por soluções que visam, primordialmente, economia na obra, menosprezando as características geotécnicas do solo e o desempenho de cada tipo de fundação.

Diante desse fato, muitos problemas patológicos vêm ocorrendo de maneira sistemática nas obras, comprometendo o desempenho e resultando em

despesas muito elevadas para reparar os danos.

Analisando três tipos de fundações disponíveis no mercado regional, qual a melhor opção a ser executada, enfatizando o custo final, mas sem deixar de avaliar o seu aspecto técnico?

1.3 JUSTIFICATIVA

Para estabelecer a melhor solução de fundação, deve-se fazer uma criteriosa análise econômica e técnica das alternativas propostas, devendo ser ponderadas variáveis importantes como as características geotécnicas do solo, a viabilidade executiva e a existência de mão-de-obra especializada para a execução da solução adotada.

De acordo com Joppert (2007) “o controle de qualidade das fundações deve iniciar-se pela escolha da melhor solução técnica e econômica, passando pelo detalhamento de um projeto executivo e finalizando com o controle de campo da execução do projeto”.

A principal motivação para a realização desse trabalho é a carência de profissionalismo no estudo das soluções de fundação para obras do segmento popular na região, além da cultura de padronizar-se uma mesma solução para situações completamente distintas, levando à escolha de sistemas nem sempre indicados para o tipo de solo existente onde será construída a edificação.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Estudar três diferentes possibilidades para fundação, considerando a mesma obra e o mesmo perfil geotécnico do solo, a fim de obter a melhor opção

econômica e técnica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar a tensão admissível do solo, através da análise de um perfil geotécnico, no caso de fundação rasa;
- Dimensionar e detalhar fundação direta em *radier*;
- Dimensionar e detalhar sapatas isoladas rígidas com carga centrada;
- Avaliar a capacidade de carga do solo para estacas escavadas;
- Avaliar a necessidade e dimensionar a armadura de fretagem para as estacas escavadas moldadas *in loco*;
- Avaliar a viabilidade técnica das diferentes opções de fundações;
- Dimensionar os blocos de coroamento das estacas, se necessário;
- Avaliar os custos para as diferentes soluções propostas.

1.5 QUESTÕES DE PESQUISA

Qual a viabilidade econômica para as diferentes possibilidades de fundações propostas?

Existe viabilidade técnica para essas possibilidades?

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada, inicialmente, uma abordagem geral sobre o tema fundações, apresentando conceitos e observações de importantes autores do meio técnico. Posteriormente serão abordados aspectos da investigação geotécnica, etapas e objetivos, bem como os principais processos de investigação do subsolo para fim de projeto de fundações para estruturas, enfatizando a sondagem a percussão com o ensaio de penetração dinâmica SPT (“Standard Penetration Test”). Após, será apresentada uma classificação das fundações e a descrição dos principais tipos utilizados na região.

2.1 DEFINIÇÕES

“Fundações são os elementos estruturais destinados a transferir ao terreno as cargas de uma estrutura” (AZEVEDO, 1997, p. 29). São, portanto, o meio de ligação entre a superestrutura e o solo. Sendo assim, estas devem resistir adequadamente as tensões causadas pelos esforços solicitantes. Além disso, o solo necessita de resistência e rigidez apropriadas para não sofrer ruptura e não apresentar deformações exageradas ou diferenciais (MELHADO ET AL, 2002).

Melhado et al (2002) enfatizam que para a escolha da fundação mais adequada, deve-se conhecer os esforços atuantes sobre a edificação, as características geotécnicas do solo, bem como dos elementos estruturais que formam as fundações. “Analisa-se então, a possibilidade de utilizar os vários tipos disponíveis no mercado, em ordem crescente de complexidade e custos” (WOLLE, 1993 APUD MELHADO ET AL, 2002, p. 1).

De acordo com Brito (1987) apud Melhado et al (2002, p. 1) “fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total da edificação; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir 5 a 10 vezes o custo da solução mais apropriada para o caso”.

2.2 ELEMENTOS NECESSÁRIOS AO PROJETO DE FUNDAÇÃO

Velloso; Lopes (2004, p. 13) destacam que os elementos necessários para o desenvolvimento de um projeto de fundações são:

- a) Topografia da área
 - Levantamento planialtimétrico;
 - Dados sobre taludes e encostas no terreno;
 - Dados sobre erosões (ou evoluções preocupantes na geomorfologia).

- b) Dados geológicos-geotécnicos
 - Investigação do subsolo (preliminar e complementar);
 - Outros dados geológicos e geotécnicos (mapas, fotos aéreas e levantamentos aerofotogramétricos, experiências anteriores na área).

- c) Dados da estrutura a construir
 - Tipo de uso que terá a nova obra;
 - Sistema estrutural;
 - Cargas (ações nas fundações).

- d) Dados das construções vizinhas
 - Número de pavimentos, carga média por pavimento;
 - Tipo de estrutura e fundação;
 - Desempenho das fundações;
 - Possíveis conseqüências de escavações e vibrações provocadas pela nova obra.

Os autores explicam que os dados dos itens (a), (b) e (d) devem ser cuidadosamente avaliados pelo projetista em visitas ao local da obra. Os dados do item c devem ser discutidos com o projetista da obra e com o projetista da estrutura,

de onde irão resultar os deslocamentos admissíveis e os fatores de segurança a serem aplicados às diferentes cargas ou ações da estrutura.

2.3 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Para a elaboração de projetos de fundação, seguros e econômicos, é necessário preceder-se à identificação e à classificação das diversas camadas componentes do substrato a ser analisado, bem como a avaliação das suas propriedades de engenharia.

“A obtenção de amostras ou a utilização de algum outro processo para a identificação e classificação dos solos exige a execução de ensaios “in situ”.” (QUARESMA ET AL: IN HACHICH ET AL, 1998, p. 119). Isso porque esses ensaios “permitem uma definição satisfatória da estratigrafia do subsolo e uma estimativa realista das propriedades geomecânicas dos materiais envolvidos”. (SCHINAID, 2000, p. 1).

De acordo com Quaresma et al: in Hachich et al (1998) a determinação das propriedades das camadas do solo pode ser feita através de ensaios laboratoriais ou ensaios de campo. O autor diz ainda que na prática, entretanto, há predominância dos ensaios “in situ”, sendo que a investigação laboratorial fica restrita a alguns casos especiais em solos coesivos.

A escolha do tipo de processo de investigação geotécnica deve ser compatível com as características do subsolo e as propriedades a serem medidas. Segundo Melhado et al (2002, p. 1) “na grande maioria dos casos, o estudo se resume em sondagens de simples reconhecimento, mas dependendo do porte da obra ou se as informações obtidas não forem satisfatórias, outros tipos de pesquisas são executados, como por exemplo, poços exploratórios, ensaio de penetração contínua, ensaio de palheta”.

Características como: número de pontos de sondagem, seu posicionamento no terreno (levando-se em conta a posição relativa do edifício) e a profundidade a ser atingida são determinadas por profissional capacitado, baseado em normas brasileiras pertinentes à programação e execução de sondagens de simples reconhecimento do solo e na sua experiência (BRITO, 1987 APUD

MELHADO ET AL, 2002).

2.3.1 O Programa de Investigação

Velloso; Lopes (2004, p. 33) salientam que “o primeiro passo para uma investigação adequada é a definição de um programa, que irá definir as etapas da investigação e os objetivos a serem alcançados”.

2.3.1.1 Etapas do Programa de Investigação

As recomendações quanto às etapas que compõem um programa de investigação, segundo Velloso; Lopes (2004), são listadas abaixo:

- a) Investigação preliminar: nesta fase objetiva-se conhecer as principais características do subsolo. Em geral, são executadas apenas sondagens a percussão, salvo nos casos em que se sabe *a priori* da ocorrência de blocos de rocha [...], solicitam-se, então, sondagens mistas. O espaçamento de sondagens é geralmente regular (por exemplo, um furo a cada 15 ou 20 metros), e a profundidade das sondagens deve procurar caracterizar o embasamento rochoso;
- b) Investigação complementar ou de projeto: nesta etapa procuram-se caracterizar as propriedades dos solos mais importantes do ponto de vista do comportamento das fundações. Questões executivas também podem ser esclarecidas se o tipo de fundação já tiver sido escolhido. Nesta fase, são executadas sondagens, cujo total atenda às exigências mínimas de normas, e eventualmente, realiza-se sondagens mistas ou especiais para retirada de amostras indeformadas, se forem necessárias;

- c) Investigação para a fase de execução: visa confirmar as condições de projeto em áreas críticas da obra, assim consideradas pela responsabilidade das fundações ou pela grande variação dos solos na obra. Outra necessidade de investigação na fase de obra pode vir da dificuldade de executar o tipo de fundação previsto.

2.3.1.2 Objetivos do Programa de Investigação

Segundo Bastos [s.d.] o programa de investigação geotécnica tem como objetivo a obtenção das seguintes informações:

- Determinação da extensão, profundidade e espessura das camadas do subsolo até uma determinada profundidade;
- Descrição do solo de cada camada, compactidade ou consistência, cor e outras características perceptíveis;
- Determinação da profundidade do nível do lençol freático, lençóis artesianos ou suspensos;
- Informações sobre a profundidade da superfície rochosa e sua classificação, estado de alteração e variações;
- Dados sobre propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos ou rochas, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e permeabilidade.

2.3.2 Classificação dos Métodos de Investigação

De acordo com Bastos [s.d.] os métodos de investigação podem ser classificados em:

- a) Métodos indiretos: as propriedades geotécnicas dos solos são estimadas indiretamente pela observação a distância ou pela medida

de outras grandezas do solo. Exemplos: sensoriamento remoto e ensaios geofísicos.

Todos os métodos de reconhecimento da superfície fornecem apenas indicações aproximadas das prováveis condições do solo em um determinado local. Portanto só servem como base para investigações preliminares, embora se deva reconhecer que proporcionam informações valiosas, especialmente para o planejamento racional do reconhecimento do subsolo, necessariamente mais lento e mais dispendioso (TSCHEBOTARIOFF, 1978, p. 15).

- b) Métodos diretos: permitem a observação direta do subsolo, através de amostras coletadas ao longo de uma perfuração ou a medição direta de propriedades “in situ”. Exemplos: escavações, sondagens e ensaios de campo.

2.3.3 Sondagem à percussão com SPT (“Standard Penetration Test”)

“A sondagem à percussão é um procedimento geotécnico de campo, capaz de amostrar o subsolo. Quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada” (QUARESMA ET AL: IN HACHICH ET AL, 1998, p. 119).

No Brasil, o ensaio está normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através da Norma NBR 6484 (1980).

“As perfurações no terreno são capazes de ultrapassar o nível d’água e atravessar solos relativamente compactos ou duros. [...] estas avançam na medida em que o solo, desagregado com auxílio de um trépano, é removido à superfície por circulação de água (lavagem)” (VELLOSO; LOPES, 2004, p. 35).

Conforme Velloso; Lopes (2004, p. 35) “o processo de perfuração é interrompido a cada metro (Figura 1a), quando é feito o ensaio de penetração dinâmica (SPT) (Figura 1b)”.

Ainda de acordo com os autores:

“O ensaio consiste na cravação de um amostrador normalizado, chamado originalmente de Raymond-Terzaghi, por meio de golpes de um peso de 65 kgf caindo de 75 cm de altura. Anota-se o número de golpes necessários para cravar os 45 cm do amostrador em três conjuntos de golpes para cada 15 cm. O resultado do ensaio SPT é o número de golpes necessários para cravar os 30 cm finais (desprezando-se, portanto, os primeiros 15 cm, embora o número de golpes para essa penetração seja também fornecido)”.

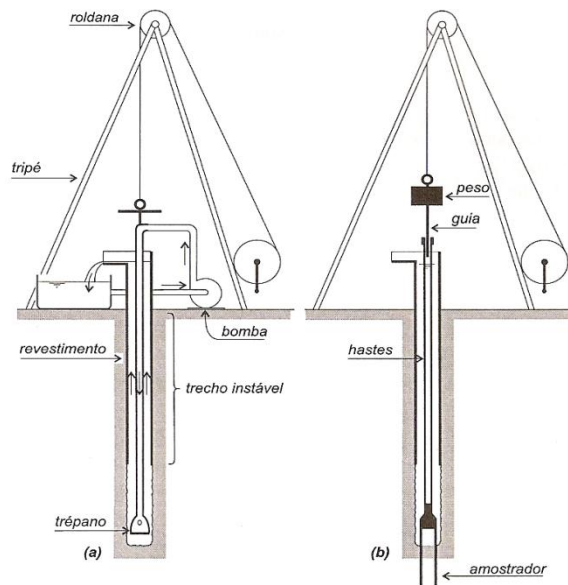


Figura 1 - Etapas na execução de sondagem a percussão: (a) avanço de sondagem por desagregação e lavagem; (b) ensaio de penetração dinâmica (SPT).

Fonte: Velloso; Lopes, 2004, p. 36.

Quaresma et al: in Hachich et al (1998) destacam que ao se realizar uma sondagem pretende-se conhecer:

- O tipo de solo atravessado através da retirada de uma amostra deformada, a cada metro perfurado;
- A resistência (NSPT) oferecida pelo solo à cravação do amostrador padrão, a cada metro perfurado;
- A posição do nível d'água, quando encontrado durante a perfuração.

Dentre as vantagens oferecidas pelo método, Bastos [s.d.] evidencia as seguintes:

- Custo relativamente baixo;
- Facilidade de execução e possibilidade de trabalho em locais de difícil acesso;
- Permite descrever o subsolo em profundidade e a coleta de amostras;
- Fornece um índice de resistência a penetração correlacionável com a compacidade ou a consistência dos solos;
- Possibilita a determinação do nível freático (com ressalvas).

Campos [s.d.] salienta que embora o ensaio de resistência à penetração não possa ser considerado como um método preciso de investigação, os valores de SPT obtidos dão uma indicação preliminar bastante útil da consistência (solos argilosos) ou estado de compacidade (solos arenosos) das camadas do solo investigadas.

Tendo-se executado as sondagens corretamente, as informações são condensadas e apresentadas em um relatório escrito e outro gráfico (Figura 2). Quaresma et al: in Hachich et al (1998, p. 121) complementam:

“Os perfis individuais ou seções do subsolo devem mostrar todas as camadas ou horizontes de solo encontrados, as posições dos níveis d’água, o número de golpes N necessários à cravação dos 30 últimos centímetros do amostrador e demais informações úteis que forem observadas. [...] de posse dos perfis individuais de cada sondagem, desenha-se, para facilitar a visualização, seções do subsolo abrangendo diversas sondagens”.

2.4 TIPOS DE FUNDAÇÕES

“Os principais tipos de fundação podem ser reunidos em dois grandes grupos: fundações superficiais (ou rasas ou diretas) e fundações profundas (ou indiretas)” (CAPUTO, 1987, p. 173).

De uma maneira geral, as fundações superficiais são empregadas onde as camadas do subsolo imediatamente abaixo das estruturas são capazes de

suportar as cargas; as fundações profundas, quando se necessita recorrer a camadas profundas mais resistentes (CAPUTO, 1987).

2.4.1 Fundações superficiais (ou rasas ou diretas)

De acordo com a norma brasileira NBR 6122 (1996) fundação superficial é aquela em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente, pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os *radier*, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.

Joppert (2007, p. 92) salienta que:

“Desde que seja tecnicamente viável, a fundação superficial é uma opção interessante pois, para a sua execução, não é necessária a utilização de equipamentos e de mão-de-obra especializada, bastando para tanto a formação de equipe composta por serventes, carpinteiros e armadores. Isto torna a fundação superficial atraente no que se refere ao aspecto econômico. No aspecto técnico cita-se como itens positivos a facilidade de inspeção do solo de apoio aliado ao controle de qualidade do material utilizado no que se refere à resistência e aplicação.”

“Estes fatos fazem com que a fundação superficial seja a primeira solução a ser analisada quando se inicia um estudo técnico e econômico para a escolha do tipo de fundação a ser utilizado em uma obra” (JOPPERT, 2007, p. 92).

Tendo em vista, que os tipos de fundações superficiais utilizados no trabalho, para posterior comparativo da viabilidade técnica e econômica, será sapata quadrada isolada e *radier*, enfatizar-se-ão estas, descrevendo suas peculiaridades bem como seus processos executivos.

2.4.1.1 Sapatas isoladas

A norma brasileira NBR 6122 (1996) conceitua sapata como sendo elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal.

Apoiado a pequenas profundidades em relação ao nível do solo, esse tipo de fundação requer pouca escavação e consumo moderado de concreto para sua execução. Apesar disso, a suposta simplicidade das sapatas, é preciso cuidado ao projetar e executar esses elementos que são a base da estrutura (LEAL, 2004).

Alguns cuidados na execução são de ordem estritamente econômica, como o formato quadrado piramidal. O principal motivo é a redução no consumo de concreto, pois, ao contrário de uma sapata com altura regular, não haveria subaproveitamento do material. Além disso, sapatas em outros formatos, como arredondado ou escalonado, exigem um dispendioso trabalho com fôrmas (LEAL, 2004).

Para construção de uma sapata isolada, Melhado et al (2002, p. 5) destacam a execução das seguintes etapas:

- Fôrma para o rodapé, com folga de 5 cm para execução do concreto “magro”;
- Posicionamento das fôrmas, de acordo com a marcação executada no gabarito de locação;
- Preparo da superfície de apoio;
- Colocação da armadura;
- Posicionamento do pilar em relação à caixa com as armações;
- Colocação das guias de arame, para acompanhamento da declividade das superfícies do concreto;

- Concretagem: a base poderá ser vibrada normalmente, porém para o concreto inclinado deverá ser feita uma vibração manual, isto é, sem o uso do vibrador.

2.4.1.2 Radiers

Fundação que recebe todos os pilares da obra, ou seja, funciona como uma laje de concreto cujos esforços provenientes da estrutura são igualmente distribuídos em toda a área de contato com o solo. Quanto à forma, este pode ser liso, com pedestais ou cogumelos, nervurados e em caixão. Quanto ao material, ele ainda pode ser de concreto armado ou protendido.

Segundo Dória (2007 apud Veloso e Lopes, 2004) os métodos para o cálculo do elemento de fundação tipo radier são os seguintes:

- Método Estático;
- Sistema de vigas sobre base elástica;
- Método de placa sobre solo de Winkler;
- Método do American Concrete Institute
- Método das diferenças finitas;
- Método dos elementos finitos.

Destes métodos vale destacar o método de placa sobre o solo de Winkler, pois a partir deste, foram desenvolvidos o método do AIC e o método de viga sobre base elástica.

Para Winkler as pressões de contato solo-estrutura são proporcionais aos recalques, o que oferece a oportunidade de considerar o elemento de fundação sobre várias molas em toda sua área, cujas rigidezes k_v são dadas por:

$$k_v = \frac{q}{w}$$

Onde:

q é o carregamento exercido no solo;

w é o recalque obtido com o carregamento.

O coeficiente de rigidez da mola de Winkler pode ser considerado, também, não-linear em cálculos mais avançados, o que não é interessante para esse estudo. No entanto, para sua utilização nos cálculos de dimensionamento, seu valor deve ser corrigido, pois a reação não é dependente apenas das propriedades de solo, mas, também, da dimensão e forma do elemento de fundação. Então, supondo um meio elástico homogêneo e semi-infinito, tem-se a seguinte expressão:

$$k = E / (\nu^2 \times I_s \times B)$$

Onde:

E é o módulo de Young;

ν é o coeficiente de Poisson;

B é a menor dimensão do radier; e

I_s é o fator de forma do radier e de sua rigidez.

O método de sistema de vigas sobre base elástica, também, conhecido como método simplificado, consiste em dividir o elemento de fundação em várias vigas ortogonais de acordo com as dimensões do radier e locação dos pilares. Este método é adotado neste estudo para dimensionar os radiers devido à sua facilidade de cálculo manual. Além disso, o programa computacional de dimensionamento de estruturas de concreto armado, CYPECAD, utiliza este método para o dimensionamento de radier.

Segundo Oliveira e Mira (2006):

Os Momentos Fletores apresentados nesse método são momentos das vigas e não podem ser comparados diretamente com os momentos fornecidos por uma solução de placa, que são momentos para uma seção de largura unitária. Uma divisão do momento fletor da viga pela largura da viga, por outro lado, forneceria um momento (unitário) médio muito baixo e certamente não cobriria os momentos máximos indicados numa solução como placa. Uma possível tentativa de se distribuir melhor os momentos da viga pela sua largura seria utilizar o critério das lajes cogumelo, incluído na Norma NBR 6118:80, item 3.2.2.11. A conclusão que pode ser tirada é que os critérios de laje cogumelo incluídos na norma NBR 6118 são válidos para esse problema, pois estes critérios valem para lajes em que o painel se aproxima do quadrado e em que há continuação de vãos.

A execução de radier pode ser resumida em:

1. Serviços preliminares:

- Execução de um embasamento de tijolo furado, a fim de receber o aterro de nivelamento;

2. Movimentações de terra:

- Aterro de nivelamento;
- Apiloamento de substrato;

3. Impermeabilizações:

- Impermeabilização com lona plástica;

4. Fundações:

- Colocação de armaduras;
- Confeção e colocação de formas;
- Instalações de elétricas e hidro-sanitárias;
- Lançamento de concreto de f_{ck} do projeto.

Na execução dos radiers, o contra-piso é executado simultaneamente, pois o próprio radier funciona como contra-piso do térreo da edificação.

2.4.2 Fundações profundas (ou indiretas)

De acordo com a norma brasileira NBR 6122 (1996) fundação profunda é aquela que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que esta assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo três metros, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões.

2.4.2.1 Estacas

“Estacas são elementos esbeltos, cilíndricos ou prismáticos, encarregados de transmitir as cargas da superestrutura para as camadas resistentes profundas do terreno” (BUENO; LIMA; RÖHM, 1985, p. 1). Estas cargas são transmitidas através do atrito das paredes laterais da estaca contra o terreno e/ou pela ponta (BUENO; LIMA; RÖHM, 1985).

A norma brasileira NBR 6122 (1996) salienta que os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado “in loco” ou mistos.

As estacas podem ser classificadas de diversas maneiras. Velloso; Lopes: in Hachich et al (1998) apresentam uma classificação dos tipos mais comuns (Figura 2) enfatizando o método executivo, no que diz respeito ao seu efeito no solo.

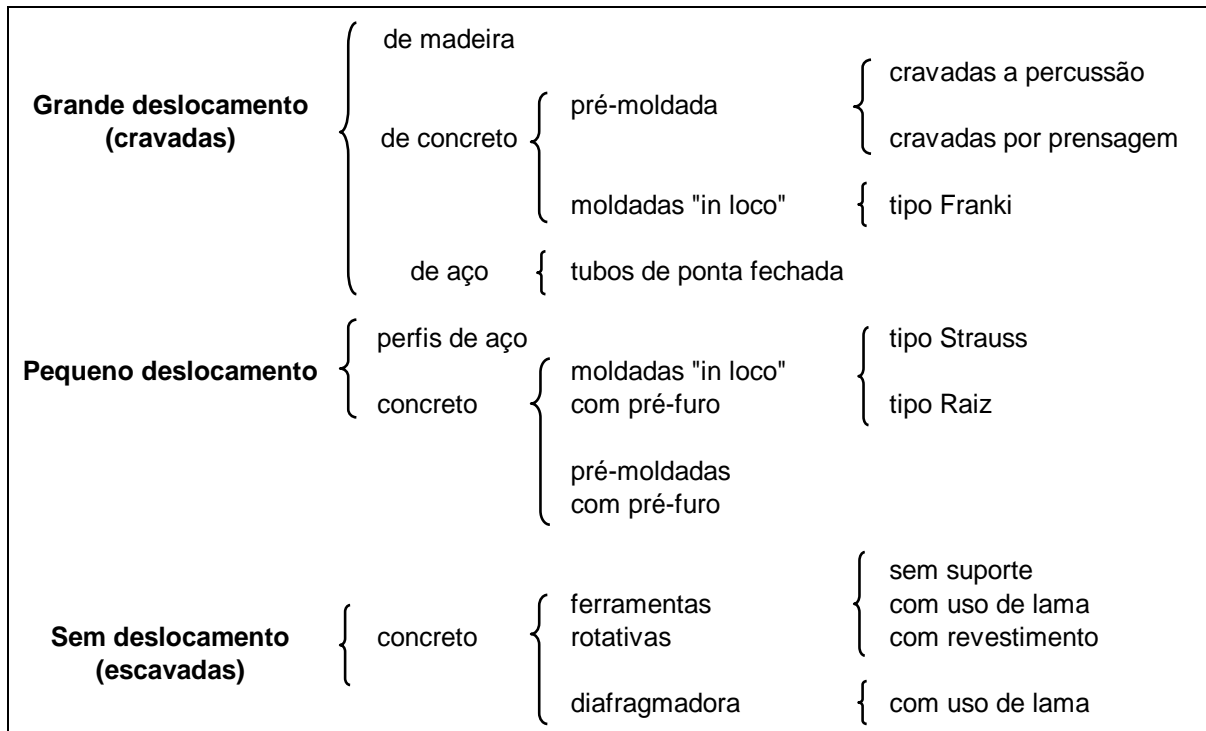


Figura 2 - Classificação dos principais tipos de estacas pelo método executivo.
Fonte: Velloso; Lopes: in Hachich et al, 1998.

De acordo com Décourt; Albiero; Cintra: in Hachich et al (1998, p. 265)
“estacas de deslocamento são aquelas introduzidas no terreno através de algum processo que não promova a retirada de solo”.

Ainda de acordo com os autores:

As estacas escavadas são aquelas executadas “in loco” através da perfuração do terreno por um processo qualquer, com remoção de material, com ou sem revestimento, com ou sem a utilização de fluido estabilizante. Nessa categoria enquadram-se as estacas tipo broca, executadas manual ou mecanicamente, as tipo “Strauss”, as barretes, os estações, as hélice contínuas, as estacas injetadas etc.

2.4.2.1.1 Estaca escavada mecanicamente com trado helicoidal (sem lama bentonítica)

As estacas escavadas (sem lama bentonítica) caracterizam-se por serem

moldadas no local após a escavação do solo, efetuada mecanicamente com trado helicoidal (FALCONI; SOUZA FILHO; FÍGARO: IN HACHICH ET AL, 1998).

A respeito do equipamento utilizado (Figura 3), Falconi; Souza Filho; Fígaro: in Hachich et al (1998, p. 342) salientam:

Este equipamento pode vir acoplado a caminhões ou montado sobre chassi metálico. Em ambos os casos são empregados guinchos, conjunto de tração e haste em toda a sua extensão ou constituída de trados com comprimento de perfuração, podendo esta ser helicoidal entre 2 e 6 m em sua extremidade, procedendo-se ao avanço através de prolongamento telescópico. Por conferir esta versatilidade, pode executar desde estacas de pequenas profundidades com equipamento de torre de 6 m, até grandes profundidades, com equipamento de torre de 30 m. O diâmetro das perfuratrizes varia entre 0,25 a 1,70 m atingindo profundidades de até 30 m.



Figura 3 - Detalhe do equipamento de escavação.

Fonte: Fabrício; Rossignolo, [s.d.], p. 4.

Ainda de acordo com os autores, o método executivo deste tipo de estaca segue a seqüência descrita abaixo:

Uma vez instalado e nivelado o equipamento, posiciona-se a ponta do trado sobre o piquete de locação e inicia-se a perfuração. Quando a haste é totalmente helicoidal, a perfuração prossegue até a cota projetada e procede-se à retirada da haste sem girar. [...] Quando somente um trecho da haste é helicoidal, a operação de retirada da haste é repetida algumas vezes antes de se atingir a cota final prevista em projeto. Atingida a cota prevista em projeto e confirmadas as características do solo em comparação com a sondagem mais próxima, pode-se iniciar a concretagem da estaca. Antes do lançamento do concreto, o fundo da perfuração é apiloado com soquete de concreto. Após este procedimento, o concreto é lançado com auxílio de uma tremonha. Concluída a concretagem pode-se utilizar vibrador de imersão nos 2 m superiores. Finalizando, posiciona-se a armadura, ficando esta, 50 cm acima da cota de arrasamento.

Joppert (2007, p. 209), a respeito da concretagem das estacas, aconselha que o “concreto seja lançado em duas etapas, quando a estaca for armada, sendo a primeira até a cota de fundo da gaiola de armação e a segunda após colocação da armação”.

O concreto utilizado deve ter consumo mínimo de cimento de 300 kg/m³, consistência plástica (“slump”) de 9 ± 1cm e $f_{ck} = 15$ MPa (FALCONI; SOUZA FILHO; FÍGARO: IN HACHICH ET AL, 1998).

A Tabela 1 a seguir, relaciona algumas vantagens e desvantagens deste tipo de estaca:

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens das estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal (sem lama bentonítica).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Grande mobilidade e produção do equipamento - Ausência de vibrações - Permite a amostragem do solo escavado - Permite atingir a profundidade desejada e determinada em projeto - Pode ser executada bem próxima às divisas 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitação ao lençol freático e solos passíves de desbarrancamentos, como areias puras

Fonte: Falconi; Souza Filho; Fígaro: in Hachich et al, 1998, p. 342.

De acordo com Geofix fundações a carga estrutural admissível à compressão das estacas escavadas, não armadas, é obtida analogamente à carga de um pilar com seção nula de aço, ou seja:

$$P_k = \frac{0,85 \cdot A_s \cdot f_{ck}}{\gamma_f \cdot \gamma_c}$$

Onde, de acordo com a norma brasileira NBR 6122 (1996):

P_k = carga no pilar

A_s = seção transversal da estaca (aquela obtida com o diâmetro de perfuração)

f_{ck} = resistência à compressão de serviço do concreto (15 MPa)

γ_f = coeficiente de ponderação da resistência do concreto (1,4)

γ_c = coeficiente de minoração de resistência do concreto (1,8)

“É importante ressaltar que a carga de trabalho das estacas, deverá ser fixada após análise do perfil geotécnico do solo” (FALCONI; SOUZA FILHO; FÍGARO: IN HACHICH ET AL, 1998, p. 341).

Usualmente os diâmetros e cargas admissíveis estruturais utilizados são os indicados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Capacidade de carga das estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal (sem lama bentonítica).

Diâmetro de perfuração (cm)	Carga admissível estrutural (tf)	Distância mínima entre eixos (cm)
25	25	63
30	36	75
35	49	90
40	64	100
45	81	113
50	100	125

Fonte: Falconi; Souza Filho; Fígaro: in Hachich et al, 1998.

2.5 REQUISITOS DE UM PROJETO DE FUNDAÇÕES

Uma fundação corretamente projetada tem como função suportar todas as cargas que atuam sobre ela e distribuí-las de maneira satisfatória sobre as superfícies que fazem contato com o solo sobre o qual se apóia (BUENO; LIMA; RÖHM, 1985). Para que cumpra sua função de maneira eficaz, essa distribuição deve atender a requisitos básicos evidenciados por Velloso; Lopes (2004, p . 15):

- a) Deformações aceitáveis sob as condições de trabalho (Figura 4a);
- b) Segurança adequada ao colapso do solo de fundação ou estabilidade externa (Figura 4b);
- c) Segurança adequada ao colapso dos elementos estruturais ou estabilidade interna (Figura 4e).

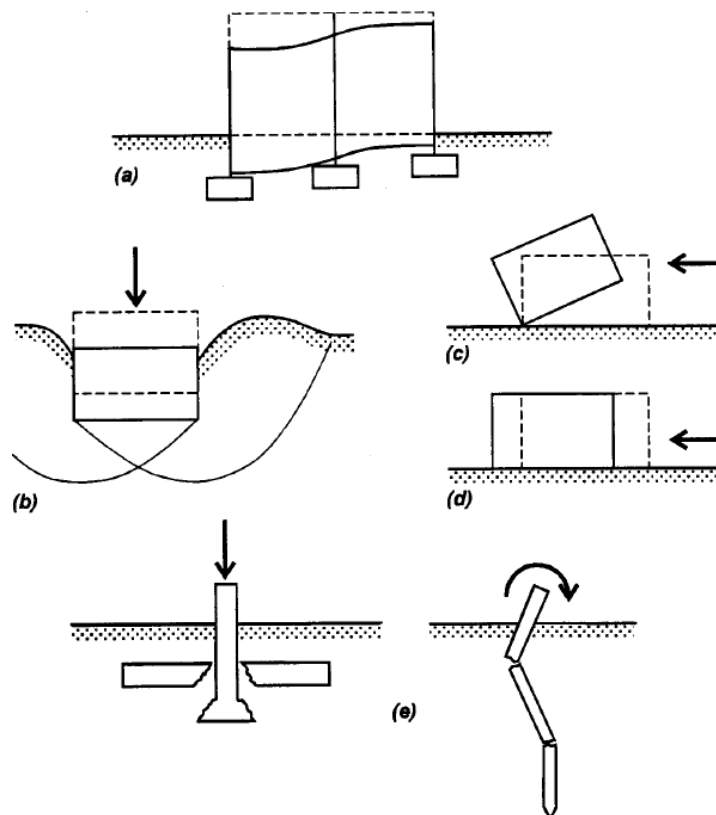


Figura 4 - (a) Deformações excessivas, (b) colapso do solo, (c) tombamento, (d) deslizamento, (e) colapso estrutural, resultantes de projetos deficientes.

Fonte: Velloso; Lopes, 2004, p. 15.

O atendimento ao item (a) corresponde à verificação de estados-limites de utilização conforme citado na norma NBR 8681 (1984). O atendimento aos itens (b) e (c) corresponde à verificação de estados-limites últimos.

Ainda de acordo com Velloso; Lopes (2004, p. 16), outros requisitos específicos de certos tipos de obra são:

- d) Segurança adequada ao tombamento e deslizamento, também estabilidade externa, a ser considerada nos casos em que forças horizontais elevadas atuam em elementos de fundação superficial (Figuras 19c e 19d);
- e) Segurança a flambagem;
- f) Níveis de vibração compatíveis com o uso da obra, a serem verificados nos casos de cargas dinâmicas.

Assim, “as fundações, como qualquer outra parte da estrutura, devem ser projetadas e executadas para garantir, sob a ação das cargas em serviço, as condições mínimas de segurança, funcionalidade e durabilidade” (ALONSO, 1998, p. 1). Com relação à segurança, Alonso (1998) salienta que uma fundação deve atender aos coeficientes de segurança contra rupturas, fixados por normas técnicas, tanto no que diz respeito à resistência dos elementos estruturais que a compõem, quanto as do solo que lhe dá suporte. Quanto à funcionalidade, deve garantir deslocamentos compatíveis com o tipo e finalidade a que se destina a estrutura. Os recalques devem ser estimados, na fase do projeto, num trabalho conjunto entre as equipes que calculam a estrutura e a fundação. Ainda a esse respeito, o autor se manifesta:

As reações, para o cálculo das fundações, fornecidas pela primeira equipe (que calcula a estrutura) são usadas como ações pela segunda (a que calcula as fundações), que deverá, também, estimar os recalques correspondentes. Se os valores desses recalques não estiverem dentro da ordem de grandeza daqueles inicialmente fixados pela equipe de cálculo da estrutura, deverá ser feita uma reavaliação das cargas, impondo-se estes novos recalques. O confronto e ajuste entre esses valores (recalques prefixados pela equipe de estrutura para o cálculo das cargas e recalques calculados pela equipe de fundações a partir dessas cargas) é o que se denomina interação solo-estrutura (ALONSO, 1998, p. 2).

No que se refere à durabilidade, “uma fundação deve apresentar vida útil no mínimo igual à da estrutura. [...] assim, torna-se necessário um estudo minucioso das variações de resistência dos materiais constituintes da fundação, do solo e das cargas atuantes ao longo do tempo” (ALONSO, 1998, p. 2).

À medida que as condições de segurança, funcionalidade e durabilidade são atendidas, ter-se-á o bom desempenho de uma fundação, o que “está intimamente ligado ao controle e à garantia de qualidade impostos pelas equipes envolvidas com o projeto e a execução da fundação” (ALONSO, 1998, p. 2).

2.6 AÇÕES NAS FUNDAÇÕES

Para cada tipo de construção, as ações a considerar devem respeitar suas peculiaridades e as normas a ela aplicáveis.

Segundo a norma brasileira NBR 8681 (1984) as ações a que uma estrutura está sujeita podem ser classificadas em:

- a) Ações permanentes: são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. [...] devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança (peso próprio da construção e de equipamentos fixos, empuxos, esforços devido a recalques de apoio);
- b) Ações variáveis: são constituídas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água.
- c) Ações excepcionais: as que têm duração extremamente curta e uma baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da obra, mas que precisam ser consideradas no projeto de determinadas estruturas (explosões, colisões, incêndios, enchentes, sismos, etc.).

Um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido (NBR 6118, 2003).

A NBR 6118 (2003) salienta que a combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos e aos estados limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

Carvalho; Figueiredo Filho (2005, p. 56) complementam destacando:

Em todas as combinações, as ações permanentes devem ser tomadas em sua totalidade; das ações variáveis devem ser tomadas apenas as parcelas que surtam efeitos desfavoráveis para a segurança. As ações incluídas em cada uma das combinações devem ser consideradas com seus valores representativos, multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação.

As combinações das ações necessárias às verificações nos estados limites último e de serviço estão definidas no item 11.8 da norma brasileira NBR 6118 (2003) para diversas possibilidades, e critérios gerais são dados no item 4.3.3 da norma brasileira NBR 8681 (1984).

2.7 CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS COM BASE NOS CRITÉRIOS DE ANÁLISE DE RUPTURA POR CISALHAMENTO DO SOLO

Alonso (1991, p. 45) diz que “a capacidade de carga, contra a ruptura de um elemento de fundação, é aquela que aplicada ao mesmo, provoca o colapso ou o escoamento do solo que lhe dá suporte ou do próprio elemento”. Assim, salienta o autor, essa capacidade de carga é obtida pelo menor dos dois valores:

- Resistência estrutural do material (ou materiais) que compõe o elemento da fundação;

- Resistência do solo que dá suporte ao elemento.

De acordo com Bueno (1985) apud Zanchi (2007, p. 71) “o elemento de fundação é uma peça estrutural que se comporta como um transformador, recebendo cargas altas e transmitindo baixas tensões ao solo, as quais raramente superam a casa dos 5 kgf/cm² (em via de regra de 1,5 a 3,0 kgf/cm²)”.

O autor supracitado explica, nos parágrafos a seguir, como ocorrem as deformações do solo de fundação durante o carregamento, o conceito de fator de segurança e tensão admissível do solo.

A Figura 5 representa um maciço de extensão semi-infinita, homogêneo, isotrópico, não saturado, carregado por uma sapata de extensão finita, de largura B , sob efeito de um carregamento que cresce desde um valor nulo até Q .

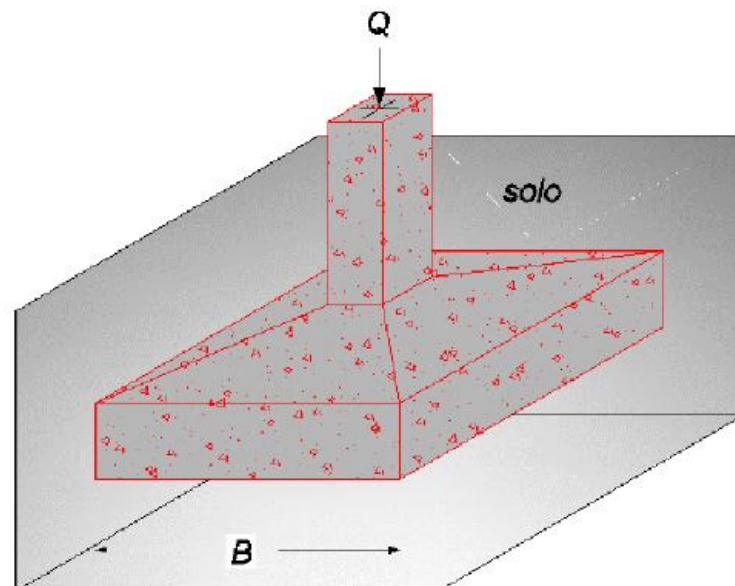


Figura 5 - Carregamento de uma sapata isolada.
Fonte: Bueno (1985) apud Zanchi (2007, p. 81).

2.7.1 Métodos para a determinação da capacidade de carga de fundações superficiais

De acordo com a norma brasileira NBR 6122 (1996) a capacidade de carga de fundações superficiais pode ser determinada por um dos seguintes critérios:

- a) Por métodos teóricos: uma vez conhecidas as características de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento do solo e outros parâmetros eventualmente necessários, a tensão admissível pode ser determinada por meio de teoria desenvolvida na Mecânica dos Solos. Faz-se um cálculo de capacidade de carga à ruptura; a partir desse valor, a pressão admissível é obtida mediante a introdução de um coeficiente de segurança igual ao recomendado pelo autor da teoria. O coeficiente de segurança deve ser compatível com o grau de conhecimento das características do solo e nunca inferior a 3. A seguir, faz-se uma verificação de recalques para essa tensão, que, se conduzir a valores aceitáveis, será confirmada como admissível.
- b) Por meio de prova de carga sobre placa: “ensaio realizado de acordo com a norma brasileira NBR 6489, que reproduz no campo o comportamento da fundação sob a ação das cargas que lhe serão impostas pela estrutura” (ALONSO, 1998, p. 47).
- c) Por métodos semi-empíricos: são considerados métodos semi-empíricos aqueles em que as propriedades dos materiais são estimadas com base em correlações e são usadas em teorias de Mecânica dos Solos, adaptadas para incluir a natureza semi-empírica do método. Quando este tipo de método é utilizado, devem-se apresentar justificativas, indicando a origem das correlações.
- d) Por métodos empíricos: são considerados métodos empíricos aqueles pelos quais se chega a uma tensão admissível com base na descrição

do terreno. Estes métodos apresentam-se usualmente sob a forma de tabelas de tensões básicas, onde os valores fixados servem para orientação inicial.

2.8 CAPACIDADE DE CARGA NAS FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Segundo Cavalcante (2005) em se tratando de capacidade de carga de uma estaca, a primeira coisa a verificar é sua capacidade de resistir aos esforços atuantes sem sofrer fissuras ou se romper. Isto é, sua resistência estrutural. Neste caso, de acordo com suas dimensões e material utilizado, cada tipo de estaca tem uma capacidade de carga estrutural.

Uma vez satisfeita sua capacidade estrutural, um sistema estaca-solo submetido a um carregamento vertical irá resistir a essa solicitação parcialmente pela resistência ao cisalhamento gerada ao longo de seu fuste e parcialmente pelas tensões normais geradas ao nível de sua ponta (ALBIERO; CINTRA IN HACHICH ET AL, 1998). Portanto, “defini-se como capacidade de carga de um sistema estaca-solo (Q_R) a carga que provoca a ruptura do conjunto formado pelo solo e a estaca” (CAVALCANTE, 2005, p. 185).

De acordo com a norma brasileira NBR 6122 (1996), essa carga de ruptura pode ser obtida através de métodos estáticos, dinâmicos e provas de carga. Por sua vez, os métodos estáticos se dividem em:

- Métodos teóricos: utilizam soluções teóricas de capacidade de carga e parâmetros do solo de acordo com a teoria desenvolvida na Mecânica dos solos;
- Métodos semi-empíricos: se baseiam em correlações com ensaios “in situ” de penetração, como por exemplo, o SPT (“Standard Penetration Test”); e o CPT (Ensaio de penetração do cone).

Nos métodos estáticos a capacidade de carga de estacas isoladas, é a resultante do equilíbrio entre a carga aplicada e a resistência oferecida pelo solo, ilustrada na Figura 6 e expressa de acordo com a equação a seguir (CAVALCANTE, 2005, p. 185):

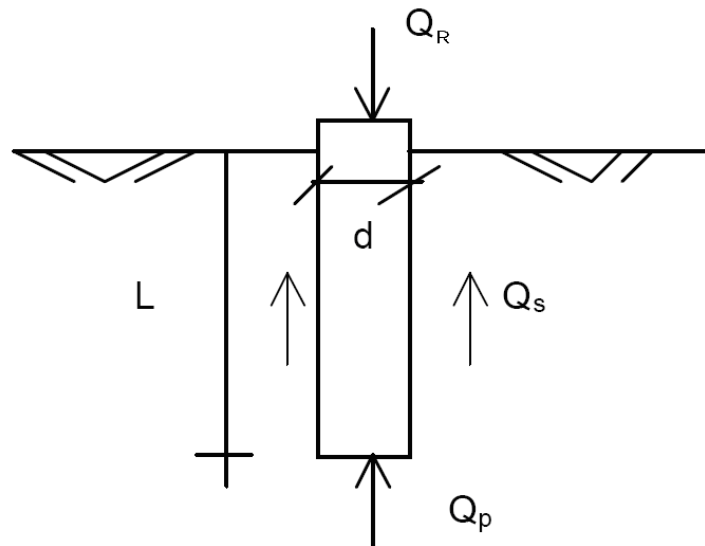


Figura 6 - Estaca submetida à carga de ruptura de compressão.
Fonte: Alonso, 1998.

$$Q_R = Q_s + Q_p$$

Em que:

Q_R = capacidade de carga total da estaca;

Q_p = capacidade de carga de ponta;

Q_s = capacidade de carga do fuste (atrito/ adesão lateral).

Designando-se por q_s e q_p as tensões limites de cisalhamento ao longo do fuste e normal ao nível da base e A_s e A_p respectivamente a área lateral da estaca e da seção transversal de sua ponta, tem-se (ALBIERO; CINTRA IN HACHICH ET AL, 1998):

$$Q_R = Q_s + Q_p$$

$$Q_R = q_s \cdot A_s + q_p \cdot A_p$$

Cavalcante (2005, p. 186) salienta que “na maioria absoluta dos casos, o peso próprio da estaca é desprezível em virtude da sua pouca representação em relação às cargas atuantes sobre esta”.

Ainda de acordo com o autor supracitado:

No projeto de uma fundação profunda o engenheiro deve se preocupar não só com a segurança em relação à perda de capacidade de carga, mas, e também (embora em menor grau) com a avaliação dos recalques que podem ocorrer sob as cargas de trabalho.

2.9 BLOCO DE COROAMENTO SOBRE UMA ESTACA

Adão; Hemerly (2002) explicam que quando o pilar possui carga inferior a capacidade de carga da estaca a utilizar, este terá apenas uma estaca e, para elemento intermediário, bloco de transição.

Segundo Munhoz (2004) nos blocos sobre uma estaca as tensões de compressão atuantes no pilar são transmitidas até o topo da estaca por meio da altura do bloco, em trajetórias curvas, como mostra a Figura 7. Na direção transversal ocorrem tensões de tração que podem causar o fendilhamento, portanto, mesmo em blocos com dimensões e forças atuantes pequenas essas tensões devem ser verificadas.

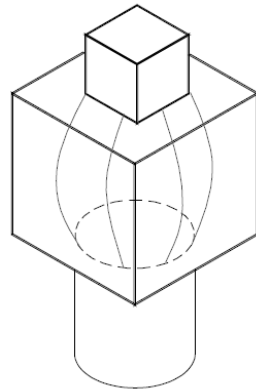


Figura 7 - Trajetórias principais de compressão.
 Fonte: Munhoz, 2004, p. 66.

Na Figura 8 estão indicadas as condições para a determinação da geometria dos blocos para uma estaca.

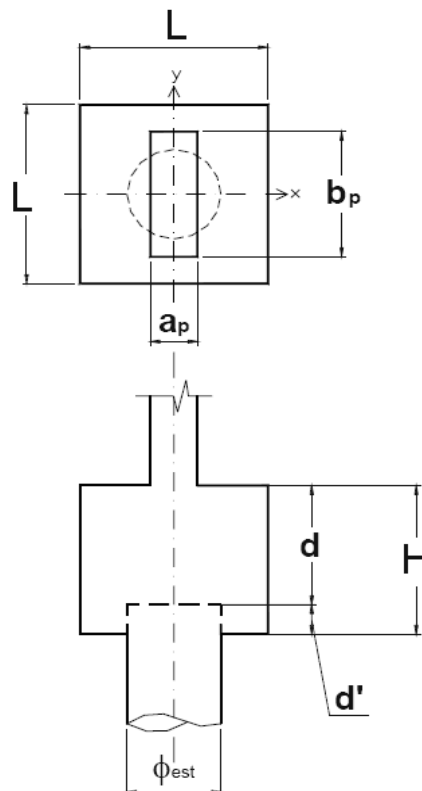


Figura 8 - Geometria dos blocos rígidos para uma estaca.
 Fonte: Munhoz, 2004, p. 69.

Onde:

$$d' = 6 \text{ cm}$$

$$L = \phi_{\text{estaca}} + 2 \cdot 15 \text{ cm}$$

$$H \geq \begin{cases} 0,6 \cdot l_b \\ L - \phi (30 \text{ cm}) \\ 0,75 (L - d) \\ 0,75 (L - b_p) \end{cases}$$

Segundo Rocha (1987, p. 305) o cálculo dos estribos horizontais dos blocos é feito de acordo com o procedimento a seguir.

Calcula-se a força de tração no bloco proveniente da carga "P" concentrada da área do pilar através da equação a seguir:

$$Z = 0,25 \cdot P \cdot \frac{L - b_p}{H}$$

Onde:

L = largura do bloco de coroamento;

b_p = largura do pilar;

H = altura do bloco de coroamento;

P = carga no pilar.

Calculada a força de tração, os estribos são determinados dessa forma:

$$A_{se} = \frac{1,4 \cdot Z}{2 \cdot f_{yd}}$$

Os estribos verticais, que são enlaçados pela armadura horizontal, são calculados a partir da próxima equação.

$$A_{sv} = 0,008 \cdot A_c^n$$

Deve-se também verificar a tensão de tração no concreto e a seção de concreto necessária. Para isto, utilizam-se as duas equações seguintes:

$$\sigma_T \geq \frac{Z}{L \cdot H} \leq 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_c^n = \frac{1,4 \cdot 1,05 \cdot P}{0,85 \cdot f_{cd} + 0,008 \cdot f_{yd}}$$

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo será descrita, sumariamente, a metodologia adotada para a realização deste trabalho, destacando o tipo de pesquisa, as etapas, bem como as análises propostas.

O presente trabalho teve como base para sua elaboração uma pesquisa bibliográfica, realizada através de livros, teses, dissertações, normas técnicas e internet, com o intuito de aprofundar os conhecimentos na área de fundações, com enfoque no estudo das sapatas isoladas, estacas escavadas e radiers.

Foi arbitrado um projeto de casa popular com 49m² (7m x 7m), executado em alvenaria tradicional, com chapisco, embosso e reboco, estrutura de cobertura em madeira roliça, cobertura com telhas de barro (tipo portuguesa) e forro em PVC. A planta baixa pode ser observada na Figura 9.

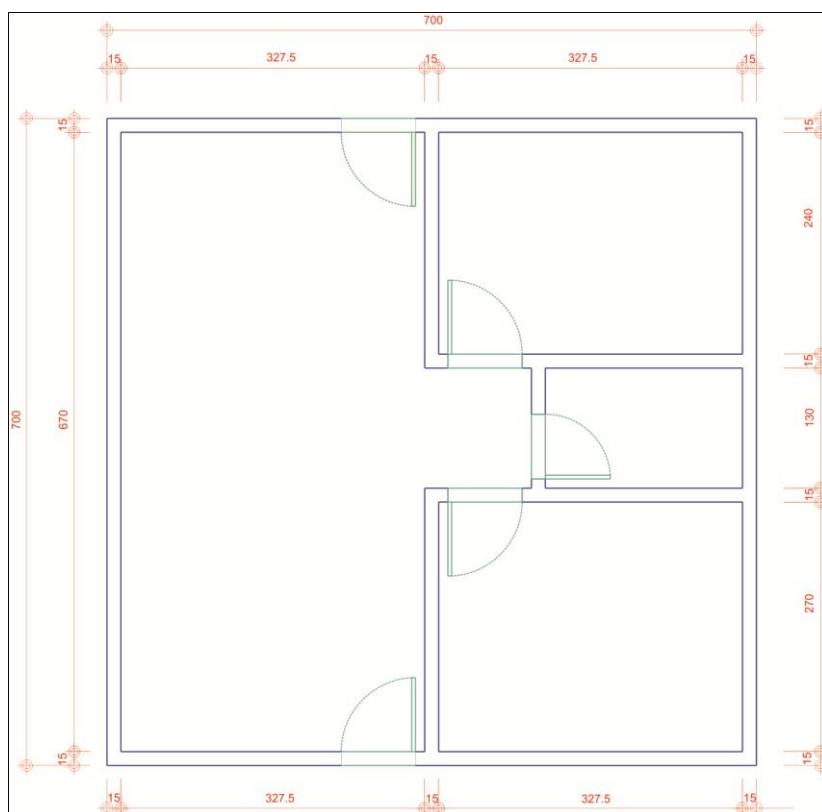


Figura 9 – Planta baixa casa em estudo.
Fonte: Autor, 2011.

Após estimar-se o suporte de carga do solo, e objetivando-se um dimensionamento mais criterioso do comportamento das fundações, utilizou-se o software de cálculo estrutural Cypecad.

Para tal, efetuou-se o carregamento da estrutura a ser executada, arbitrando-se 9 fundações para as opções sapatas isoladas e estacas (dispostas em 3 linhas de 3, devido à simetria do projeto arquitetônico), e um radier com 7,80m x 7,80m. Obtendo-se os dados das fundações necessários para o levantamento de quantitativos, partiu-se para a análise e confrontação dos resultados.

4 DESCRIMINAÇÕES DOS DADOS OBTIDOS

4.1 SAPATAS ISOLADAS

Para a opção sapatas isoladas, foram obtidas 8 dimensões diferentes. De modo a padronizar os elementos, optou-se por manter apenas 3 dimensões distintas, considerando as dos 4 cantos $1,00\text{m} \times 1,00\text{m}$, as 4 intermediárias $1,10\text{m} \times 1,10\text{m}$ e a sapata central, com maior sobrecarga, ficando com $1,20\text{m} \times 1,20\text{m}$. Todas as dimensões das sapatas podem ser observadas nas Figuras 10 e 11.

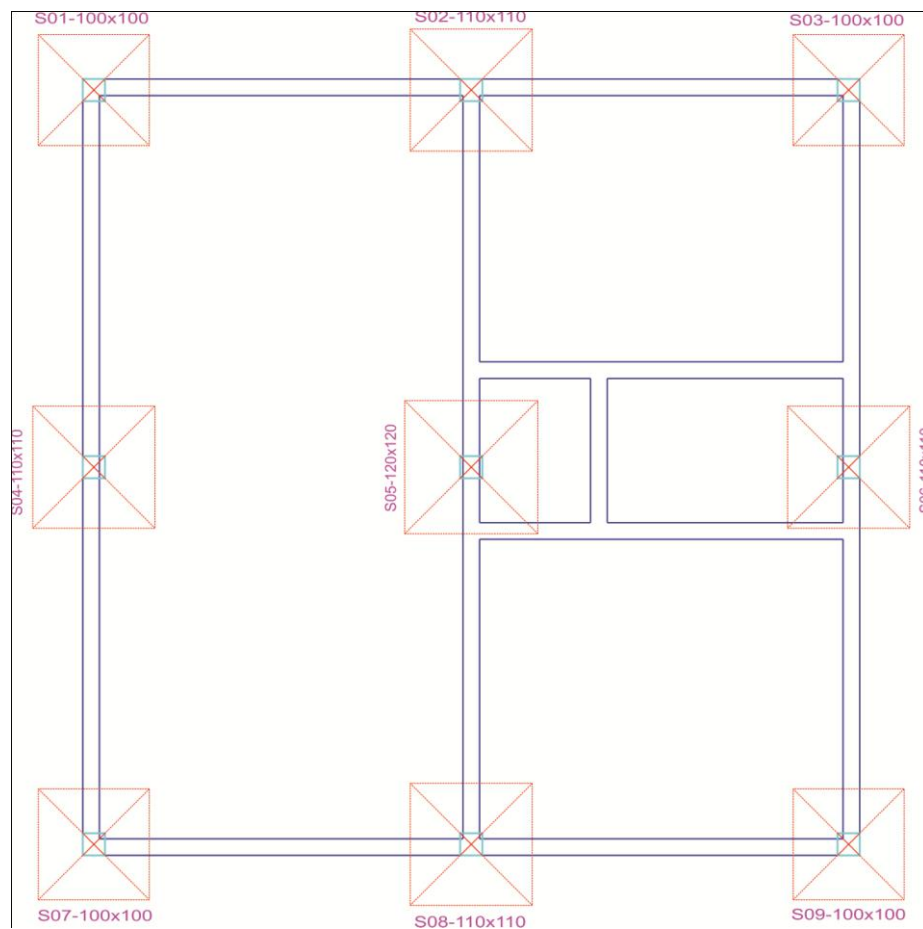


Figura 10 – Disposição das sapatas.
Fonte: Autor, 2011

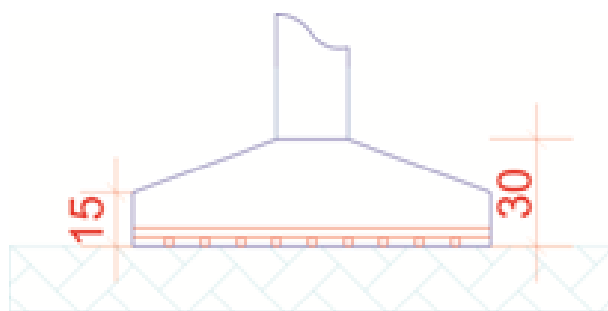


Figura 11 – Vista em corte, destacando a altura das sapatas.
Fonte: Autor, 2011

As armaduras consideradas para todas as sapatas é de barras de aço CA-50 $\varnothing= 6,3\text{mm}$, espaçados a cada 15cm nos dois sentidos, de modo a formar a malha necessária na parte inferior das sapatas.

4.2 ESTACAS ESCAVADAS

Para a opção estacas escavadas, foi mantido o critério de padronização utilizado para com a solução em sapatas. Dessa forma, ao arbitrar o diâmetro das estacas em 30cm, para o solo e as sobrecargas em questão, foi considerado a profundidade de 3,50m para cada estaca. Nas Figuras 12 e 13, observa-se a disposição dos elementos de fundação.

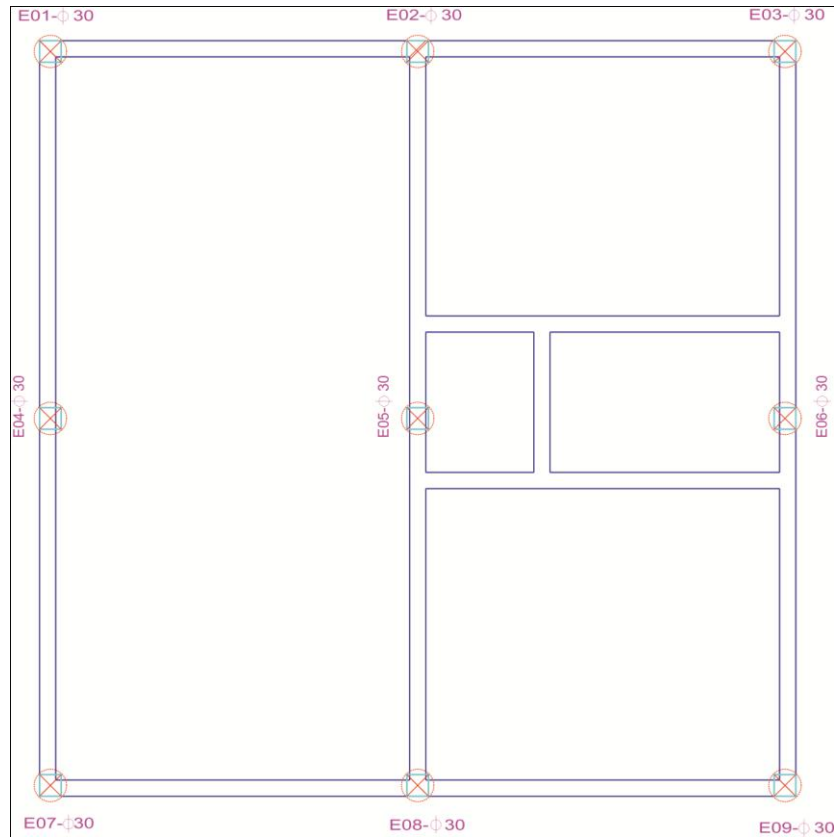


Figura 12 – Disposição das estacas.
Fonte: Autor, 2011

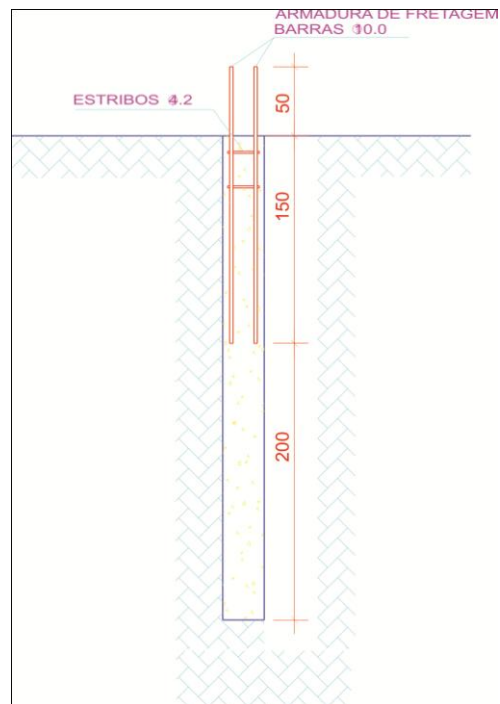


Figura 13 – Vista em corte, destacando a posição da armadura de fretagem.
Fonte: Autor, 2011

Como armadura de fretagem, foram consideradas 4 barras de aço CA-50 $\varnothing= 10,0\text{mm}$, com 2,00m de comprimento, amarradas a duas peças de estribos confeccionadas com barras de aço CA-60 $\varnothing= 4,2\text{mm}$, de modo a possibilitar que as armaduras de fretagem ficassem dispostas na medida 15cm x 15cm.

4.3 RADIER

Na a opção radier, conforme já citado, foi arbitrado o tamanho de 7,80m x 7,80m, possibilitando uma maior estabilidade do elemento, bem como uma conseqüente “sobra” de 40cm de radier para as faces externas das paredes que delimitam a construção, criando-se assim uma calçada de proteção. Assim sendo, foi calculado uma altura de 20cm para esse elemento. Na Figura 14, observa-se a projeção do radier sob a construção.

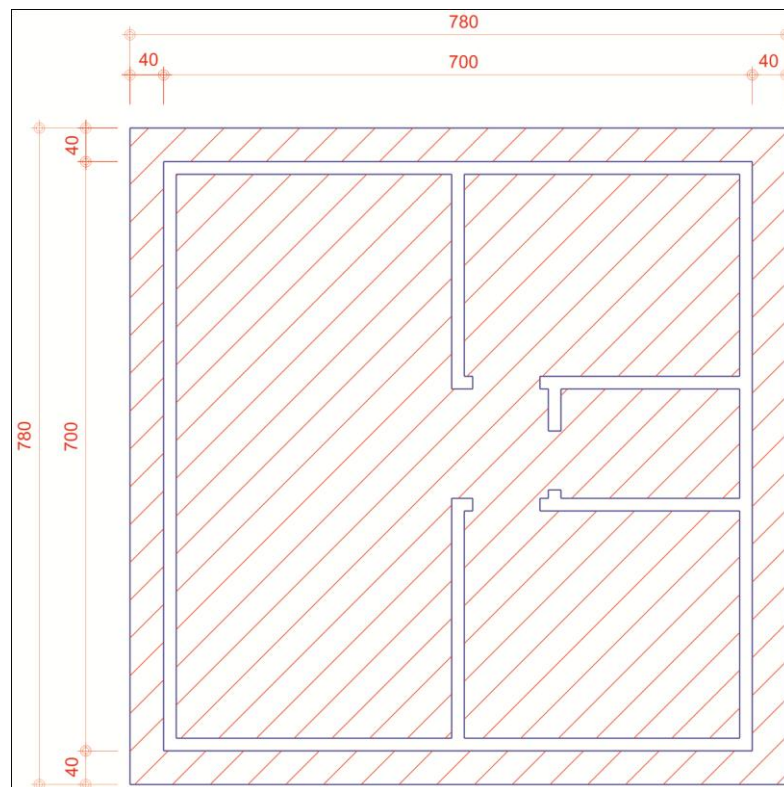


Figura 14 – Disposição do radier.
Fonte: Autor, 2011

Como armadura, foi considerado uma malha dupla de barras de aço CA-50 $\varnothing= 6,3\text{mm}$ espaçados a cada 15cm nos dois sentidos. Dessa forma, o radier ficou armado positiva e negativamente, como observa-se na Figura 15.

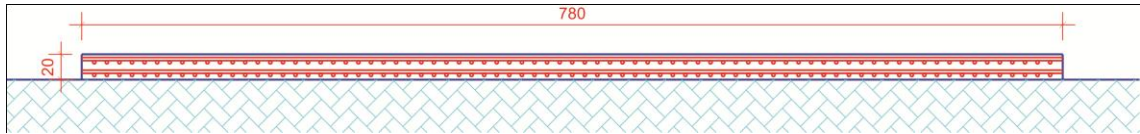


Figura 15 – Disposição das malhas de aço do radier.
Fonte: Autor, 2011

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão analisados os resultados obtidos no desenvolvimento da pesquisa. Como tecnicamente todas as opções são viáveis, após a realização da análise orçamentária para as referidas propostas, será observada a opção mais viável economicamente.

5.1 DIMENSIONAMENTO QUANTITATIVO E ORÇAMENTÁRIO DAS ESTACAS ESCAVADAS

A estaca escavada, pela sua facilidade no processo construtivo, possui um período de execução curto e de baixa complexidade, além de apresentar uma baixa quantidade de insumos por não necessitar de formas e escoramentos.

Tabela 3 – Descrição orçamentária estacas escavadas

ESTACA ESCAVADA				
SERVIÇOS	UNI.	CUST. UNI. (R\$)	QUANTIDADE	CUST. TOTAL (R\$)
ESCAVAÇÃO MECÂNICA	m linear	25	31,50	787,50
ARMADURAS CA-50 E CA-60	Kg	3,31	31,02	102,68
CONCRETO DE 20MPa	m ³	230	2,23	510,40
MÃO DE OBRA - PROFISSIONAIS	Dias	130	2	260
MÃO DE OBRA - AUXILIARES	Dias	55	6	330
SOMATÓRIO				1990,58

Fonte: Autor, 2011.

5.2 DIMENSIONAMENTO QUANTITATIVO E ORÇAMENTÁRIO DAS SAPATAS ISOLADAS

A sapata isolada, apresenta ser uma fundação viável quando envolve quantidade de insumos, mas seu período de execução mostra-se prolongado por seu processo construtivo ser um pouco mais detalhado, necessitando-se de escavação manual e reaterro, sendo assim, encarecendo os gastos com mão de obra.

Tabela 4 – Descrição orçamentária sapatas isoladas

SAPATA ISOLADA				
SERVIÇOS	UNI.	CUST. UNI. (R\$)	QUANTIDADE	CUST. TOTAL (R\$)
ESCAVAÇÃO MANUAL	m ³	32,00	5,14	164,48
ARMADURAS CA-50 E CA-60	Kg	3,31	36,4	120,48
CONCRETO DE 20MPa	m ³	230	2,17	499,10
MÃO DE OBRA - PROFISSIONAIS	Dias	130	4	520
MÃO DE OBRA - AUXILIARES	Dias	55	12	660
SOMATÓRIO				1964,06

Fonte: Autor, 2011.

5.3 DIMENSIONAMENTO QUANTITATIVO E ORÇAMENTÁRIO DO RADIER

Por ser mais complexo e carecer bem mais material que as soluções estudadas anteriormente, dentre outros aspectos, o radier apresenta valores muito elevados numa primeira análise, como observa-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Descrição orçamentária radier

RADIER ARMADO SIMPLES				
SERVIÇOS	UNI.	CUST. UNI. (R\$)	QUANTIDADE	CUST. TOTAL (R\$)
ATERRO C/COMPACTAÇÃO MANUAL	m ³	31,63	18,25	577,25
ARMADURA DE AÇO CA 50/60	Kg	3,31	352,8	1167,77
TÁBUAS DE 2,5 cm PARA FORMA	m ²	8,15	6,24	50,86
TÁBUAS DE 2,5 cm PARA GRAVATA	m ²	8,15	0,4	3,26
TÁBUAS DE 2,5 cm PARA MÃO FRANCESA	m ²	8,15	0,6	4,89
CONCRETO DE 20MPa	m ³	230	12,17	2799,10
MÃO DE OBRA PROFISSIONAIS	Dias	130	10	1300
MÃO DE OBRA AUXILIARES	Dias	55	16	880
LONA PLÁSTICA PRETA	m ²	3,66	60,84	222,7
SOMATÓRIO				7005,83

Fonte: Autor, 2011.

Por ser o radier uma solução de fundação, mas já servir como laje inferior, há uma grande economia de matérias e serviços futuros, como pode-se observar na Tabela 6.

Tabela 6 – Descrição ganhos de serviço quando da execução de radier

ECONOMIAS OBTIDAS QUANDO DA EXECUÇÃO DE RADIER				
SERVIÇOS	UNI.	CUST. UNI. (R\$)	QUANTIDADE	CUST. TOTAL (R\$)
LAJE PRÉ-MOLDADA	m ²	19,00	49,00	931,00
CONCRETO DE 20MPa PARA COLUNAS DE SUSTENTAÇÃO, CAPA DA LAJE E VIGAS DE SUSTENTAÇÃO	m ³	230	6,5	1495,00
TÁBUAS DE 2,5 cm PARA FORMA	m ²	8,15	77	570,50
TÁBUAS DE 2,5 cm PARA GRAVATA	m ²	8,15	8,8	71,72
ESCORAS 30cm a 60cm	un	0,35	80	28,00
PREGOS	kg	12	5,00	60,00
ARMADURA DE AÇO CA 50/60	kg	3,31	147	486,57
MÃO DE OBRA PROFISSIONAIS	Dias	130	8	1040,00
MÃO DE OBRA AUXILIARES	Dias	55	15	825,00
SOMATÓRIO				5507,79

Fonte: Autor, 2011.

Dessa forma, nota-se que devido a sua funcionalidade o radier acaba por gerar grande economia na etapa seguinte à fundação. Deduzindo-se os serviços não executados posteriormente, observamos o “custo líquido” do radier na Tabela 7.

Tabela 7 – Custo efetivo radier

CUSTO EXECUÇÃO RADIER	R\$7.005,83
ECONOMIA FUTUROS SERVIÇOS	R\$5.507,79
CUSTO “LÍQUIDO” RADIER	R\$1.498,04

Fonte: Autor, 2011.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Através do estudo realizado, conclui-se que a execução de radier como opção para fundação da obra em questão, foi a alternativa econômica mais viável. Relativo aos custos, quando comparada as opções em estacas ou sapatas (consideradas empatadas tecnicamente na análise de custos diretos), o radier mostrou-se cerca de 25% mais econômico. Algumas foram as causas que contribuíram para esse dado, mas pode-se atribuir basicamente ao fato que executando radier, não se faz necessário executar colunas, vigas e laje, afinal, o próprio radier faz esse papel.

Aprofundando a comparação entre sapatas e estacas escavadas, embora economicamente houve empate técnico (menos de 2% de diferença de valores), consideramos uma vantagem para a opção estacas, devido à menor quantidade de serviços necessários e conseqüente ganho no tempo de execução das fundações.

Para trabalhos futuros, sugere-se uma avaliação da relação custo x benefício das soluções propostas. Os benefícios relacionam-se ao tempo e facilidade de execução, número de funcionários envolvidos, necessidade de mão-de-obra especializada, etc. Também é importante salientar o fato de que ao executar-se radier a altura da obra em relação ao chão fica condicionada a altura do próprio radier, fazendo com que a casa fique muito baixa.

Também fica como sugestão a análise dessas soluções em habitações de maior porte, as quais exigem fundações que suportem cargas muito superiores às da obra popular apresentada neste trabalho, bem como estudos com outros tipos de fundações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6122** – Projeto e execução de fundações: Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 6484** – Execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1980.

ALONSO, Urbano Rodrigues. **Previsão e Controle das Fundações**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1998. 142 p.

_____. **Dimensionamento de Fundações Profundas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1989. 169 p.

AZEVEDO, Hélio Alves. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

BASTOS, Cezar. **Prospecção Geotécnica do Subsolo**. Departamento de Materiais e Construção – DMC/ FURG. [s.d.]. Disponível em: <<http://civmec.dmc.furg.br/~disp04084/apostila/prospeccao%20geotecnica.pdf>>. Acesso em: 28 de abr. 2011.

BRITO, José Luis Wey de. **Fundações do edifício**. São Paulo, EPUSP, 1987.

BUENO, B. S.; LIMA, D. C.; RÖHM, S. A. **Fundações Profundas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1985. 62 p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1987. v. 2. 498 p.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 2. ed. São Carlo, SP: EDUFSCAR, 2005.

DÓRIA, L.E.S. Projeto de Estrutura de Fundação em concreto do tipo radier. 2007. Tese (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Centro de tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

GEOFIX Fundações. **Hélice Contínua Monitorada**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.geofix.com.br/site_final/servicos.htm>. Acesso em 28 de abr. 2011.

JOPPERT, Ivan Jr.. **Fundações e Contenções de edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: PINI, 2007. 221 p.

LEAL, Ubiratan. Bases concretas. **Téchne**. São Paulo, ed. 83, p. 40-41, fev. 2004.

LOPES, Camila. **Projeto de fundações – Uma análise comparativa – Estudo de caso**. Criciúma, 2008. 222 p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – Unesc.

MELHADO Silvio Burrattino et al. Silvio Burrattino et al. **Fundações**. São Paulo: Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo, 2002.

MUNHOZ, Fabiana Stripari. **Análise do comportamento de blocos de concreto armado sobre estacas submetidos à ação de força centrada**. São Carlos, 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia da EESC-USP

ROCHA, Anderson Moreira da. **Concreto Armado**. 21 ed. São Paulo: Nobel, 1987. v. 3. 342 p.

SCHNAID, Fernando. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 189 p.

VELLOSO, Dirceu A.; LOPES, Francisco R.. **Fundações: critérios de projeto - investigação do subsolo - fundações superficiais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. v.1. 226 p.