FACULDADE SANTA RITA - FaSaR

ENGENHARIA CIVIL

FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL DO TIPO SAPATA ISOLADA E RADIER LISO EM OBRA DE EDIFICAÇÃO

MAURICIO DUTRA DE CARVALHO

Conselheiro Lafaiete
2015

MAURICIO DUTRA DE CARVALHO

FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL DO TIPO SAPATA ISOLADA E RADIER LISO EM OBRA DE EDIFICAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da faculdade Santa Rita– FASAR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.ª. Roberta Maria Machado, eng.ª civil; Dra.

Conselheiro Lafaiete
2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que tem iluminado meu caminho e me dado força para superar todos os desafios para concluir este trabalho.

Agradeço aos meus pais e meus irmãos, por terem acreditado, sempre apoiando, ajudando e incentivando de todos os modos a realização dos meus objetivos, em especial meu irmão Marco Antônio Dutra que tantas horas passamos juntos estudando para a conclusão deste curso.

À minha esposa Lilian e minha filha Beatriz, pelo carinho, amor e paciência nos momentos que mais precisei.

Agradeço à prof.ª Dra. Eng.ª civil Roberta Maria Machado, orientadora deste TCC e coordenadora do curso de engenharia civil da faculdade Santa Rita-FaSaR, pela ajuda, paciência e dedicação na elaboração deste trabalho.

A faculdade Santa Rita FASAR, e ao seu corpo docente pela dedicação disponibilidade e motivação ao longo de todos estes anos de estudo.

Aos meus amigos do curso de engenharia civil por todos esses anos juntos, que também passaram por esta experiência.

Ao Engenheiro Civil Eládio Jose Lopes, por ter fornecido o material necessário para o estudo deste trabalho.

RESUMO

No Brasil o crescimento das cidades tem levado um aumento de habitações populares, muitas das vezes construídas em solos de baixa resistência. O presente trabalho apresenta o estudo comparativo do dimensionamento e custos de uma estrutura de fundação superficial utilizando duas soluções, sendo elas sapatas isoladas e radier liso ambas em concreto armado, dimensionadas em função dos parâmetros de resistência do solo, coesão e ângulo de atrito interno, retirados através dos resultados de ensaio SPT. O edifício modelo adotado foi lançado no programa de cálculo estrutural *Eberikc V8 Gold* com base na obtenção das cargas nas fundações, dimensionamento das vigas de fundação e pilares do pavimento térreo, e as sapatas dimensionadas pelo método das bielas com ajuda de planilhas de Excel. O radier foi dimensionado e detalhado através do programa de cálculo estrutural, já mencionado, desta forma as vigas de fundação e pilares do térreo foram substituídos pelo radier, porém, sobre o radier foi lançado as cargas pontuais referentes os pilares e cargas lineares representando as paredes do pavimento térreo. Os resultados desse estudo de caso mostram que o radier apresentou um custo total maior comparado à fundação em sapata, devido elevado consumo de aço e concreto em consequência dos pilares que nascem sobre o radier e que geram elevados esforços no mesmo. Desta forma a fundação em sapata isolada torna-se economicamente viável para o estudo de caso proposto.

Palavra - Chave: Radier, sapata, fundações superficiais.

ABSTRACT

In Brazil, the growth of cities has led to an increase in affordable housing, often built in low resistance soils. This work presents a comparative study of the design and cost of a shallow foundation structure using two solutions, which were isolated shoes and smooth radier both reinforced concrete, sized as a function of soil strength parameters, cohesion and internal friction angle, SPT withdrawn through the test results. The building model adopted was released in the structural calculation program Eberikc V8 Gold based on the achievement of loads on foundations, design of foundation beams and pillars of the ground floor, and shoes scaled the method of connecting rods with the help of Excel spreadsheets. The raft has been designed and detailed by structural calculation program, already mentioned, this way the foundation beams and ground floor pillars have been replaced by raft, however, on the raft was launched one-off charges related pillars and linear loads representing the walls Ground floor. The results of this case study show that the raft had a total cost higher compared to the foundation in shoe due high consumption of steel and concrete as a result of the pillars that are born on the raft and generate high stresses in it. Thus the foundation in isolated shoe becomes economically viable for the proposed case study.

Keywords: Radier, shoe, shallow foundations

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 OBJETIVOS 13

1.1 OBJETIVO GERAL 13

1.1.1 Objetivo específico 13

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14

1.2 FUNDAÇÕES: HISTÓRIA, CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS 14

1.2.1 História das Fundações 14

1.2.2 Conceitos e Características 15

1.3 CLASSIFICAÇÃO DAS FUNDAÇÕES 15

1.3.1 Fundações Superficiais ou Rasas 16

1.3.2 Fundações Profundas 17

1.4 FUNDAÇÕES EM SAPATAS 18

1.4.1 Classificação das Sapatas 19

1.4.2 Sapata Isolada 23

1.5 FUNDAÇÃO EM RADIER 28

1.5.1 Classificação dos Radiers 29

1.5.2 Recomendações Construtivas 32

1.5.3 Parâmetros de Dimensionamento 33

1.6 CAPACIDADE DE CARGA EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS 35

1.6.1 Mecanismo de Ruptura 36

1.6.2 Teoria de Terzaghi 37

1.6.3 Parâmetros Geotécnicos do Solo 41

1.6.4 Tensão admissível dos solos 42

1.7 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO SPT (STANDARD PENETRATION TESTE) 44

4 METODOLOGIA 47

1.8 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 47

1.9 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA PESQUISA 47

1.10 COLETA E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS 47

1.10.1 Metodologia utilizada para a elaboração do orçamento 49

5 DIVULGAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 50

1.11 DEFINIÇÃO ESTRUTURAL 50

1.12 ANÁLISE GEOTÉCNICA ADOTADA 52

1.12.1 Tensão admissível adotada 55

1.13 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO EM SAPATA 58

1.13.1 Estimativa de custo da fundação em sapata isolada 62
1.14 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO EM RADIER 65
1.14.1 Estimativa de custo da fundação do tipo radier..... 67
6 ANALISE DOS RESULTADOS 70
7 CONCLUSÃO 74
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS..... 76
9 ANEXOS..... 79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Fundação superficial e profunda 16
FIGURA 2 - Tipos de fundação superficial 17
FIGURA 3 - Sapata isolada 20
FIGURA 4 - Geometria da sapata associada 21
FIGURA 5 - Sapata com viga de equilíbrio 22
FIGURA 6 - Sapata corrida sob carregamento linear distribuído 23
FIGURA 7- Dimensão da sapata isolada 25
FIGURA 8 - Tensões atuantes na sapata rígida 28
FIGURA 9 - Radier liso 30
FIGURA 10 - Radier com pedestal ou cogumelo 30
FIGURA 11 - Radier nervurado 31
FIGURA 12 - Radier em caixão 31
FIGURA 13 - Mecanismo de ruptura geral 36
FIGURA 14 - Mecanismo de ruptura por puncionamento 37
FIGURA 15 - Superfície potencial de ruptura 38
FIGURA 16 - Esquema do equipamento de sondagem SPT 45
FIGURA 17 - Processo de cravação, em um SPT de acordo com ASTM D1586 46
FIGURA 18 - Desenho 3D da estrutura 50
FIGURA 19 - Gráfico das sondagens 53
FIGURA 20 - Gráfico do valor Mínimo e Médio de cada sondagem 54
FIGURA 21 - Croqui esquemático da sondagem 55
FIGURA 22 - Influência dos serviços e materiais no custo da sapata isolada 64
FIGURA 23 - Detalhamento tridimensional do radier 66
FIGURA 24 - Influencia dos serviços e materiais no custo do radier 69
FIGURA 25 - Principais consumos de materiais nas fundações 70
FIGURA 26 - Custos por etapa de execução das fundações 71
FIGURA 27 - Custo total e diferença percentual das fundações estudadas 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de Kv segundo o tipo de solo 35
Tabela 2 - Fatores de capacidade de carga 40
Tabela 3 - Fatores de forma De Beer 41
Tabela 4 - Peso específico de solos argilosos 42
Tabela 5 - Parâmetros dos solos argilosos 44
Tabela 6 - Carga máxima na fundação 51
Tabela 7 - Resultado dos boletins de sondagens 52
Tabela 8 - Resultados Mínimos e Médios por camada 53
Tabela 9 - Parâmetros para o dimensionamento da tensão admissível do solo 56
Tabela 10 - Cálculo da tensão admissível por ruptura geral 57
Tabela 11 - Cálculo da tensão admissível em ruptura por puncionamento 57
Tabela 12 - Dimensionamento das sapatas isoladas 59
Tabela 13 - Verificação da tensão de cisalhamento 60
Tabela 14 - Área da seção de armadura por metro de largura 61
Tabela 15 - Resultado das armaduras empregadas nas sapatas 61
Tabela 16 - Consumo de material das sapatas 62
Tabela 17- Detalhamento dos serviços e materiais para execução da sapata isolada 63
Tabela 18 - Dimensionamento do coeficiente de reação do solo 65
Tabela 19 - Consumo de material do radier 67
Tabela 20 - Detalhamento dos serviços e materiais para execução do radier 68

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira

ASTM - American Society for Testing and Materiais

DNIT- Departamento nacional de infraestrutura e transporte

SPT - Standard Penetration Test (Teste de Penetração Padrão)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

REV.I.C - Revista informador da construção

SETOP - Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais

SINAPI - Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil (Caixa)

BDI - Benefícios e despesas indiretas

ACI - American Concreto Institute

CA - Classificação do aço

N_{SPT} - Índice de resistência à penetração

F_{CK} - Resistência característica do concreto a compressão

F_{cd} - Resistência de calculo do concreto a compressão

F_{yd} - Resistência de calculo de escoamento do aço

F_{yk} - Resistência característica de escoamento do aço

σ_{Rd2} - Tensão normal resistente de calculo

σ_{sd} - Tensão normal solicitante de calculo atuante

σ_r - Tensão de ruptura do solo

σ_{adm} - Tensão admissível do solo

F_{sd} - Força concentrada de calculo

A_{sd} - Área da armadura na direção considerada

T_d - Força de tração na direção considerada

K_V - Coeficiente de reação vertical do solo

q_s - Pressão de contato aplicada no solo

W - Recalque

q - Sobrecarga

F_S - Fator de segurança

C - Coesão

γ - Peso específico

Φ - Ângulo de atrito

MPa - Mega Pascal

kg - Kilo grama

Kgf/cm² - Kilo grama força por centímetro quadrado

Kgf/cm³ - Kilo grama força por centímetro cúbico

KN - Kilo Newton

kN/m³ - Kilo Newton por metro cúbico

kN/m² - Kilo Newton por metro quadrado

m - Metro

m² - Metro Quadrado

m³ - Metro Cúbico

cm - Centímetro

cm² - Centímetro quadrado

cm³ - Centímetro Cúbico

mm - Milímetro

Ø - Diâmetro

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de fundações são sempre objetos de estudos e preocupação devido à complexidade de suas características, elemento estrutural e solo, independente de sua aplicação ou esbeltez, as fundações exercem uma das funções mais importantes do conjunto estrutural, transmitir ao solo as cargas provenientes da superestrutura sem sofrer grandes deformações, desta forma demonstra os conhecimentos técnicos e habilidades do engenheiro de fundação que a projetou.

Para obras de pequeno e médio porte, inicialmente adotam-se as fundações superficiais, dependendo das características do solo, por apresentarem menor custo comparado às fundações profundas. Porém existem várias opções e fica difícil para o engenheiro mensurar qual o modelo economicamente viável para atender ao projeto. Neste contexto, justifica-se o estudo de caso que visa encontrar uma solução viável referente ao consumo de materiais e custos para este tipo de fundações.

Para esta pesquisa, vale salientar as características dos tipos de fundações estudadas e realizar uma comparação entre ambas. As atividades iniciais foram realizadas com a obtenção das cargas de fundação através do programa de cálculo estrutural, e após, o dimensionamento da capacidade de carga do solo através do método teórico de Terzaghi. Para finalizar, foi definido o dimensionamento e o detalhamento das fundações levantado o consumo de materiais e custos e, por fim uma comparação orçamentária dos tipos de fundações propostas.

2 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é fazer uma comparação entre dois tipos de fundações superficiais, sapata isolada e radier liso, levando em consideração os custos de execução. Para enfim apresentar uma proposta economicamente viável.

1.1.1 Objetivo específico

Estudar os tipos de fundações através de uma pesquisa bibliográfica;

Definir os parâmetros do solo em função do ensaio SPT;

Caracterizar as etapas de análise e dimensionamento da estrutura de fundações superficiais;

Estabelecer o consumo de materiais das fundações, sapata isolada e radier;

Determinar os custos das fundações e a viabilidade econômica;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.2 FUNDAÇÕES: HISTÓRIA, CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS

1.2.1 História das Fundações

Nos registros históricos os romanos foram os grandes responsáveis por avanços tecnológicos importantes na construção em geral, principalmente das fundações. Neste período surge o cimento romano uma mistura de pozolana com calcário, acrescido de pedaços de pedras, o concreto. Com isso, surgiram grandes obras como o Coliseu, assentado em uma laje do tipo radier liso de 170m de diâmetro e o Pantheon construído sobre uma viga de concreto em forma de anel com 4,5 metros de profundidade e 7 metros de largura (NÁPOLES NETO, 1998, p. 24).

Por volta do século XVIII, surge o primeiro estudioso da época, Vauban, onde seu trabalho em que “visualizou a conjunção de ações entre solo e estrutura de retenção”, este, servindo de base para a mecânica de solos que conhecemos atualmente.

Vale destacar também que neste período estudos importantes para o progresso da mecânica dos solos foram realizados por Collin, Rankine e Darcy, os dois primeiros sobre a coesão do solo e o ângulo de repouso ou atrito, já Darcy pelo estudo da percolação de agua e permeabilidade do solo (NÁPOLES NETO, 1998, p. 24).

A partir de 1820, na Inglaterra com o descobrimento do cimento Portland e o concreto armado por Monier na França em 1848, sendo estes materiais utilizados nas fundações de pontes e de grandes edifícios possibilitando desta forma cargas cada vez maiores nas fundações, contudo neste sentido proporcionou uma grande evolução na engenharia de fundações (NÁPOLES NETO, 1998, p.25).

Na fase contemporânea, segundo Nápoles Neto (1998), surgiu o pai da mecânica dos solos, Karl Terzaghi, onde através de seus estudos apresentou de forma mais clara os conceitos de tensão e deformação nos solos, também as propriedades de

compressibilidade, adensamento e permeabilidade nos solos (como percolação e capilaridade). Terzaghi publicou em 1925 “*Principles of Soil Mechanies*”, desta forma estabelecendo a engenharia de fundações, estudada por vários pesquisadores ao longo dos anos até os dias atuais.

1.2.2 Conceitos e Características

O termo fundação é definido como ato de apoiar, firmar, ou ainda, a parte de um elemento estrutural que transmite ao solo as cargas provenientes da estrutura, (CAPUTO 1997). Bell (1985) defini como inicio dos trabalhos estruturais, em que, parte da estrutura é apoiada diretamente no solo e transmitindo cargas a este. Salienta ainda que “uma fundação deve distribuir e transmitir as cargas permanentes e dinâmicas da superestrutura para o substrato de solo”.

Bell (1985) menciona alguns aspectos importantes para a escolha do tipo de fundação:

> A escolha do tipo mais adequado de fundação para uma estrutura depende da profundidade em que se encontra a camada portante, das dimensões da sapata que seja compatível com o carregamento no solo, da capacidade de carga e homogeneidade do solo e ainda do tipo de superestrutura em analise (BELL, 1985, p. 1).

A escolha de uma fundação para determinada construção deve-se levar em consideração a segurança e economia da obra, porém existem alguns elementos a ser considerada como, proximidades de outras edificações e suas fundações, resistência e características do subsolo, grandeza das cargas da superestrutura e limitação dos tipos de fundação existente no mercado (ALONSO, 2010, p. 117).

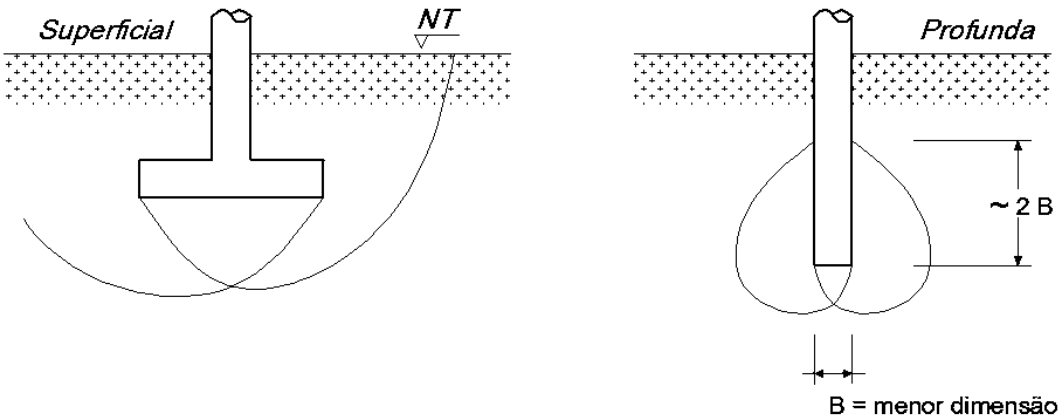
Rebello (2008) recomenda o parecer de um consultor de solos em situações mais complexas e que podem gerar dúvidas na escolha de uma fundação, pois este profissional pode apresentar soluções mais segura e econômica.

1.3 CLASSIFICAÇÃO DAS FUNDAÇÕES

Uma fundação pode ser classificada de acordo com sua profundidade, e o modo de transferência de carga da estrutura para o solo.
Segundo a norma NBR 6122 (2010), existem dois tipos de fundação: a profunda e a rasa ou superficial, sendo esta ultima o foco deste trabalho. Salienta ainda que fundações rasas são elementos de fundação que transmitem a carga ao terreno através das tensões distribuídas em sua base, e as fundações profundas são elementos de fundação em que a transmissão de carga ao terreno é realizada pela sua base e superfície lateral, e que a profundidade de assentamento esteja no mínimo 3 m e superior ao dobro de sua menor dimensão em planta.

De acordo com Velloso e Lopes (2010), a distinção entre uma fundação direta e uma fundação profunda, é que esta ultima o mecanismo de ruptura interno atinge a partir de sua base uma altura duas vezes sua menor dimensão.

FIGURA 1 - Fundação superficial e profunda



FONTE: Adaptado de Velloso e Lopes (2012)

1.3.1 Fundações Superficiais ou Rasas

Uma fundação superficial é aquela em que as cargas provenientes da superestrutura são transmitidas ao solo, ou seja, as tensões são distribuídas sob a base do elemento estrutural de fundação. Uma fundação em sapata é um bom exemplo de fundação superficial ou rasa (AOKI & CINTRA, 2003, p. 1).

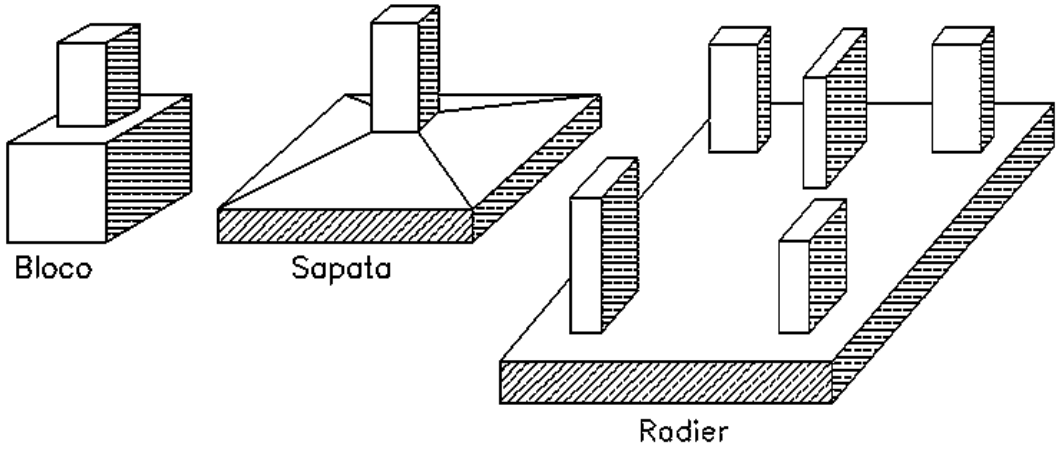
A norma NBR 6122(2010), cita os diversos tipos de fundações rasas existentes:

- Bloco: elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração nele resultantes possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura.

- Sapata: elemento de fundação superficial em que as tensões de tração resultantes sejam resistidas por armaduras especialmente dispostas em sua base. Podem ser subdivididas em: Sapata associada (quando existe concentração de carga de vários pilares em uma mesma sapata), sapata corrida (quando uma das dimensões é muito maior que outra, suporta carga distribuída linearmente), e sapata isolada (suporta carga de apenas um único pilar).

- Radier: elemento de fundação superficial que recebe e suporta todas as cargas (pilares) de uma estrutura.

FIGURA 2 - Tipos de fundações superficiais



FONTE: Adaptado Velloso e Lopes (2012)

1.3.2 Fundações Profundas

Fundação profunda transmite a carga proveniente da superestrutura através do atrito entre seu corpo e o solo (resistência por atrito) e a resistência de sua ponta, estando a profundidade superior de 2m e, numero de golpes (SPT) igual ou maior a 8 (REBELLO, 2008, p. 69).

Conforme a norma NBR 6122 (2010), a fundação profunda transmite a carga ao solo pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência do fuste) ou

por uma combinação entre ambas, sendo esta assentada a uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta e, no mínimo, a 3m.

As Estacas e os Tubulões são os principais tipos de fundações profundas segundo a norma NBR 6122 (2010), que as define:

- Estacas: elemento de fundação executado somente por equipamento ou ferramentas, e durante sua execução não haja descida de operários. Os materiais utilizados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in loco* ou pela combinação dos anteriores.

- Tubulão: tipo de fundação em que durante sua execução, pelo menos em alguma fase há descida de operários para sua execução, ou para o alargamento de base, ou da limpeza do fuste, visto que neste tipo de fundação as cargas são transmitidas predominantemente pela ponta.

As estacas podem ser classificadas segundo o material e conforme o processo executivo, sendo este ultimo, leva em consideração o efeito provocado por sua execução no solo (ou tipo de deslocamento) e subdivide-se em: Estaca de deslocamento, onde estariam as estacas cravadas em geral (pré-moldadas de concreto ou aço, frank) neste caso o solo é deslocado horizontalmente dando lugar a estaca, e a estaca de substituição, onde estariam as estacas escavadas em geral (escavadas sem revestimentos, strauss e hélice contínua), sendo o solo removido e dando lugar a estaca (VELLOSO e LOPES, 2012, p.227).

1.4 FUNDAÇÕES EM SAPATAS

Sapatas são elementos de fundação superficial em concreto armado, apresentam uma altura reduzida comparado com sua base e caracteriza-se principalmente por trabalhar a flexão. São destinadas a suportar cargas pontuais (pilares), ou lineares (paredes, muros), podendo também suportar cargas de dois ou mais pilares (ALONSO, 2010, p. 3).

Segundo a norma NBR 6122 (2010) sapatas são elementos de fundação superficial, em concreto armado, dimensionadas de modo que as armaduras tem a função de resistir as tensões de tração.

1.4.1 Classificação das Sapatas

1.4.1.1 Quanto a rigidez

Quanto a rigidez, a norma NBR 6118 (2014) classifica uma sapata como rígida ou flexível, deste que, atenda às seguintes expressões:

$$\text{Sapata rígida: } \mathrm{h} \geq \frac{B-b}{3} \qquad \text{(Eq. 01)}$$

$$\text{Sapata flexível: } \mathrm{h} < \frac{B-b}{3} \qquad \text{(Eq. 02)}$$

Onde:

h - Altura da sapata;
B - Dimensão da sapata em uma determinada direção;
b - Dimensão do pilar na mesma direção;

Sapatas flexíveis embora de uso mais raro, sendo utilizadas em fundações sujeitas a pequenas cargas e solos respectivamente fracos. Apresentam comportamento estrutural de uma peça fletida, trabalhando à flexão nas duas direções. Portanto, dimensionadas ao momento fletor e força cortante, sendo necessária a verificação de punção, pois este fenômeno é mais critico em relação as sapatas rígidas.

Sapatas rígidas são normalmente empregadas em solos de boa resistência em camadas próximas a superfície. Para o seu dimensionamento da armadura de flexão nas duas direções, utiliza-se o método de bielas e tirantes, ou, quando for o caso, o método de flexão. O esforço cortante deve ser verificado, pois pode ocorrer ruptura por compressão diagonal do concreto na ligação sapata-pilar, a ser verificada conforme a NBR 6118 (2014, item 19.5.3.1). Não há possibilidade física do

fenômeno de punção, pois a sapata rígida fica inteiramente dentro do cone de punção.

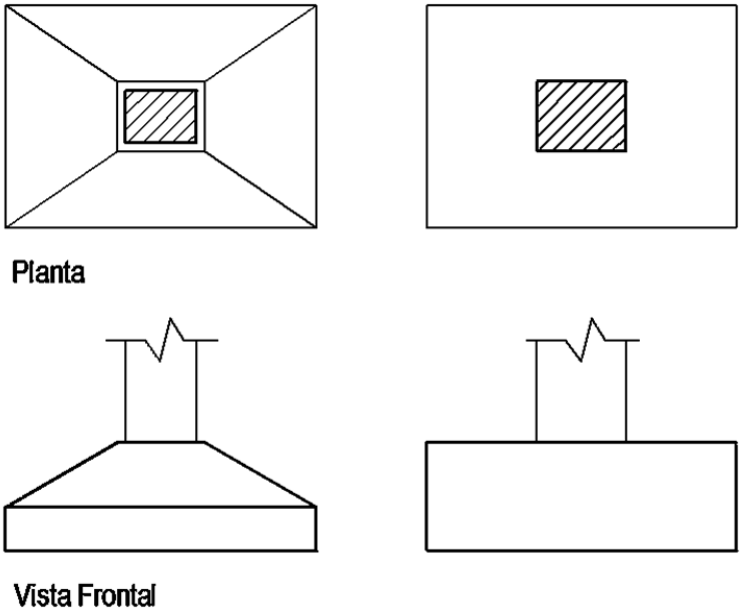
1.4.1.2 Quanto à forma

Segundo Rebelo (2008), quanto à forma, as sapatas podem ser classificadas em vários tipos.

Sapata isolada:

Suportam a carga de um único pilar, distribuída pela área de contato com o solo, sendo suas dimensões determinadas pela carga aplicada e resistência do solo.

FIGURA 3 - Sapata isolada



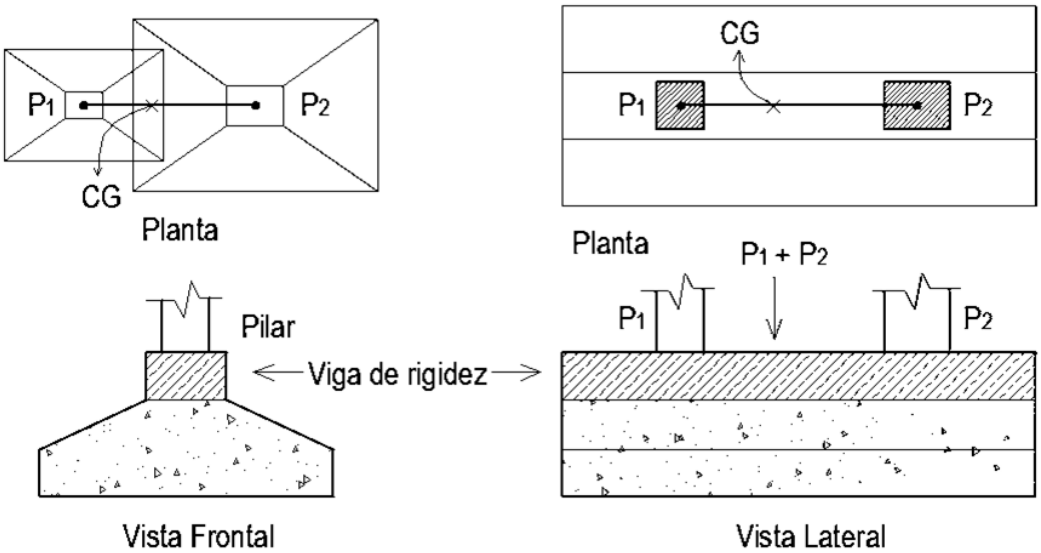
FONTE: Carvalho, 2015

Sapata associada:

Resistem a carga de dois ou mais pilares, porém é necessário que o centro de gravidade da carga e sapata seja coincidente, ou seja, o mesmo, para que haja uma distribuição uniforme de tensão no solo. São empregadas quando não é possível a

utilização de sapatas isoladas para cada pilar, por estarem muito próximo entre se, o que resultaria na sobreposição de suas bases em planta.

FIGURA 4 - Geometria da sapata associada



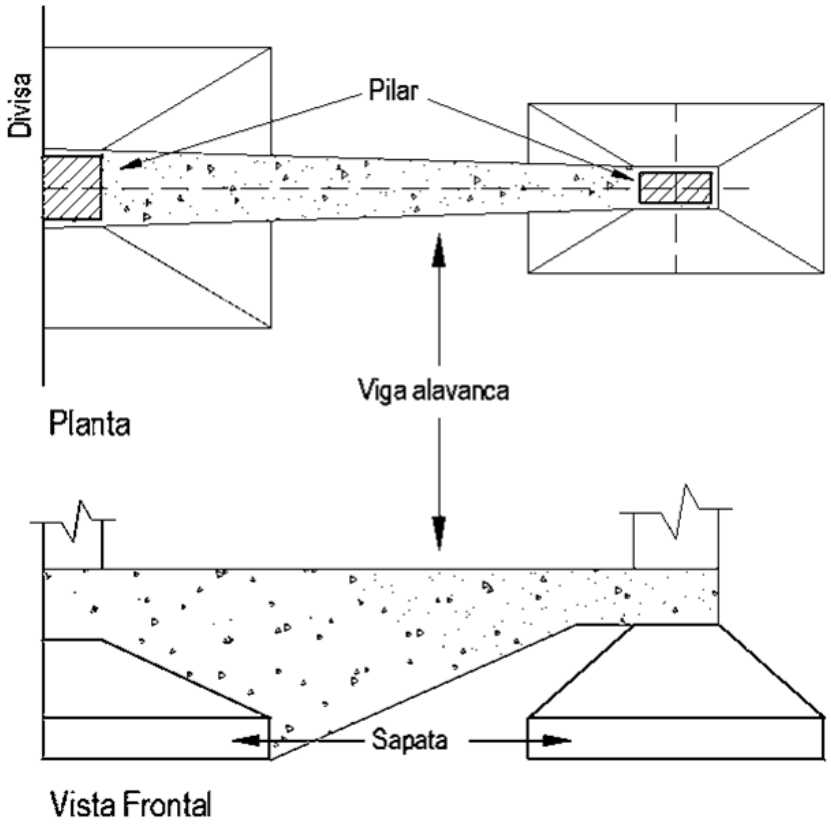
FONTE: Carvalho, 2015

<u>*Sapata em divisa*</u>:

Suportam a carga de apenas um pilar de forma excêntrica, ou seja, fora do centro de gravidade da sapata, provocando desta forma uma distribuição não uniforme de tensão no solo e também gerando momento fletor no pilar. Quando a sapata perde rigidez, ou seja, a transmissão das tensões não atinge toda a extensão da sapata, desta forma como alternativa pode lançar mão da viga de equilíbrio.

A viga de equilíbrio tem a função de receber e transmitir a carga vertical do pilar para o centro de gravidade da sapata de divisa, portanto, resistir aos esforços provocados pela excentricidade da carga do pilar em relação ao centro da sapata.

FIGURA 5 - Sapata com viga de equilíbrio



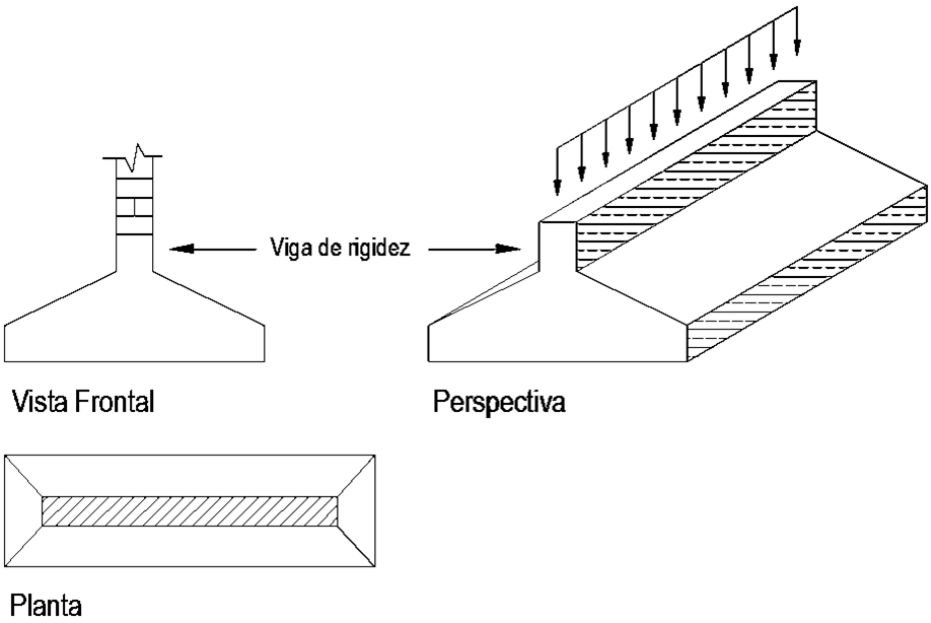
FONTE: Carvalho, 2015

Sapata corrida:

Suportam cargas linearmente distribuídas em que uma das dimensões, o comprimento, é muito maior que à outra, a largura.

O seu comportamento é idêntico a uma laje, com balanços nas duas faces separadas por parede ou viga de rigidez, quando existirem.

FIGURA 6 - Sapata corrida sob carregamento linear distribuído



FONTE: Carvalho, 2015

1.4.2 Sapata Isolada

As sapatas isoladas podem ter altura constante ou variável, proporcionando desta forma uma economia de material. Tais sapatas podem apresentar bases quadradas, retangulares ou circulares. Além disso, em geral, possui uma rigidez elevada e tem a preferência nos projetos de fundação superficial (VELLOSO e LOPES, 2011, p. 132).

Segundo Alonso (2010) o dimensionamento das sapatas isoladas podem sofrer algumas alterações, devido a possíveis excentricidades geradas pelo posicionamento da carga sobre a sapata.

1.4.2.1 Sapata sob carga centrada

Sapata isolada, submetida a esforço vertical centrado, devem ser adotados critérios para o seu dimensionamento, em forma de roteiro.

a) O centro de gravidade do pilar e da sapata devem ser coincidentes;

b) Nenhum lado da sapata deve ser menor que 60 cm;

c) Sempre que possível respeitar a relação a/b ≤ 2,5;

d) O peso próprio da sapata é pouco significativo, desta forma pode ser desprezado;

e) Os valores a e b devem ser escolhidos de forma que os balanços da sapata sejam iguais nas duas direções;

f) Não havendo limitação de espaço, a forma da sapata pode ser quadrada, sendo assim seus lados iguais ($a = b$);

g) Para o caso de pilar com seção transversal retangular, a forma da sapata fica condicionada à forma do pilar, devem satisfazer a seguinte condição (Equação 3), conforme figura 7.

$$\mathrm{a} - \mathrm{b} = \mathrm{a}_0 - \mathrm{b}_0$$

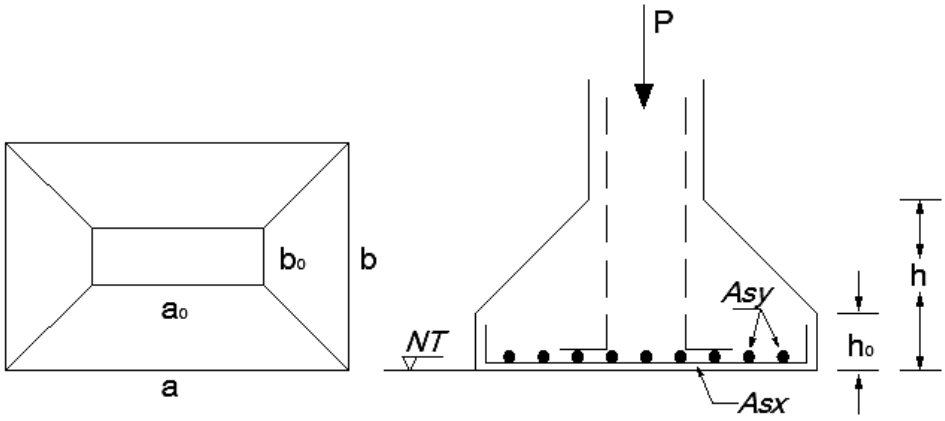
(Eq. 03)

Onde:

a - Maior lado da sapata;
a_0 - Maior lado do pilar;
b - Menor lado da sapata;
b_0 - Menor lado do pilar;

De acordo com Bastos (2012), a altura da base da sapata (h_0), deve ser igual ou superior a 20 cm ou 1/3 a altura da sapata (h). Além disso, Alonso (2010) recomenda que entre a sapata e o solo seja colocada uma camada de concreto magro de 5 cm.

FIGURA 7- Dimensão da sapata isolada



FONTE: Carvalho, 2015

1.4.2.2 Dimensionamento estrutural

Os dimensionamentos estruturais de sapata isolada podem ser realizados pelo método das bielas, proposto por Alonso (2010), onde definem as seguintes equações para o dimensionamento:

- Área da base (A_{SAP}), em sapatas isoladas, pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$A_{sap} = a \times b = \frac{P}{\sigma_{adm}} \qquad \text{(Eq. 04)}$$

Onde, P representa a carga do pilar (KN) e, σ_{adm} a tensão admissível do solo (MPa)

- Altura útil da sapata (d), empregando a seguinte expressão:

$$d \geq \begin{cases} \dfrac{a - a_0}{4} \\ \dfrac{b - b_0}{4} \\ 1{,}44\sqrt{\dfrac{P}{\sigma_c}} = \text{ em que } \sigma_c = 0{,}85\,\dfrac{F_{CK}}{1{,}96} \end{cases} \quad \text{adota-se o maior valor} \qquad \text{(Eq. 05)}$$

Em que, F_{CK} é o valor característico da resistência à compressão do concreto, P a carga atuante na sapata e σ_c a tensão resistente do concreto.

- Tensão de tração das armaduras nas direções dos eixos x e y, respectivamente:

$$T_x = \frac{P(a - a_0)}{8d} \text{ e } T_y = \frac{P(b - b_0)}{8d} \qquad \text{(Eq. 06)}$$

Onde:

Tx - Força de tração na direção x;
Ty - Força de tração na direção y;
d - Altura útil da sapata;
P - Carga do pilar;
$(a - a_0)$ - Distancia do lado da sapata na direção x;
$(b - b_0)$ - Distancia do lado da sapata na direção y;

- Área da armadura necessária para resistir os esforços de tração.

$$A_{sd} = \frac{1{,}61T_d}{F_{yk}} \qquad \text{(Eq. 07)}$$

Onde:

A_{sd} - Área da armadura na direção considerada;
T_d - Força de tração na direção considerada;
F_{yk} - Tensão de escoamento do aço.

Também segundo Alonso (2010) o volume de concreto das sapatas, desprezando o volume de concreto do pilar que nesta nasce, pode ser calculado conforme a expressão seguinte:

$$V = A_{SAP} * h_0 + \frac{A_{SAP}(H - h_0)}{3} - A_{PILAR} * H \qquad \text{(Eq. 08)}$$

Onde:

A_{SAP} - Área da sapata;
A_{PILAR} - Área do pilar;
H - Altura da sapata;
h_0 - Altura da base da sapata.

Segundo a NBR 6118/2014, recomenda a verificação da ruptura por compressão diagonal do concreto na ligação sapata-pilar, onde $\sigma_{sd} < \sigma_{Rd2}$. Como segue:

- Tensão atuante de cisalhamento (σ_{sd})

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{sd}}{U_0 * d} \qquad \text{(Eq. 09)}$$

Onde:

σ_{sd}- Tensão atuante de cisalhamento em MPa;
F_{sd}- Força concentrada de calculo ($F_{sd} = N * \gamma_f$), onde, N representa a carga atuante e γ_f fator de majoração igual a 1,4;
U_0- Perímetro do pilar;
d- Altura útil da sapata;

- Tensão resistente de compressão diagonal (σ_{Rd2})

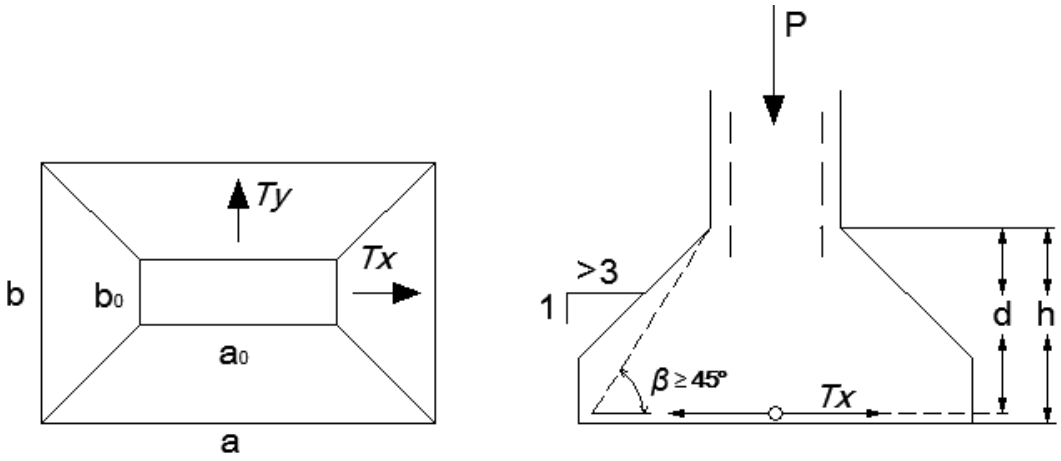
$$\sigma_{Rd2} = 0{,}27(1 - \frac{F_{CK}}{250\ (MPa)})F_{cd} \qquad \text{(Eq. 10)}$$

Onde:

σ_{Rd2}- Tensão resistente de compressão diagonal;
F_{CK} - Resistencia característica do concreto a compressão em MPa;
F_{cd} - Resistencia de calculo do concreto a compressão ($F_{CK}/1{,}4$) em MPa;

As tensões de tração na base da sapata, são provenientes da carga atuante, dimensões do pilar e sapata, e também da altura útil da sapata, onde estas tensões devem ser resistidas pelas armaduras nas duas direções (BASTOS, 2012, p. 30). A Figura 08 ilustra as tensões atuantes na sapata isolada.

FIGURA 8 - Tensões atuantes na sapata rígida



FONTE: Carvalho, 2015

1.5 FUNDAÇÃO EM RADIER

A norma NBR 6122 / 2010 define radier como “elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos”.

Segundo Velloso & Lopes (2011), a fundação do tipo radier é empregada quando:

- deseja-se uniformizar os recalques;
- as áreas das sapatas se sobrepõem umas das outras, ou quando a área destas for superior à metade da área da construção.

Bell (1985), ainda salienta que em locais onde o solo tem baixa capacidade de carga, ou reduzir os recalques diferencias, a fundação em radier é a solução economicamente viável.

O radier é uma laje de concreto armado, constituindo-se em um único elemento de fundação, em que as cargas provenientes dos pilares ou paredes estruturais, são transmitidas uniformemente ao solo pela área da base do radier (REBELLO, 2008, P. 66).

Segundo o ACI 360R-92 (1997, apud ALMEIDA, 2001, p. 5), o radier é uma laje contínua resistida pelo solo, sendo a carga total uniformemente distribuída for menor ou igual a 50% a resistência admissível do solo. A laje pode apresentar espessura variável ou uniforme, e pode conter elementos enrijecedores (nervuras ou vigas). “A laje pode ser de concreto simples, concreto reforçado ou concreto estrutural”. Além disso, o aço utilizado tem o objetivo de conter os efeitos de retração e temperatura ou carregamento estrutural.

Na construção civil brasileira há um mito de que a fundação em radier é mais onerosa do que o sistema de fundação em vigas baldrame e estacas. Este mito era verdade há décadas atrás, quando o concreto usinado era de difícil acesso, o que não condiz com o tempo atual, sendo assim, o radier hoje pode ser executado de forma mais econômica. Além disto, proporciona uma plataforma estável para o restante da estrutura (ALMEIDA, 2001, p. 2).

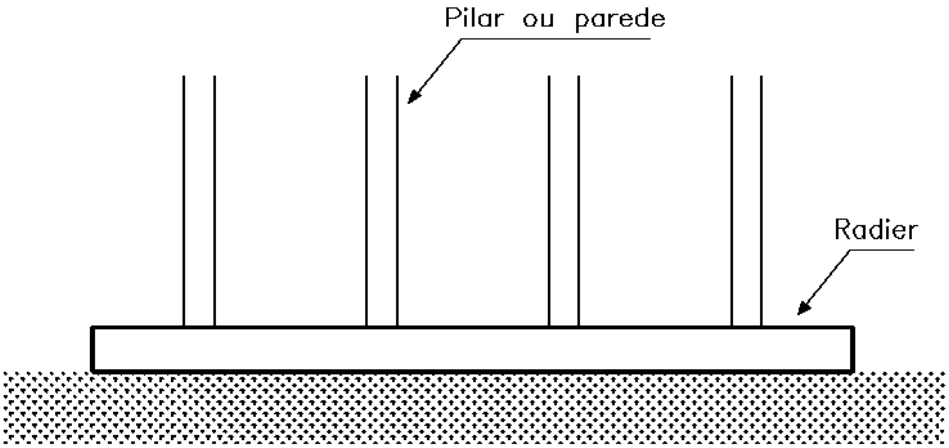
1.5.1 Classificação dos Radiers

De acordo com Dória (2007), quanto a forma os radiers podem ser classificados em quatro tipos:

Radier liso:

Tem vantagem de ser executado de forma simples, e pode ser aproveitado como contra piso. Este é um tipo de radier muito utilizado para habitações populares, de forma econômica e segura.

FIGURA 9 - Radier liso

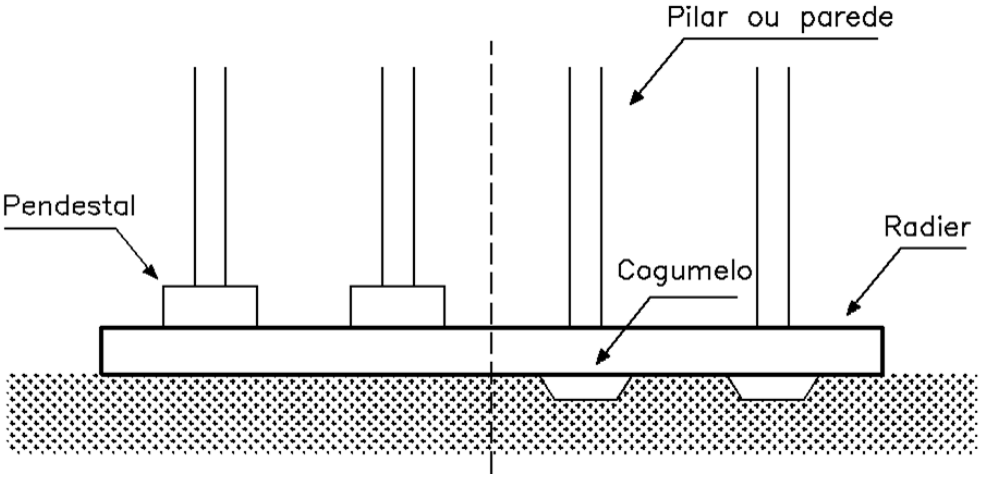


FONTE: Adaptado de Dória 2007

Radier com pedestais ou cogumelos:

Aumenta a espessura na base dos pilares, desta forma, melhora a resistência a flexão e ao cisalhamento. Os pedestais podem estar na parte superior ou inferior do radier , sendo este ultimo a vantagem de aproveitar a superfície como contra piso.

FIGURA 10 - Radier com pedestal ou cogumelo



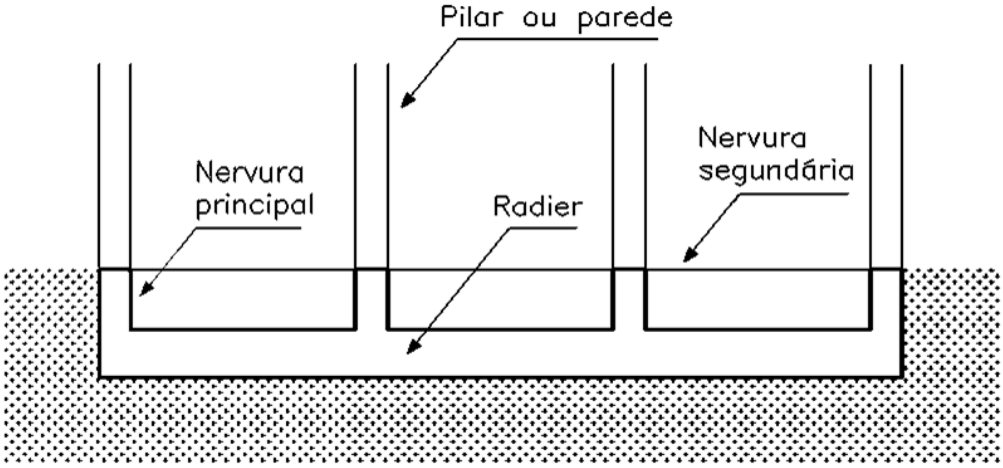
FONTE: Adaptado de Dória 2007

Radier nervurado:

Constrói-se com nervuras (principal ou secundária), interligando todos os pilares da estrutura, podendo ser superiores ou inferiores. As nervuras inferiores é executada

no momento da escavação, e a nervura superior sobre a laje, sendo necessário o preenchimento para deixar o piso nivelado.

FIGURA 11 - Radier nervurado



FONTE: Adaptado de Dória 2007

Radier em caixão:

Utiliza-se com o objetivo de aumentar sua rigidez e pode ser executado em vários níveis.

FIGURA 12 - Radier em caixão

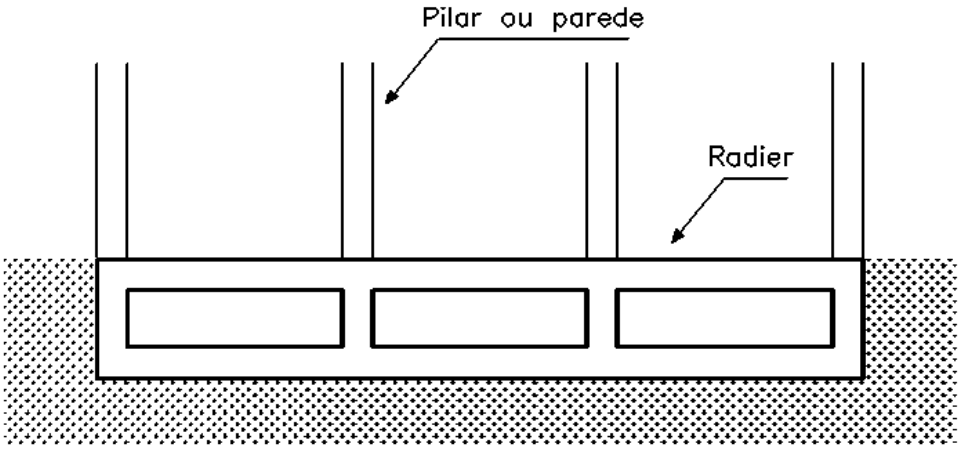


FIGURA 12 – Radier em caixão: Adaptado de Dória 2007

Os tipos listados de radier anteriormente estão em ordem crescente de rigidez, e espessura pode variar entre 0,15m a 2m, dependendo do tipo empregado.

1.5.2 Recomendações Construtivas

Atualmente, considerando a situação da construção civil brasileira, a fundação do tipo radier recebe pouca atenção, nem na fase de projeto tampouco em sua fase de execução, contudo, as recomendações que poderiam evitar vários problemas são simplesmente ignoradas (ALMEIDA, 2001, p. 1).

De acordo com Dória (2007), uma das decisões mais importante do projeto é sem dúvida a definição das dimensões e disposição estrutural, salvo a existência de fatores ou experiência previa que podem delimitar as possibilidades de projeto.

Ainda segundo Dória (2007), há vários fatores importantes que devem ser considerados antes da execução da fundação como o tipo de solo, a uniformidade da base, a qualidade do concreto, o tipo de juntas e o acabamento de sua superfície. Porém um fator de grande importância, é a capacidade de carga do solo, no qual, suas características e propriedades devem ser conhecidas para o dimensionamento.

A resistência do solo é uma das propriedades mais importantes para o desempenho de fundação do tipo radier. Esta resistência é diretamente influenciada pelo grau de compactação e teor de umidade do solo. O Processo de compactação do solo melhora as propriedades mecânicas do solo (DÓRIA, 2007, p. 6).

De acordo com Dória (2007), para se alcançar um bom desempenho, neste tipo de fundação, durante sua execução devem ser observados os seguintes cuidados:

- o solo deve estar nivelado e compactado;

- deve-se delimitar a área do radier, através de formas com altura estabelecida em projeto;

- as tubulações elétricas e hidro sanitárias já devem estar posicionadas no solo antes da concretagem;

- deve-se colocar uma manta plástica após as instalações, para isolar o terreno do concreto.

1.5.3 Parâmetros de Dimensionamento

Velloso e Lopes (2011), relatam que na interação solo-fundação, o coeficiente de reação vertical (K_V), utilizado para simular a rigidez da mola que representa o solo, pode ser calculado levando em consideração a hipótese de Winkler, em que as pressões de contato (q_s) solo-estrutura são proporcionais aos recalques (W).

$$q_s = K_v\, W \qquad \text{(Eq. 11)}$$

Este parâmetro pode ser obtido de diversas maneiras através de correlações, cálculos e ensaios realizados com o solo disponível, ensaio de placa. Na falta destes ensaios, podem ser aplicadas, tabelas de valores típicos ou correlações empíricas (VELLOSO e LOPES, 2011, p. 127).

Salientam ainda que o coeficiente de reação vertical pode ser estimado através do recalque da fundação, desta forma, determina-se o recalque (W) das camadas do solo e calcula-se o coeficiente de reação, por meio da seguinte relação:

$$K_V = \frac{q_s}{W} \qquad \text{(Eq. 12)}$$

Onde q_S é a pressão de contato aplicada no solo, calculada pelo somatório das forças verticais dividida pela área de contato, conforme mostrado na equação 10.

$$q_s = \frac{\sum V}{A} \text{ em MPa} \qquad \text{(Eq. 13)}$$

Para a estimativa de recalque, Hachich (1992 apud DÉCOURT, 1998, p.257), fornece uma relação através do número de golpes do ensaio de SPT, expresso pela seguinte equação:

$$\mathrm{W} = 27 \times \frac{q_s B^{0,7}}{\mathrm{Nspt}} \qquad \text{(Eq. 14)}$$

Onde:

W - Recalque em cm;
B - A menor dimensão em planta (m);
q_S - Pressão de contato aplicada no solo em MPa;
Nspt - Número de golpes em ensaio de SPT;

Na falta de ensaios de laboratório para valores de coeficiente de reação vertical ($\mathrm{K_V}$) Béton-Kalender (1962, apud MORAES, 1976) recomenda-se usar os valores da tabela 1.

Tabela 1 - Valores de Kv segundo o tipo de solo

Valores de K_v em (kgf/cm³)	
Turfa leve – solo pantanoso	0,5 - 1,0
Turfa pesada – solo pantanoso	1,0 - 1,5
Areia fina de praia	1,0 - 1,5
Aterro de silte, de areia e cascalho	1,0 - 2,0
Argila molhada	2,0 - 3,0
Argila úmida	1,0 - 5,0
Argila seca	1,0 - 8,0
Argila seca endurecida	10
Silte compactado com areia e pedra	8,0 - 10,0
Silte compactado com areia e muita pedra	10,0 - 12,0
Cascalho miúdo com areia fina	8,0 - 12,0
Cascalho médio com areia fina	10,0 - 12,0
Cascalho grosso com areia grossa	12,0 - 15,0
Cascalho grosso com pouca areia	15,0 - 20,0
Cascalho grosso com pouca areia compactada	20,0 - 25,0

FONTE: BÉTON – KALENDER (1962, apud MORAES, 1976)

1.6 CAPACIDADE DE CARGA EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

A capacidade de carga das fundações superficiais, segundo Aoki & Cintra (2014), consiste na aplicação gradativa de uma força vertical de compressão no topo do elemento isolado de fundação por sapata, desta forma gerando tensões na base da fundação e provocando o surgimento de uma superfície potencial de ruptura no interior do maciço do solo.

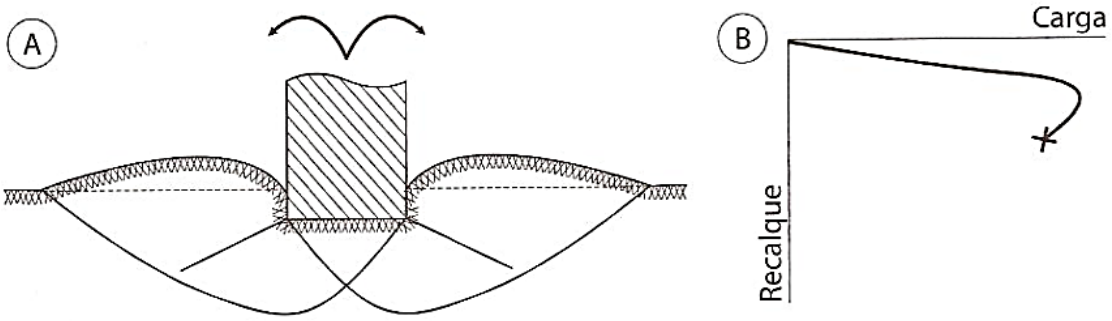
> Portanto, para uma sapata suficientemente resistente como peça estrutural de concreto armado, a capacidade de carga do elemento de fundação é a tensão que provoca a ruptura do maciço de solo em que a sapata está embutida ou apoiada. (AOKI & CINTRA, 2012, P.22).

1.6.1 Mecanismo de Ruptura

A capacidade de carga do sistema sapata-solo está associado um mecanismo de ruptura em função das características do solo. Há dois tipos característicos. No primeiro tipo, ruptura frágil, pode ocorrer o giro da sapata, levantando uma porção de solo na superfície do terreno. Já no segundo tipo, ruptura dúctil, ocorre o deslocamento considerado da sapata para baixo, sem desaprumar (AOKI & CINTRA, 2012, P.22).

Segundo Vesic (1975 apud AOKI & CINTRA, 2012, p. 23), o primeiro mecanismo denominado ruptura geral, caracteriza-se por ser súbita e catastrófica. Constitui-se por uma superfície de ruptura que vai da base da sapata até a superfície do terreno. Também ocorre o levantamento do solo na superfície do terreno. A ruptura geral ocorre em solos mais resistentes ou com baixo índice de compressibilidade. A Figura 13 ilustra o mecanismo de ruptura geral onde a carga atinge a ruptura para valores pequenos de recalque.

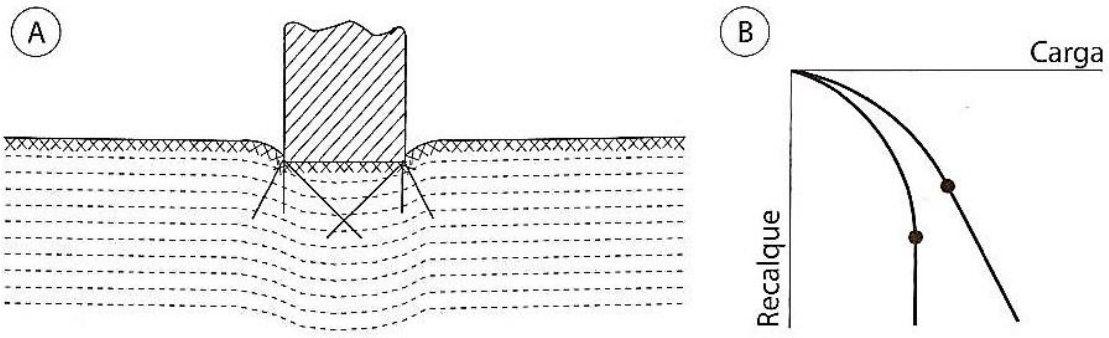
FIGURA 13 - Mecanismo de ruptura geral



FONTE: Vesic (1975 apud AOKI & CINTRA, 2012)

Já a ruptura por puncionamento referente ao segundo caso, ocorre nos solos menos resistentes ou muito compressíveis. Durante a aplicação da carga o elemento de fundação tende a afundar devido à compressão do solo subjacente. O solo externo praticamente não participa do processo, desta forma não a movimentação na superfície do terreno. A Figura 14 ilustra a ruptura por puncionamento.

FIGURA 14 - Mecanismo de ruptura por puncionamento



FONTE: Vesic (1975 apud AOKI & CINTRA, 2012)

Vesic (1975 apud AOKI & CINTRA, 2012, p. 25), também considera um terceiro caso, ruptura local, no qual ocorre em solos de média compacidade ou consistência, referente a areia mediamente compacta e argilas médias. Não apresenta um mecanismo típico de ruptura, e pode ser caracterizado como um caso intermediário dos dois tipos de ruptura citado anteriormente.

1.6.2 Teoria de Terzaghi

Para formular uma teoria de capacidade de carga do sistema sapata-solo, Terzaghi (1943), segundo Aoki & Cintra (2012), considera as seguintes hipóteses:

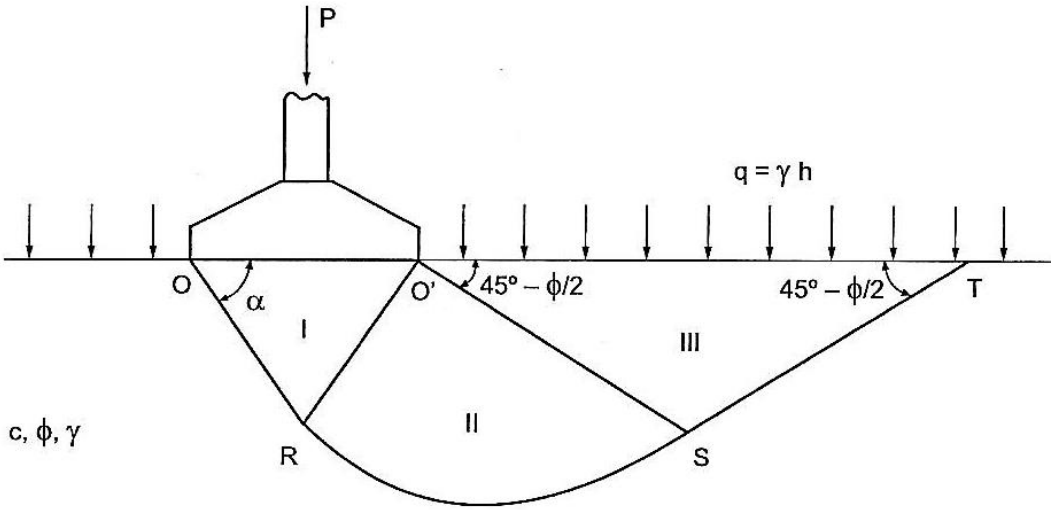
- Consideram sapata corrida, de comprimento bem maior que sua largura ($L \geq 5B$);

- A profundidade de embutimento é menor que a largura da sapata ($h \leq B$), com isso pode-se desprezar a resistência de cisalhamento do solo acima do nível de assentamento da sapata, substituindo-o por uma sobrecarga expressa por $q = \gamma h$;

- O solo na base da sapata é rígido, constituindo o caso de ruptura geral.

Desta forma, a esquematização do problema pode ser demonstrado na Figura 15, onde o trecho representado pelos pontos ORST determina a superfície potencial de ruptura.

FIGURA 15 - Superfície potencial de ruptura



FONTE: Terzaghi (1943 apud CINTRA e AOKI, 2012)

Segundo Terzaghi e Peck (1967 apud AOKI & CINTRA, 2012, p. 30), considerando a forma da sapata a capacidade de carga na ruptura geral é dada pela seguinte equação:

$$\sigma_r = C\,N_c\,S_c + q\,N_q\,S_q + \frac{1}{2}\gamma\,B\,N_\gamma\,S_\gamma \quad \text{equação geral} \qquad \text{(Eq. 15)}$$

Onde:

σ_r - Tensão de ruptura;

C - Coesão do solo;

q - Sobrecarga ($q = \gamma h$), onde h representa a profundidade de assentamento;

γ - Peso específico efetivo do solo na cota de apoio da sapata;

B - Menor dimensão da sapata;

N_c, N_q e N_γ - Fatores de capacidade de carga em função do ângulo de atrito (∅);

S_c, S_q e S_γ - Fatores de forma.

Para capacidade de carga na ruptura por puncionamento, Terzaghi (1943), segundo Aoki & Cintra (2012), propõe a mesma equação da ruptura geral, porém recomenda

a redução nos parâmetro de resistência do solo, coesão (c') e ângulo de atrito interno (Φ'), conforme equações a seguir:

$$C' = 2/3\ C \qquad \text{(Eq. 16)}$$

$$tg\emptyset' = 2/3\ tg\emptyset \qquad \text{(Eq. 17)}$$

Vesic (1975 apud AOKI & CINTRA, 2012, p. 33), recomenda que na equação geral de Terzaghi seja utilizado o fator de capacidade de carga (N_γ) de Caquot e Kérisel e também os fatores de forma De Beer. As tabelas 2 e 3 apresentam os fatores de capacidade de carga e de forma respectivamente.

Tabela 2 - Fatores de capacidade de carga

Φ^0	Nc	Nq	Ny	Nq/Nc	tgΦ	Φ^0	Nc	Nq	Ny	Nq/Nc	tgΦ
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00	**26**	22,25	11,85	12,54	0,53	0,49
1	5,38	1,09	0,07	0,20	0,02	**27**	23,94	13,20	14,47	0,55	0,51
2	5,63	1,20	0,15	0,21	0,03	**28**	25,80	14,72	16,72	0,57	0,53
3	5,90	1,31	0,24	0,22	0,05	**29**	27,86	16,44	19,34	0,59	0,55
4	6,19	1,43	0,34	0,23	0,07	**30**	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09	**31**	32,67	20,63	25,99	0,63	0,60
6	6,81	1,72	0,57	0,25	0,11	**32**	35,49	23,18	30,22	0,65	0,62
7	7,16	1,88	0,71	0,26	0,12	**33**	38,64	26,09	35,19	0,68	0,65
8	7,53	2,06	0,86	0,27	0,14	**34**	42,16	29,44	41,06	0,70	0,67
9	7,92	2,25	1,03	0,28	0,16	**35**	46,12	33,30	48,03	0,72	0,70
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18	**36**	50,59	37,75	56,31	0,75	0,73
11	8,80	2,71	1,44	0,31	0,19	**37**	55,63	42,92	66,19	0,77	0,75
12	9,28	2,97	1,69	0,32	0,21	**38**	61,35	48,93	78,03	0,80	0,78
13	9,81	3,26	1,97	0,33	0,23	**39**	67,87	55,96	92,25	0,82	0,81
14	10,37	3,59	2,29	0,35	0,25	**40**	75,31	64,20	109,41	0,85	0,84
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27	**41**	83,86	73,90	130,22	0,88	0,87
16	11,63	4,34	3,06	0,37	0,29	**42**	93,71	85,38	155,55	0,91	0,90
17	12,34	4,77	3,53	0,39	0,31	**43**	105,11	99,02	186,54	0,94	0,93
18	13,10	5,26	4,07	0,40	0,32	**44**	118,37	115,31	224,64	0,97	0,97
19	13,93	5,80	4,68	0,42	0,34	**45**	133,88	134,88	271,76	1,01	1,00
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36	**46**	152,10	158,51	330,35	1,04	1,04
21	15,82	7,07	6,20	0,45	0,38	**47**	173,64	187,21	403,67	1,08	1,07
22	16,88	7,82	7,13	0,46	0,40	**48**	199,26	222,31	496,01	1,12	1,11
23	18,05	8,66	8,20	0,48	0,42	**49**	229,93	265,51	613,16	1,15	1,15
24	19,32	9,60	9,44	0,50	0,45	**50**	266,89	319,07	762,89	1,20	1,19
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47						

FONTE: Adaptado de AOKI & CINTRA (2012)

Tabela 3 - Fatores de forma De Beer

Sapata	**S_c**	**S_q**	**S_y**
Corrida	1,00	1,00	1,00
Retangular	1+(B/L)(N_q/N_c)	1+(B/L)tgΦ	1 – 0,4(B/L)
Circular ou Quadrada	1+(N_q/N_c)	1+ tgΦ	0,60

FONTE: AOKI & CINTRA (2012)

1.6.3 Parâmetros Geotécnicos do Solo

Diversos autores apresentam correlações e métodos semi-empíricos e empíricos que permitem obter, de forma aproximada, com boa precisão, os parâmetros geotécnicos do solo. Na prática da engenharia, os parâmetros do solo, obtidos a partir do índice de resistência a penetração (N_{SPT}) da sondagem “Standard Penetration Test (SPT)”, são largamente utilizados na análise de problemas geotécnicos e no dimensionamento de elementos de fundação, em projetos de pequeno e médio porte e em anteprojetos de obras de maior vulto. (AOKI & CINTRA, 2014).

1.6.3.1 Coesão não drenada

A coesão não drenada do solo pode ser determinada através de ensaios de laboratórios, ou estimada de forma aproximada, em função do índice de resistência a penetração (N_{SPT}). Teixeira & Godoy (1996 apud AOKI & CINTRA 2014, p.45) sugere a seguinte equação.

$$C = 10\ N_{SPT}\ \text{em (KPa)} \qquad \text{(Eq. 18)}$$

1.6.3.2 Ângulo de atrito interno

Na falta de ensaios de laboratório (cisalhamento direto), para a adoção do ângulo de atrito interno da areia, determina-se de forma aproximada, através da sondagem de campo “Standard Penetration Test (SPT)”, com as correlações empíricas, com índice de resistência a penetração (N_{SPT}). Dentre elas:

- Godoy (1983 apud AOKI & CINTRA 2014, p.45).

$$\phi = 28^0 + 0.4N_{SPT} \quad \text{(Eq. 19)}$$

- Teixeira (1996 apud AOKI & CINTRA 2014, p.45).

$$\phi = \sqrt{20N_{SPT}} + 15^0 \quad \text{(Eq. 20)}$$

1.6.3.3 Peso específico do solo

Na ausência de ensaios de laboratório, pode-se adotar o peso específico a partir dos valores aproximados em função da consistência da argila correlacionada com a resistência do N_{SPT}, sendo este apresentado na tabela 4(AOKI & CINTRA, 2014, p.45).

Tabela 4 - Peso específico de solos argilosos

N_{SPT}	Consistência	Peso específico (KN/m^3)
≤ 2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

FONTE: Godoy (1972) apud Aoki & Cintra (2014)

1.6.4 Tensão admissível dos solos

As tensões nos solos são os esforços que solicitam um maciço de terra, provenientes de seu peso próprio, e de cargas aplicadas sobre ele. O conhecimento das tensões atuantes nos solos é de fundamental importância no entendimento do comportamento de praticamente todas as obras de engenharia geotécnica. (CAPUTO,2012).

> Tensão admissível é a tensão adotada em projeto que, aplicada ao terreno pela fundação superficial ou pela base do tubulão, atende com coeficiente de segurança predeterminados, aos estado-limites últimos (ruptura) e de serviço (recalque, vibrações etc.). Esta grandeza é utilizada quando se trabalha com ações em valores característicos (NBR 6122/2010, item 3.27).

De acordo com Aoki & Cintra (2014) a tensão admissível depende das dimensões da base das sapatas, dos parâmetros do solo, e da cota de assentamento da fundação.

Salienta ainda que para atender a determinação da norma NBR 6122 (2010, item 7.3 e 7.4), verificação do ELU e ELS, a tensão admissível pode ser determinada através dos seguintes métodos:

Métodos teóricos: São métodos encontrados na literatura de mecânica dos solos, formulados por vários autores, dentre eles estão as formulações de Terzaghi (1943), onde se calcula a tensão de ruptura do solo (σ_r), e se aplica um fator de segurança global (F_s=3,0), determinado pela NBR 6122/2010 (item 6.2.1.1.1).

$$\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_r}{3{,}0} \qquad \text{(Eq. 21)}$$

Métodos semiempíricos: São métodos baseados na estimativa de correlações, e aplicando formulas teóricas. Estas correlações são feitas em geral com valores do índice de resistência à penetração (N_{SPT}) do SPT ou da resistência de ponta (q_C) do CPT. Lembrado que as correlações empíricas e semiempíricos consagradas no meio técnico brasileiro, aplicadas com restrições aos projetos de fundações.

São muitas as maneira de se relacionar o N_{SPT} com a resistência do solo, para determinar a tensão admissível do solo (σ_{adm}), dentre elas, podemos citar varias correlações de diversos autores.

Alonso (2013) apresenta as seguintes correlações com o N_{SPT}, para determinar a tensão admissível (em MPa), empregadas para calculo das fundações superficiais (Eq.18) e fundações profundas (Eq.19), sem distinção de solo.

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50} \quad \text{(Eq. 22)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{30} \quad \text{(Eq. 23)}$$

com $Nspt \leq 20$

Caputo (2012), conclui com a tabela 5 as correlações de resistência N_{SPT}, com a consistência e parâmetros de resistência dos solos:

Tabela 5 - Parâmetros dos solos argilosos

ARGILA	**N_{SPT}**	**Tensão admissível (Kgf/cm^2)**	**Índice de consistência (IC)**	**Coesão não drenada (Kgf/cm^2)**
Muito mole	<2	<0,25	0	<0,10
Mole	2 - 4	0,25 – 0,50	0 – 0,25	0,10 – 0,25
Média	4 - 8	0,50 – 1,00	0,25 – 0,50	0,25 – 0,50
Rija	8 - 15	1,00 – 2,00	0,50 – 0,75	0,50 – 1,00
Muito rija	15 - 30	2,00 – 4,00	0,75 – 1,00	1,00 – 2,00
Dura	>30	4,00 – 8,00	>1,00	>2,00

FONTE: Caputo (2012), Rebello (2008), adaptada pelo autor.

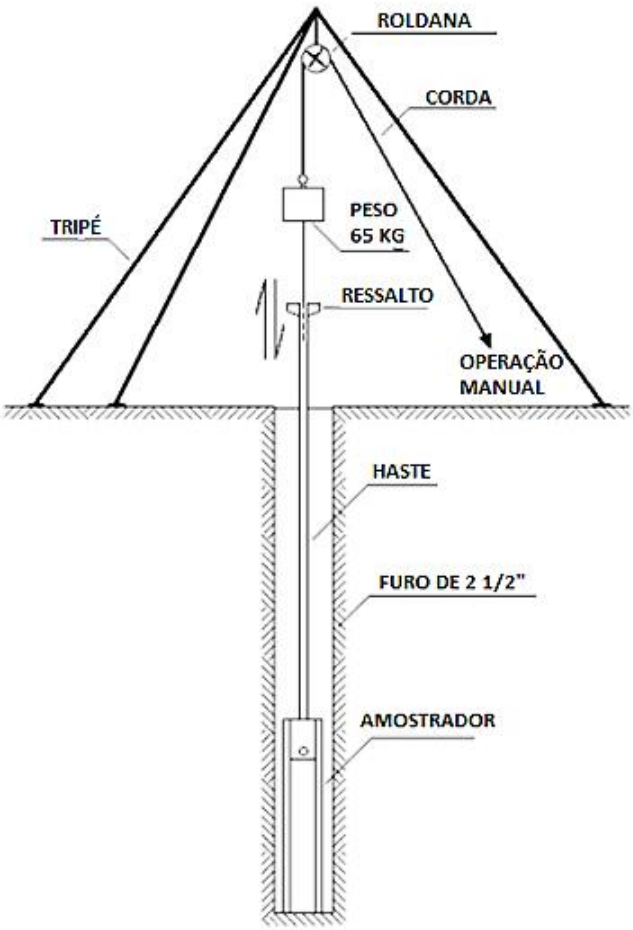
1.7 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO SPT (STANDARD PENETRATION TESTE)

O conhecimento das condições do subsolo em um determinado local é uma condição fundamental para a elaboração de projetos geotécnicos seguros e econômicos. Os tipos de ensaios dependem principalmente do tipo de estrutura (geometria, cargas e a importância), características gerais da obra e parâmetros de projeto. São dois os tipos de ensaios: ensaio de campo e ensaio de laboratório, sendo este último proporcionando resultados mais precisos e confiáveis, em contra partida o ensaio de campo possui um custo/beneficio melhor (BUDHU, 2013, p.134).

Salienta ainda, que o ensaio de campo SPT (Standard Penetration test.) é executado de forma simples e rápida, com o objetivo de identificar os tipos de solos e suas profundidades, posição do nível do lençol freático e o índice de resistência à penetração (N_{SPT}) a cada 1,5m. Os resultados são correlacionados com as propriedades da engenharia geotécnica, capacidade de carga e recalque de fundações.

> O SPT é realizado ao se cravar o amostrador padrão (bipartido) no terreno e se deixar cair um martelo de 63,5 kg (140 lb) de uma altura de queda de 760 mm (30 in). O número de golpes necessários para cravar o amostrador no solo, em intervalos de 152 mm (6 in), é registrado. A soma do número de golpes para os dois últimos intervalos de 152 mm (6 in) é o número do SPT (N) (BUDHU, 2013, p. 134).

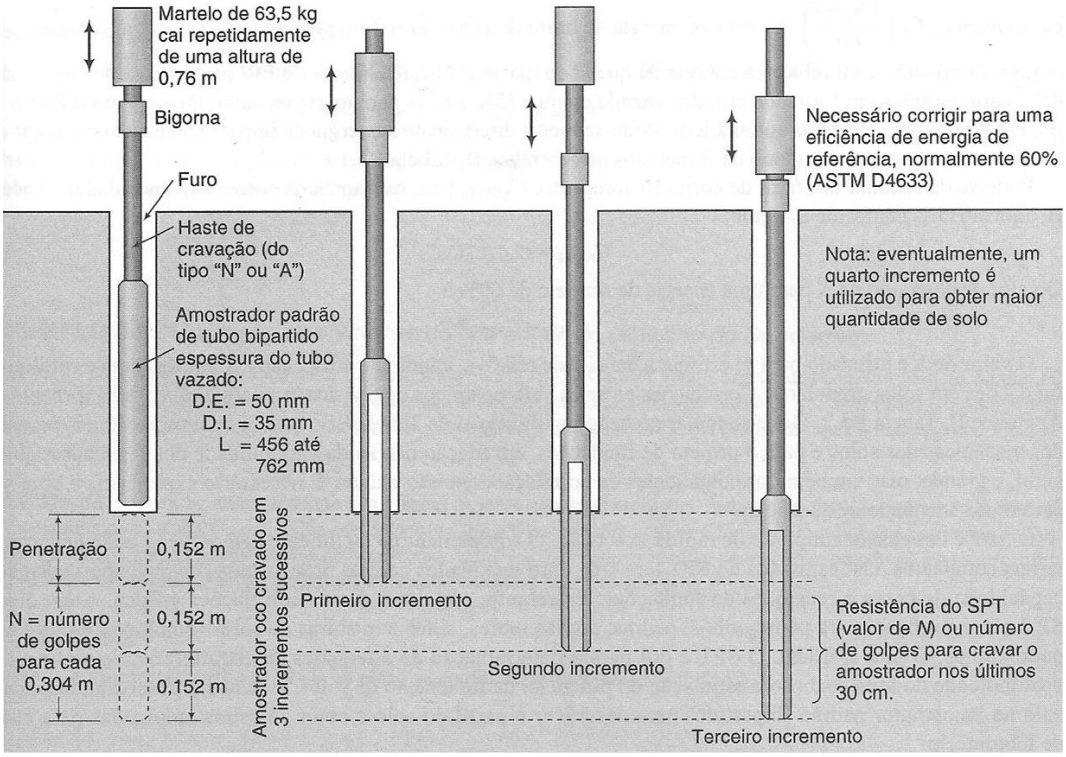
FIGURA 16 - Esquema do equipamento de sondagem SPT



FONTE: Pinto, 2013

Este processo é padronizado pela NBR 6484 (2001), em que prescreve todos os procedimentos para este ensaio. A figura 11 demonstra a sequencia de cravação em um SPT.

FIGURA 17 - Processo de cravação, em um SPT de acordo com ASTM D1586



FONTE: Budhu, 2013

Os pontos de sondagem e sua localização devem ser criteriosamente distribuídos na área em estudo, e dependem dos seguintes fatores: tipo da estrutura, e de suas características especiais bem como as condições geotécnicas do subsolo. A quantidade de furos, deve ser suficiente para fornecer um quadro, o melhor possível, da provável variação das camadas do subsolo do local em estudo de acordo com a norma NBR 8036 (1987). A profundidade mínima a ser explorada pela sondagem deve ser de 6m, a menos que se encontre rocha ou outro material muito compacto. (NBR 8036/1987), (BUDHU, 2013, p.130).

Vale ressaltar que o ensaio de campo SPT deve ser executado por empresas especializadas e profissionais treinados para que os resultados sejam confiáveis e seguros.

4 METODOLOGIA

1.8 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é de natureza especifica, desta forma pode ser classificada como um estudo de caso, pois se baseia em um modelo estrutural específico adotado, aplicação das normas específicas e a escolha do método de calculo com auxilio de tabelas e software para o dimensionamento da fundação.

Em relação ao objetivo proposto, é necessário dimensionar as fundações em radier liso e sapata isolada do modelo estrutural adotado e após mensurar os custos e consumo de materiais, para então, fazer uma analise dos resultados e explicá-los de forma quantitativa.

1.9 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em etapas para uma melhor compreensão do que será estudado. Primeiramente realizou-se os cálculos das cargas transmitidas as fundações, após este cálculo, determinou-se os dados geotécnicos do solo, capacidade de carga e tensão admissível do solo, a partir de ensaios em campo. Em uma segunda etapa, realizou-se o dimensionamento das fundações pelos métodos escolhidos para os dois tipos de fundações determinadas nesta pesquisa: fundação em sapata isolada e radier liso. Por fim, na terceira etapa realizou-se uma análise quantitativa e de custos empregados em cada tipo de fundação estudada, aonde se verificou qual o tipo de fundação apresentou melhor viabilidade econômica.

1.10 COLETA E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Para objeto de estudo, foi considerado como exemplo um edifício residencial de quatro pavimentos, tendo quatro apartamentos por andar. O modelo adotado neste trabalho é uma adaptação de um projeto arquitetônico já existente, em que teve sua

execução no município de Conselheiro Lafaiete, (arquivo cedido pelo Engenheiro Civil Eládio Jose Lopes).

O projeto adaptado para o estudo tem como concepção estrutural lajes, vigas e pilares em concreto armado. Para o fechamento foram utilizados tijolos cerâmicos vazados.

O cálculo das cargas nas fundações provenientes dos pilares da edificação, foi obtido através do lançamento do edifício modelo no programa de cálculo estrutural *Eberick V8 Gold*. Após o processamento da estrutura, modelo de pórtico espacial, foram utilizados os resultados gerados através da planta de locação e cargas máximas dos pilares.

Para análise do terreno de implantação do projeto adotou-se as informações contidas nos boletins de sondagem do solo, já existentes.

A capacidade de carga do solo para fundações rasas foi obtida através de métodos teóricos e formulações, proposto por Terzaghi. Com isso, determinou-se a tensão admissível do solo, utilizou-se também, correlações a partir do ensaio de investigação SPT (*Standard Penetration Test*) para determinar os parâmetros de resistência do solo, ângulo de atrito e coesão. De modo a simplificar o processo de dimensionamento, foram utilizadas tabelas formuladas no Software Microsoft Office Excel 2010.

As sapatas foram dimensionadas com base na tensão admissível determinada. Foram calculadas de acordo com o método das bielas e procedimentos, proposto por Alonso (2010). Para melhor entendimento e agilidade do processo de cálculo, produziu-se uma tabela com as formulas descritas no Software Microsoft Office Excel 2010. As vigas de fundação e pilares do pavimento térreo, foram calculados com auxilio do Software de calculo estrutural *Eberick V8 Gold*.

Para o dimensionamento do radier foram utilizados os mesmos resultados de tensão admissível determinada para fundação em sapata, este dimensionamento foi realizado pelo *software Eberick V8 Gold*. Após o dimensionamento do radier foi

possível quantificar o consumo de materiais, concreto, aço e formas necessários para sua execução.

1.10.1 Metodologia utilizada para a elaboração do orçamento

Foram elaborados orçamentos referentes às obras de fundação propostas, sapata isolada e radier liso para o edificio modelo estudado. Os orçamentos foram realizados com base nas composições de custos presentes no SETOP-MG, na vigência de junho de 2015, e SINAPI da Caixa Econômica Federal e IBGE, na vigência de agosto de 2015, ambos com preços de referência para o estado de Minas Gerais. Também serão utilizadas composições de custo da revista informador da construção (REV.I.C).

Não foram considerados nos orçamentos os serviços como impermeabilização, instalação de dutos de esgoto e água fria atrelados ao sistema de fundação, pois para tal serviços seria necessário um estudo complementar e mais aprofundado através de projetos adicionais.

Foram considerados os valores de Beneficios e Despesas Indiretas (BDI) nos orçamentos das estrutras de fundação propostas, no valor de 25% do total. Os orçamentos serão feitos por metro quadrado das fundações estudadas.

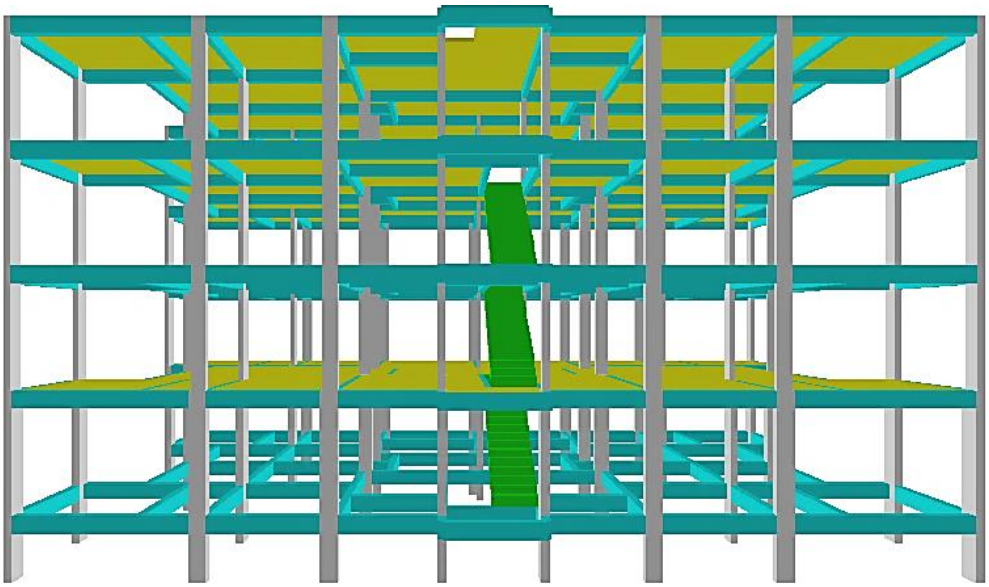
5 DIVULGAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

1.11 DEFINIÇÃO ESTRUTURAL

Para o estudo de caso proposto foi escolhido como exemplo um edifício modelo, sendo sua arquitetura apresentada no Anexo A. A edificação foi estruturada em concreto armado, e fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos vazados com área em planta igual a 227 m², e altura de piso a piso de 2,9 m.

A resistência do concreto à compressão foi adotado em 25 MPa (C-25) e a tensão de escoamento do aço das armaduras de 500 MPa (CA-50) para todos os elementos estruturais lajes, vigas, pilares. O sistema de fundação adotado para este lançamento foi em sapata isolada. A figura 18 mostra o lançamento estrutural do edifício em estudo.

FIGURA 18 - Desenho 3D da estrutura



FONTE: Carvalho, 2015

Foi consultada a norma NBR 6120/1980, para configurações das cargas acidentais em lajes e os respectivos pesos específicos dos materiais utilizados no lançamento da estrutura.

A estrutura é constituída por 32 pilares de 20 x 40 cm de seção transversal e 120 cm de comprimento, que ligam o pavimento térreo a fundação, apoiada em argila de consistência média.

Para os resultados das cargas máximas nas fundações, presente no Anexo A, foi observada uma semelhança entre as cargas dos pilares, devido à simetria da edificação, desta forma, estes pilares foram classificados e enquadrados em conjuntos, considerando o maior valor de carga entre eles.

A Tabela-6 classifica os conjuntos de pilares, conforme as cargas máximas aplicadas e apresenta a pressão média de compressão aplicada na base da fundação em radier (q_s).

Tabela 6 - Carga máxima na fundação

Pilar	**Carga de Fundação**	
	Seção (cm)	**Carga Máxima (KN)**
P1 = P4 = P29 = P32	20x40	189
P2 = P3 = P30 = P31	20x40	210
P5 = P17 = P19 = P28	20x40	404
P6 = P9 = P13 = P24 =P 27	20x40	319
P7 = P8	20x40	541
P10 = P20	20x40	292
P11	20x40	415
P12 = P22	20x40	489
P14 = P18 = P23	20x40	332
P15	20x40	360
P16	20x40	557
P21	20x40	433
P25 = P26	20x40	521
TOTAL N (KN)	11.254	
AREA Radier (m²)	279,4	
q_s = N/A (KN/m²)	40,28	

FONTE: Carvalho, 2015

1.12 ANÁLISE GEOTÉCNICA ADOTADA

O solo para qual será feito o dimensionamento das fundações é baseada nas informações obtidas no ensaio SPT, realizado em terreno localizado à Rua Dois, N° 150, bairro Ouro Verde, Conselheiro Lafaiete-MG, (ANEXO A).

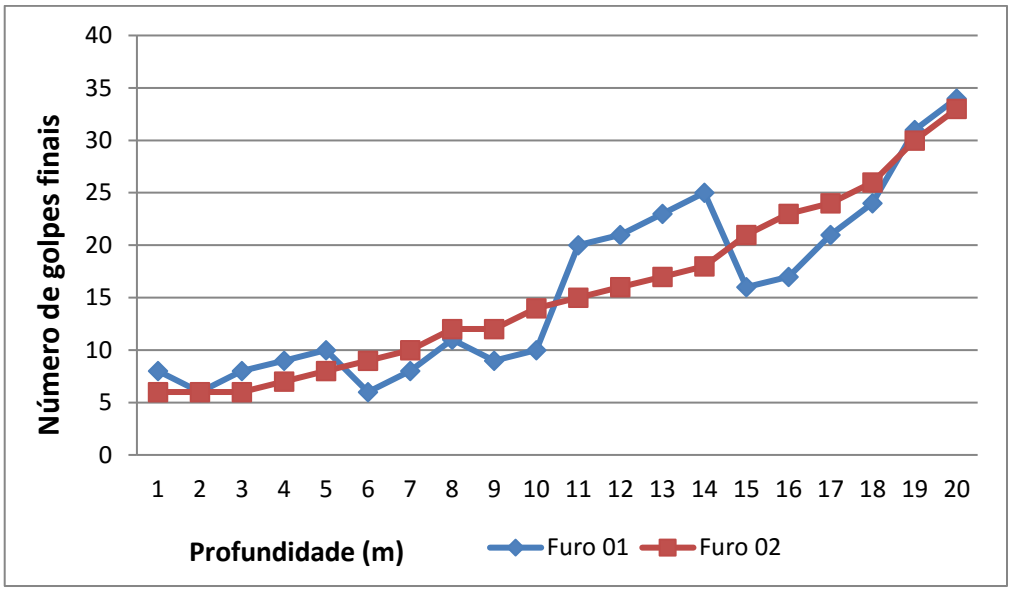
Para verificar a dispersão nos ensaios de sondagem, recomendada por Schnaid (2012, p.39), criou-se um gráfico para todas as sondagens realizadas (Figura 19), nota-se com clareza a dispersão citada pelo autor. Com isso, para o refinamento dos dados, também foi criado um gráfico dos mínimos e médios relacionados aos números de golpes finais por camadas das sondagens (Figura 20). A Tabela-7 ilustra os resultados dos boletins de sondagens, aplicados para reproduzir os gráficos.

Tabela 7 - Resultado dos boletins de sondagens

SONDAGENS				
PROF. (m)	FURO 01		FURO 02	
	Nspt I	Nspt F	Nspt I	Nspt F
1	8	8	6	6
2	6	6	6	6
3	7	8	6	6
4	7	9	6	7
5	9	10	7	8
6	6	6	7	9
7	7	8	9	10
8	10	11	11	12
9	8	9	12	12
10	9	10	13	14
11	19	20	14	15
12	20	21	15	16
13	22	23	15	17
14	24	25	16	18
15	17	16	17	21
16	18	17	19	23
17	20	21	20	24
18	20	24	22	26
19	26	31	25	30
20	29	34	28	33

FONTE: Adaptado do boletim de sondagem (ANEXO A)

FIGURA 19 - Gráfico das sondagens



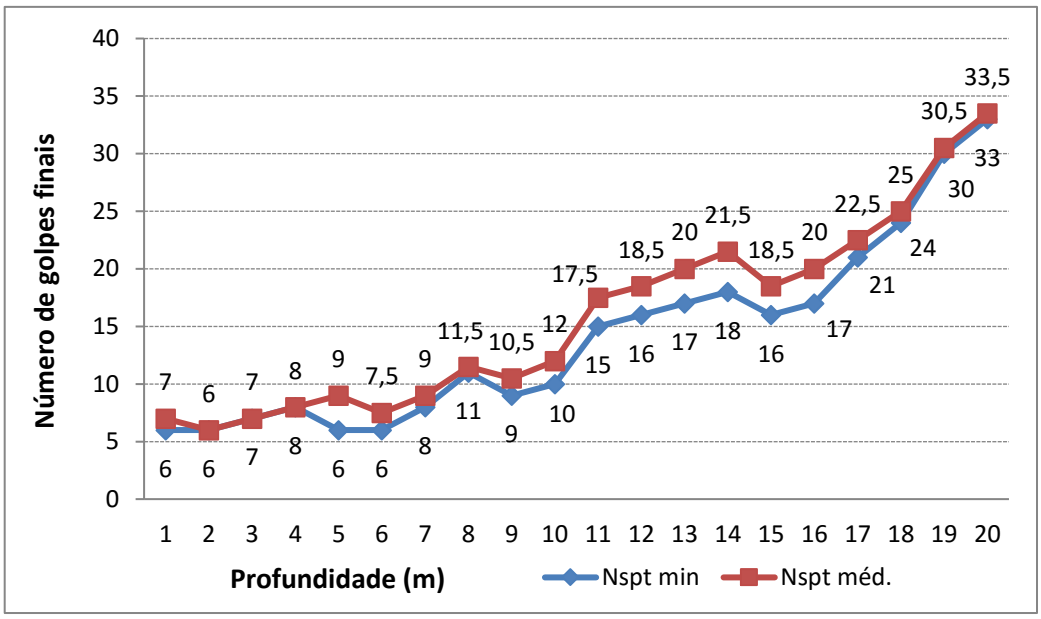
FONTE: Adaptado do boletim de sondagem (ANEXO A)

Tabela 8 - Resultados Mínimos e Médios por camada

N° DE GOLPES FINAIS					
PROF.	NSPT Min.	NSPT Med.	**PROF.**	NSPT Min.	NSPT Med.
1	6	7,0	**11**	15	17,5
2	6	6,0	**12**	16	18,5
3	7	7,0	**13**	17	20,0
4	8	8,0	**14**	18	21,5
5	6	9,0	**15**	16	18,5
6	6	7,5	**16**	17	20,0
7	8	9,0	**17**	21	22,5
8	11	11,5	**18**	24	25,0
9	9	10,5	**19**	30	30,5
10	10	12,0	**20**	33	33,5

FONTE: Adaptado do boletim de sondagem (ANEXO A)

FIGURA 20 - Gráfico do valor Mínimo e Médio de cada sondagem



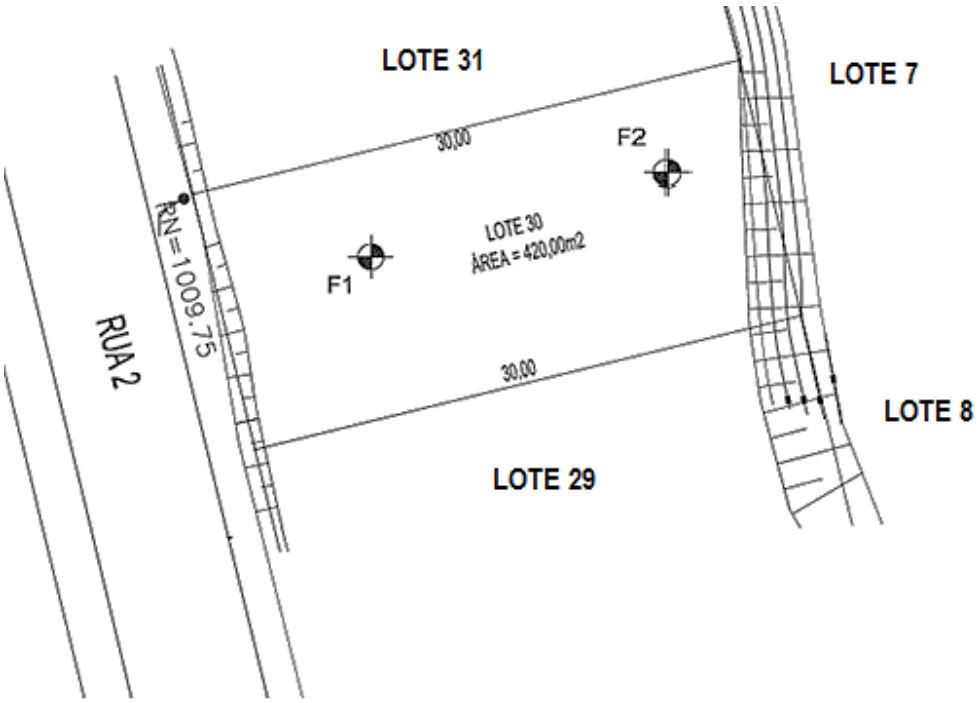
FONTE: Adaptado do boletim de sondagem (ANEXO A)

Para garantir a eficiência do solo em todas as camadas e também a segurança nos cálculos, foi adotado o número de golpes menor, referente ao N_{SPT} mínimo de cada camada, sendo este valor igual a 6. Analisando-se os gráficos e ensaios SPT, adotou-se a profundidade 1 metros da superfície para o assentamento da fundação.

O terreno adotado para o estudo de caso possui um total de 420m² de área e, dimensões de 30 m de comprimento e 14 m de largura.

Para ilustrar a localização do terreno e os furos de sondagens, a figura 12 mostra um croqui esquemático realizado pela empresa SUBSOLO.

FIGURA 21 - Croqui esquemático da sondagem



FONTE: SUBSOLO, 2015

1.12.1 Tensão admissível adotada

Para o dimensionamento da tensão admissível foi aplicada correlações com N_{SPT} para a capacidade de carga do sistema sapata-solo, conforme o método de Terzaghi (1943) e, após os resultados, aplicou-se o fator de segurança global igual a 3 determinado pela NBR 6122/2010 (item 6.2.1.1.1).

Para tal dimensionamento, para este solo, argila de consistência média, foi considerado o módulo de ruptura local, segundo Vesic (1975 apud AOKI & CINTRA, 2012, p. 23). Adotou-se a profundidade de 1metro para o assentamento da fundação.

Vesic (1975 apud AOKI & CINTRA, 2012, p. 23), salienta ainda que, o módulo de ruptura local é de difícil caracterização, sendo um caso intermediário entre o módulo de ruptura geral e por puncionamento. Com isso, o dimensionamento da tensão de ruptura do solo foi feito para o módulo de ruptura geral e ruptura por puncionamento. O resultado foi a média entre os valores encontrados nos dois dimensionamentos. A partir da resistência adotada para o solo, N_{SPT} igual a 6, determinou-se a tensão

admissível do solo. A tabela- 9 apresenta alguns dados necessários para o calculo da tensão admissível.

Tabela 9 - Parâmetros para o dimensionamento da tensão admissível do solo

Coesão $C = 10\ N_{SPT}$	Coesão reduzida $C' = 2/3C$	Peso específico Tabela 4	Sobrecarga $q = \gamma h$	Carga Média Tabela 6	Fator de segurança NBR 6122/2010
60	40	17 KN/m³	17 KN/m²	422 KN	3

FONTE: Carvalho, 2015

Não foi considerado ângulo de atrito interno do solo nos cálculos, pois este, esta relacionado á compacidade das areias.

Para o módulo de ruptura geral considerou-se a coesão não drenada do solo (C), e na ruptura por puncionamento a coesão reduzida (C').

Para melhor entendimento e agilidade do processo de cálculo foi utilizado planilha no software Excel, onde o procedimento foi adotar valores para as dimensões da sapata e através da interação dos dados, foi possível chegar a resultados em que a tensão admissível do solo seja correspondente a carga máxima aplicada a fundação.

Tabela 10 - Cálculo da tensão admissível por ruptura geral

Carga Média	B (m) 0,20	N máx (KN) 422	FS 3	Y(KN/m³) 17
	L (m) 0,40	N máx+5% (KN) 443	Prof.(m) 1	NSPT 6

SAPATA					SOLO				
Dimensão (m)				Área (m²)	Coesão		Ângulo de atrito		
B	L	H	h_0		C (Kpa)	C' (Kpa)	Φ	tg Φ	tg Φ'
1,10	1,50	0,36	0,20	1,65	60	40	0	0,00	0,00
1,50	1,80	0,46	0,20	2,70	Ruptura Geral			Argila	
1,80	1,95	0,50	0,20	3,51					

FATORES DE CARGA E FORMA						CAPACIDADE DE CARGA DO SISTEMA			
Vesic			De Beer			q	σr	σadm	Carga Max
Nc	Nq	Ny	Sc	Sq	Sy	KN/m²	KN/m²	KN/m²	KN
5,14	1,00	0,00	1,14	1,00	0,71	17	365,50	121,83	201,02
5,14	1,00	0,00	1,16	1,00	0,67	17	375,40	125,13	337,85
5,14	1,00	0,00	1,18	1,00	0,63	17	380,91	127,00	445,66

FONTE: Carvalho, 2015

Tabela 11 - Cálculo da tensão admissível em ruptura por puncionamento

Carga Média	B (m) 0,20	N máx (KN) 422	FS 3	Y(KN/m³) 17
	L (m) 0,40	N máx+5% (KN) 443	Prof.(m) 1	NSPT 6

SAPATA					SOLO				
Dimensão (m)				Área (m²)	Coesão		Ângulo de atrito		
B	L	H	h_0		C (Kpa)	C' (Kpa)	Φ	tg Φ	tg Φ'
1,10	1,50	0,36	0,20	1,65	60	40	0	0,00	0,00
1,80	2,00	0,52	0,20	3,60	Ruptura por puncionamento			Argila	
2,15	2,40	0,65	0,20	5,16					

FATORES DE CARGA E FORMA						CAPACIDADE DE CARGA DO SISTEMA			
Vesic			De Beer			q	σr	σadm	Carga Max
Nc	Nq	Ny	Sc	Sq	Sy	KN/m²	KN/m²	KN/m²	KN
5,14	1,00	0,00	1,13	1,00	0,71	17	249,33	83,11	137,13
5,14	1,00	0,00	1,18	1,00	0,64	17	258,61	86,20	310,32
5,14	1,00	0,00	1,17	1,00	0,64	17	258,00	86,00	443,76

FONTE: Carvalho, 2015

Nota-se que a capacidade de carga das argilas não depende das dimensões da sapata. Por outro lado, esta capacidade de carga aumenta de acordo com a coesão do solo e a profundidade de assentamento da fundação.

Após os resultados, foi calculada a média entre as tensões admissíveis referentes a ruptura geral e por puncionamento, no qual o valor encontrado foi de 1,07Kgf/cm² sendo este, adotado para o dimensionamento das fundações em estudo.

1.13 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO EM SAPATA

Após definido a tensão admissível do solo, foi possível o dimensionamento das sapatas rígidas através do roteiro de calculo para cargas centradas e conforme o Método das Bielas proposto por Alonso (2010), apresentado na capitulo 3.
As vigas de fundação e os pilares do pavimento térreo foram dimensionados durante a definição estrutural do edifício modelo com auxílio do programa de cálculo estrutural *Eberick V8 Gold*.

As cargas de fundação (tabela 10) utilizadas nos cálculos tiveram um acréscimo de 10% em seu valor, referente à estimativa do peso próprio da fundação.

Em seguida apresenta-se a planilha de cálculo utilizada no software Excel para o dimensionamento das sapatas isoladas do edifício modelo adotado, conforme formulações de Alonso (2010).

Tabela 12 - Dimensionamento das sapatas isoladas

SAPATA RÍGIDA	σ_{adm}(Kgf/cm²) 1,07			**DIMENSIONAMENTO MÉTODO DAS BIELAS**									
Seção retangular	Fck (MPa) 25												
	Carga (KN) +	Pilar (cm)		Dados da sapata (cm)					Esforço (KN)		Asd (cm²/m)		V
		b	a	B	L	d	H	h_0	Tx	Ty	Asx	Asy	m³
S1, S4, S29, S32	208	20	40	130	150	35	40	20	81,7	81,7	2,63	2,63	0,488
S2, S3, S30, S31	231	20	40	135	160	35	40	20	99,0	94,9	3,19	3,05	0,544
S5, S19, S17, S28	444	20	40	195	215	55	60	20	176,8	176,8	5,69	5,69	1,350
S6, S9, S13, S24, S27	351	20	40	170	195	45	50	20	151,1	146,2	4,86	4,71	0,955
S7, S8	595	20	40	225	245	65	70	25	234,6	234,6	7,55	7,55	2,149
S10, S20	321	20	40	160	185	45	50	20	129,4	124,9	4,17	4,02	0,848
S11	457	20	40	195	220	55	60	20	186,8	181,6	6,01	5,85	1,382
S12, S22	538	20	40	215	235	60	65	25	218,5	218,5	7,04	7,04	1,885
S14, S18, S23	365	20	40	175	195	50	55	20	141,5	141,5	4,56	4,56	1,037
S15	396	20	40	180	205	50	55	20	163,4	158,4	5,26	5,10	1,125
S16	613	20	40	230	250	65	70	25	247,4	247,4	7,97	7,97	2,244
S21	476	20	40	200	220	55	60	20	194,9	194,9	6,27	6,27	1,419
S25, S26	573	20	40	225	245	65	70	25	225,9	225,9	7,28	7,28	2,100

FONTE: Carvalho, 2015

Verificou-se também a tensão de compressão diagonal do concreto, ou seja, a tensão de cisalhamento na ligação sapata-pilar, recomendada pela NBR 6118/2014.

Tabela 13 - Verificação da tensão de cisalhamento

Fck (MPa) 25 Fs 1,4	VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO						
SAPATAS	Carga (KN)	Sapata d (cm)	Pilar (cm) b	Pilar (cm) a	σ_{sd} (MPa)	σ_{Rd2} (MPa)	$\sigma_{sd} < \sigma_{Rd2}$
S1, S4, S29, S32	208	35	20	40	0,69	4,34	OK
S2, S3, S30, S31	231	35	20	40	0,77	4,34	OK
S5, S19, S17, S28	444	55	20	40	0,94	4,34	OK
S6, S9, S13, S24, S24	351	45	20	40	0,91	4,34	OK
S7, S8	595	65	20	40	1,07	4,34	OK
S10, S20	321	45	20	40	0,83	4,34	OK
S11	457	55	20	40	0,97	4,34	OK
S12, S22	538	60	20	40	1,05	4,34	OK
S14, S18, S23	365	50	20	40	0,85	4,34	OK
S15	396	50	20	40	0,92	4,34	OK
S16	613	65	20	40	1,10	4,34	OK
S21	476	55	20	40	1,01	4,34	OK
S25, S26	573	65	20	40	1,03	4,34	OK

FONTE: Carvalho, 2015

Determinadas as áreas de aço (cm²/m) dos conjuntos de sapatas, foi elaborada uma nova tabela (tabela 13), a fim de apresentar as armaduras empregadas nas sapatas, com suas respectivas quantidades, diâmetros e espaçamento entre barras. Para isso foi usado a tabela 14 adaptado de Fusco (2013, p. 30), em que relaciona a área de armadura com a bitola de aço e o espaçamento entre barras.

É recomendado que o espaçamento entre as barras fique entre 10 e 20 cm. Caso o espaçamento fuja desses limites, altera-se o diâmetro da armação. Foi adotado o cobrimento de 5 cm para proteção da armadura no contato com o solo junto ao elemento de fundação, devido a agressividade ambiental, conforme a NBR 6118 (2014, Tabela 7.2).

Tabela 14 - Área da seção de armadura por metro de largura

Espaçamento (cm)	Bitola (Φ mm)						
	4	5	6,3	8	10	12,5	16
10,00	1,24	2,00	3,15	5,00	8,00	12,50	20,00
11,00	1,14	1,82	2,86	4,55	7,27	11,36	18,18
12,00	1,04	1,67	2,63	4,17	6,67	10,42	16,66
12,50	1,00	1,60	2,52	4,00	6,40	10,00	16,00
13,00	0,96	1,54	2,42	3,85	6,15	9,62	15,38
14,00	0,89	1,43	2,25	3,57	5,71	8,93	14,28
15,00	0,83	1,33	2,10	3,33	5,33	8,33	13,33
16,00	0,78	1,25	1,97	3,13	5,00	7,81	12,50
17,00	0,74	1,18	1,85	2,94	4,71	7,35	11,76
17,50	0,71	1,14	1,80	2,86	4,57	7,14	11,43
18,00	0,69	1,11	1,75	2,78	4,44	6,95	11,11
19,00	0,66	1,05	1,66	2,63	4,21	6,58	10,52
20,00	0,63	1,00	1,58	2,50	4,00	6,25	10,00

FONTE: Adaptado de Fusco (2013)

Tabela 15 - Resultado das armaduras empregadas nas sapatas

SAPATA	Área de aço na direção L		Área de aço na direção B	
	Asx cm²/m	Armadura	Asy cm²/m	Armadura
S1, S4, S29, S32	2,63	8 Φ 8 c/19	2,63	7 Φ 8 c/20
S2, S3, S30, S31	3,19	11 Φ 8 c/15	3,05	10 Φ 8 c/15
S5, S19, S17, S28	5,69	16 Φ 10 c/14	5,69	15 Φ 10 c/14
S6, S9, S13, S24, S24	4,86	12 Φ 10 c/17	4,71	11 Φ 10 c/16
S7, S8	7,55	17 Φ 12,5 c/15	7,55	16 Φ 12,5 c/15
S10, S20	4,17	16 Φ 8 c/12	4,02	14 Φ 8 c/12
S11	6,01	18 Φ 10 c/13	5,85	17 Φ 10 c/12
S12, S22	7,04	14 Φ 12,5 c/17	7,04	13 Φ 12,5 c/17
S14, S18, S23	4,56	12 Φ 10 c/17	4,56	11 Φ 10 c/17
S15	5,26	14 Φ 10 c/15	5,10	12 Φ 10 c/15
S16	7,97	17 Φ 12,5 c/15	7,97	16 Φ 12,5 c/15
S21	6,27	13 Φ 12,5 c/19	6,27	12 Φ 12,5 c/19
S25, S26	7,28	15 Φ 12,5 c/17	7,28	14 Φ 12,5 c/17

FONTE: Carvalho, 2015

1.13.1 Estimativa de custo da fundação em sapata isolada

Após o dimensionamento das sapatas isoladas, foi realizado um levantamento quantitativo dos materiais, concreto, forma e aço necessários na execução da fundação.

Neste levantamento também foram considerados as vigas de fundação e os pilares do pavimento térreo. Os valores quantitativos dos materiais referentes aos pilares foram incorporados aos valores das sapatas.

Os resultados levantados para o aço foram quantificados em peso (Kg), através do produto da área da seção nominal pelo peso específico do aço 7850 Kg/m³. Os resultados foram expressos em formas de tabelas e gráficos para verificar a influencia de cada material, na estimativa de custo da fundação estudada.

Tabela 16 - Consumo de material das sapatas

RESUMO QUATITATIVO DE MATERIAIS									
TIPO	**DESCRIÇÃO**				**TIPO**	**DESCRIÇÃO**			
Sapata	Conc. (m³)	Forma (m²)	Aço (Kg)		Vigas	Conc. (m³)	Forma (m²)	Aço (Kg)	
			CA 50	CA 60				CA 50	CA 60
S1, S4, S29, S32	2,26	9,02	47,88	12,4	1 a 3	0,92	9,20	28,4	9,1
S2, S3, S30, S31	2,57	10,29	62,20	12,4	4 a 8	1,44	14,28	43,8	14,3
S5, S19, S17, S28	5,78	13,68	78,48	12,4	9 a 12	1,32	13,15	40,8	14,3
S6, S9, S13, S24, S24	5,27	16,40	189,0	15,5	13 a 15	0,96	9,56	35	10
S7, S8	4,49	8,20	169,4	6,2	16 a 18	0,96	9,56	30,9	10,3
S10, S20	1,89	6,40	55,89	6,2	19 a 21	0,96	9,52	28,8	9,6
S11	1,48	3,20	80,02	3,1	22 a 24	0,92	9,20	28,1	9,4
S12, S22	3,96	8,00	141,1	6,2	25 a 27	1,24	12,32	37,5	12,7
S14, S18, S23	3,40	9,90	97,14	9,3	28 a 30	1,16	11,94	35,5	12,3
S15	1,22	3,36	38,02	3,1	31 a 33	1,07	10,68	33,7	11,5
S16	2,34	4,20	158,2	3,1	34 a 37	2	20,04	58,3	22,6
S21	1,52	3,90	102,3	3,1	38 a 40	1,78	17,92	56,2	19,2
S25, S26	4,40	8,04	135,1	6,2	41 e 42	2,34	23,44	70,8	25,2
TOTAL	**40,58**	**104,6**	**1355**	**127,1**	**TOTAL**	**17,07**	**170,82**	**527,8**	**180,5**

FONTE: Carvalho, 2015

Após o levantamento dos materiais da fundação em sapata, foi elaborado o custo da fundação através dos principais insumos, referentes aos preços de material e serviços, sendo estes oriundos das composições do SINAPI, SETOP e Revista Índice da Construção (2013). A tabela-17 apresenta os dados detalhados dos custos para a execução da sapata isolada em concreto armado, idealizado para fundação.

Tabela 17- Detalhamento dos serviços e materiais para execução da sapata isolada

COMPOSIÇÃO DE CUSTO DIRETOS DA FUNDAÇÃO EM SAPATA ISOLADA						
ORIGEM	**CODIGO**	**DESCRIÇÃO**	**UND**	**QDT**	**P. UNIT (R$)**	**Preço Total (R$)**
SERVIÇOS PRELIMINARES						
SINAPI	73822 / 002	Capina e limpeza do terreno	m²	420	3,67	**1.541,40**
SINAPI	9537	Limpeza final da obra	m²	227,3	1,94	**440,96**
SINAPI	74077 / 003	Locação da obra	m²	227,3	4,61	**1.047,85**
REV. I. C.	01 05 02	Instalação provisórias	m²	20	368,96	**7.379,20**
Subtotal serviços preliminares						**10.409,42**
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA						
SETOP	TER-API-005	Apiolamento no fundo da vala	m²	158,60	12,91	**2.047,56**
SETOP	TER-ESC-035	Escavação manual de vala	m³	343,1	38,18	**13.098,91**
SETOP	TER-REA-005	Reaterro e compactação de vala	m³	285,4	38,18	**10.897,91**
Subtotal movimentação de terra						**26.044,38**
INFRAESTRUTURA						
SETOP	EST-COM-005	Fornecimento e lançamento de concreto magro na obra	m³	7,93	410,69	**3.256,82**
SINAPI	74138 / 002	Concreto usinado fck = 20MPa lançamento, adensado e cura	m³	57,65	309,06	**17.817,31**
SINAPI	74076 / 001	Forma de madeira em concreto para fundação reap. 3x	m²	244	36,37	**8.874,28**
SINAPI	74254 / 002	Armação aço CA 50. Forn. corte dobra e colocação	Kg	1882,8	6,96	**13.104,29**
SINAPI	73942 / 002	Armação aço CA 60. Forn. corte dobra e colocação	Kg	307,6	6,77	**2.082,45**
Subtotal infraestrutura						**45.135,15**
SUBTOTAL						**81.588,94**
BDI = 25%						**20.397,24**
TOTAL DA OBRA						**101.986,18**

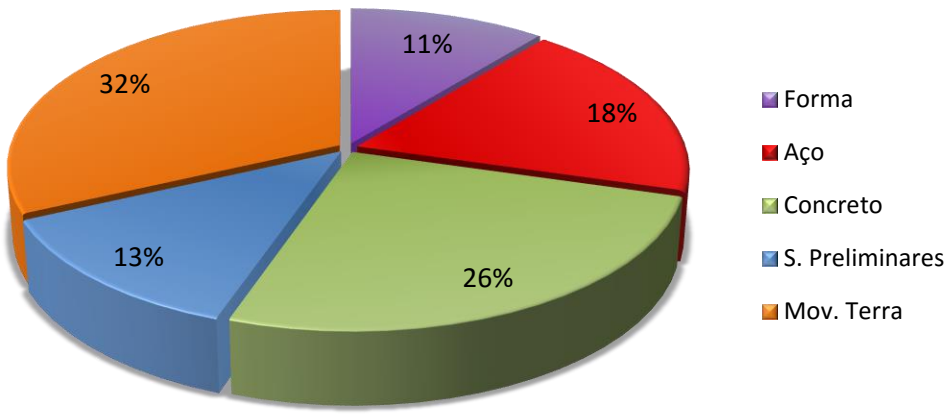
FONTE: Carvalho, 2015

O item escavação manual de vala, foi quantificado através do somatório das áreas das sapatas (considerando folga na escavação de 40 cm no perímetro da sapata dentro da vala), pelo produto da profundidade de assentamento, que é 1,2 metros a partir da superfície do terreno, somando ainda aos valores de escavação das vigas de fundação.

Para o item, reaterro e compactação de vala, o volume foi quantificado através da diferença entre a escavação e volume de concreto da fundação, sapatas e vigas baldrames (tabela 16).

O custo para execução da fundação em sapata isolada em concreto armado de 227m², foi calculado em R$101.986,18. Os resultados obtidos indicam um custo por metro quadrado no valor de R$449,27/m². A Figura 22, apresenta um resumo da influência percentual dos principais serviços e materiais necessários para execução das sapatas isoladas.

FIGURA 22 - Influência dos serviços e materiais no custo da sapata isolada



FONTE: Carvalho,2015

Analisando a Figura 22, nota-se que concreto e aço são os materiais de maior influência no custo idealizado para a fundação em sapata isolada. É também verificado que os serviços de movimentação de terra, necessário durante o processo

executivo da obra, movimenta um grande volume de terra, elevando de forma considerável os custos de execução para este tipo de fundação.

1.14 DIMENSIONAMENTO DA FUNDAÇÃO EM RADIER

Como já mencionado anteriormente, o modelo utilizado para o calculo dos esforços no radier é baseado na hipótese de Winkler. Com isso, torna-se necessário definir o coeficiente de reação vertical K_V, que é utilizado para simular a rigidez do solo representado por molas no sistema de grelha. A tabela-18 demonstra os parâmetros e resultados do coeficiente de reação vertical do solo.

Tabela 18 - Dimensionamento do coeficiente de reação do solo

Pressão de contato no solo Tabela 6 (Eq.13) $q_S = (\sum V)/A$	Estimativa de recalque (Eq.14) $W = 27 \times (qB\text{^}0{,}7)/Nspt$	Coeficiente de reação vertical (Eq.12) $Kv = qs/W$
40,28 KN/m²	1,062 cm	3,793 Kgf/cm³

FONTE: Carvalho, 2015

Após definido os parâmetros do solo, coeficiente de reação vertical de 3,793 Kgf/cm³ e tensão admissível no valor de 1,07Kgf/cm² foi possível dimensionar a fundação em radier, sendo esta, dimensionada pelo programa de calculo estrutural *Eberick V8 Gold*.

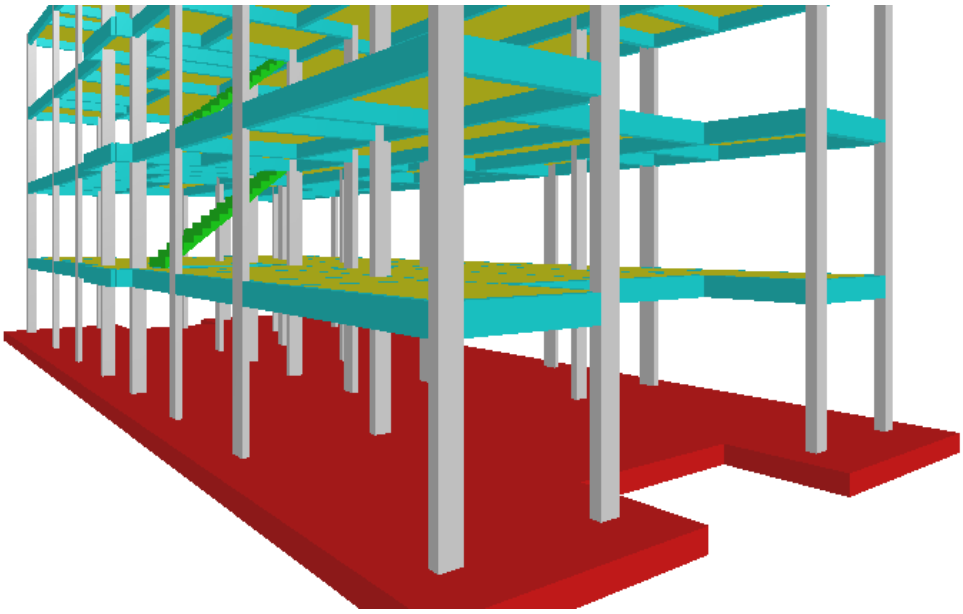
A fundação do edifício modelo, anteriormente lançado como sapata foi substituída nesta etapa, pela fundação em radier, que envolveu todos os pilares e paredes do pavimento térreo.

Como se trata de uma laje de fundação que sustenta toda a edificação foi lançado sobre o radier as cargas de parede do pavimento térreo representadas por cargas lineares e também as cargas concentradas representando os pilares que nascem neste pavimento, como pode ser visto no Anexo C, referente a planta de carga do radier.

A escada do pavimento térreo foi representada por uma faixa de carga linear no radier devido à limitação do Software que não permite o lançamento de escadas apoiadas diretamente em lajes.

Devido às cargas pontuais dos pilares que nascem no radier, onde existem elevadas concentrações de esforços de punção e momentos fletores, foi adotado no lançamento um aumento de 70 cm de largura nas extremidades do radier, proporcionando aos pilares externos uma borda de concreto por todo seu perímetro, desta forma distribuindo melhor as tensões nesta região (Figura 23).

FIGURA 23 - Detalhamento tridimensional do radier



FONTE: Carvalho, 2015

Para se tornar uma laje de base rígida e segura realizou-se várias rotinas durante o lançamento do radier no programa de cálculo, inicialmente adotou-se uma espessura de 16 cm, o mínimo especificado pela NBR 6118 (2007) para lajes sujeitas a punção, aumentando gradualmente a espessura, foi possível chegar a um valor satisfatório em que possibilitou o seu detalhamento. A espessura de 38 centímetros, juntamente com o uso do concreto de 35 MPa proporcionou os melhores resultados ao combate dos esforços de punção e momentos fletores.

O programa detalhou as armaduras em dois níveis, utilizando o aço CA 50 em ambos. Como segue:

Armadura inferior, configurada uma malha de Φ 6,3 mm com espaçamento de 10 cm. O programa também detalhou um conjunto de armadura adicional neste nível com diâmetro de 10 mm e espaçamento de 20 cm e diâmetro de 16 mm espaçados a cada 15 cm.

Armadura superior, foi configurada em malha de diâmetro de 6,3 mm com espaçamento de 8 cm, (ANEXO C).

1.14.1 Estimativa de custo da fundação do tipo radier

Conforme o dimensionamento realizado, torna-se necessário o levantamento dos materiais utilizados na fundação em radier para estimar seu custo. A tabela-18 apresenta o levantamento dos matérias necessário a execução do radier.

Tabela 19 - Consumo de material do radier

Resumo Quantitativo de Material					
ITEM	DESCRIÇÃO			QTD	UNID
1	Área de concreto			279,40	m²
2	Volume de concreto			106,17	m³
3	Área de forma			29,94	m²
4	Peso da armadura			10104,64	Kg
Detalhamento da Armadura					
TIPO	Φ (mm)	Comp. Total (m)	Massa (Kg/m)	Peso Total	Peso + 10%
CA 50	6,3	12555	0,248	3113,64	3425,00
	10	254	0,617	156,718	172,39
	16	3697,3	1,60	5915,68	6507,25

FONTE: Carvalho, 2015

Após o levantamento dos materiais da fundação em radier, foi elaborado o custo do radier através das composições dos principais insumos, referentes aos preços de material e serviços, sendo estes oriundos das composições do SINAPI, SETOP e

Revista Índice da Construção (2013). A tabela-20 apresenta o detalhamento dos custos para a execução do radier em concreto armado, idealizado para a fundação do edifício modelo.

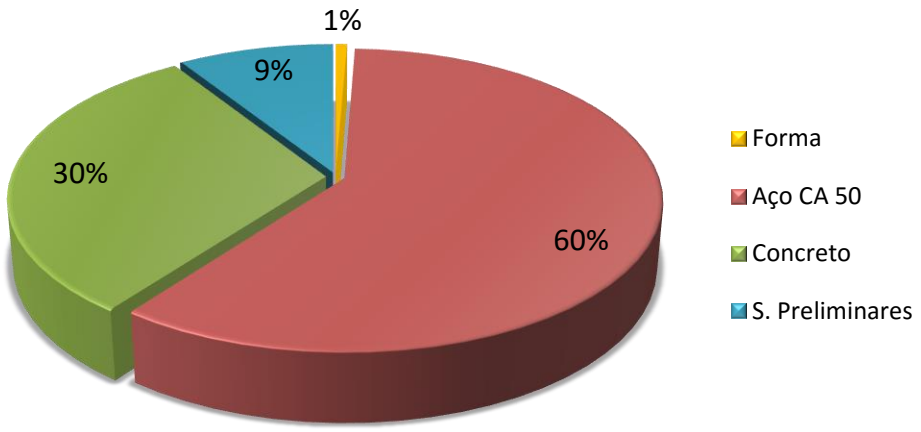
Tabela 20 - Detalhamento dos serviços e materiais para execução do radier

COMPOSIÇÃO DE CUSTO FUNDAÇÃO EM RADIER						
ORIGEM	**CODIGO**	**DESCRIÇÃO**	**UND**	**QDT**	**P. UNIT (R$)**	**P. Total (R$)**
SERVIÇOS PRELIMINARES						
SINAPI	73822 / 002	Capina e limpeza do terreno	m²	420	3,67	**1.541,40**
SINAPI	9537	Limpeza final da obra	m²	279,4	1,94	**542,04**
SINAPI	74077 / 003	Locação da obra	m²	279,4	4,61	**1.288,03**
REV. I. C.	01 05 02	Instalação provisórias	m²	20	368,96	**7.379,20**
Subtotal serviços preliminares						**10.750,67**
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA						
SETOP	TER-API-005	Apiolamento no fundo da vala	m²	----	12,91	**----**
SETOP	TER-ESC-035	Escavação manual de vala	m³	----	38,18	**----**
SETOP	TER-REA-005	Reaterro e compactação de vala	m³	----	38,18	**----**
Subtotal movimentação de terra						**-----**
INFRAESTRUTURA						
SINAPI	74138 / 005	Concreto usinado fck = 35MPa lançamento, adensado e cura	m³	106,17	339,58	**36.053,21**
SINAPI	74076 / 002	Forma de madeira concreto em fundação reap. 5x	m²	29,94	26,17	**783,53**
SINAPI	74254 / 002	Armação aço CA 50. Forn. corte dobra e colocação	Kg	10105	6,96	**70.328,29**
SINAPI	73942 / 002	Armação aço CA 60. Forn. corte dobra e colocação	Kg	-----	6,77	**-----**
Subtotal infraestrutura						**107.165,03**
SUBTOTAL						**117.915,70**
BDI = 25%						**29.478,93**
TOTAL DA FUNDAÇÃO						**147.394,63**

FONTE: Carvalho, 2015

O custo para execução da fundação em radier em concreto armado de 279 m², foi calculado em R$147.394,63. Os resultados obtidos para a fundação indicam um custo por metro quadrado no valor de R$528,29/m². A Figura 24, apresenta um resumo da influência percentual dos principais serviços e materiais necessários para execução do radier.

FIGURA 24 - Influencia dos serviços e materiais no custo do radier



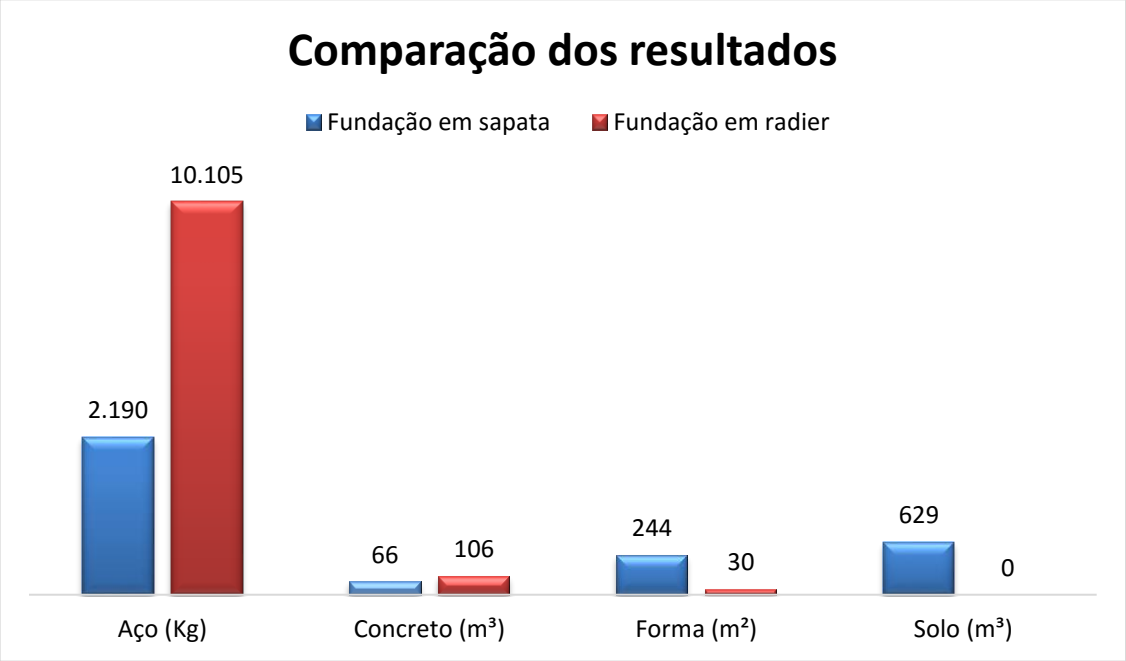
FONTE: Carvalho,2015

Observa-se na Figura 24 uma distorção percentual dos materiais, em que aço é o produto de maior influência no custo do radier, idealizado para a fundação do edifício modelo. Pode-se verificar que o índice, movimentação de terra, não é computado, ou seja, durante o processo executivo do radier não é realizado este serviço, pois se trata de uma laje apoiada diretamente sobre o solo.

6 ANALISE DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados obtidos, após o dimensionamento e levantamento de custos de ambas as fundações, foram estratificadas em forma de gráficos os dados dos principais materiais e serviços que compõem o processo construtivo das fundações. Estes materiais e serviços foram os que apresentaram maior impacto no processo executivo, influenciando diretamente nos custos de execução das fundações idealizadas para o edifício modelo em estudo. Também foi realizado o levantamento orçamentário para ambas as fundações, incluindo os benefícios e despesas indiretas (BDI).

FIGURA 25 - Principais consumos de materiais nas fundações



FONTE: Carvalho, 2015

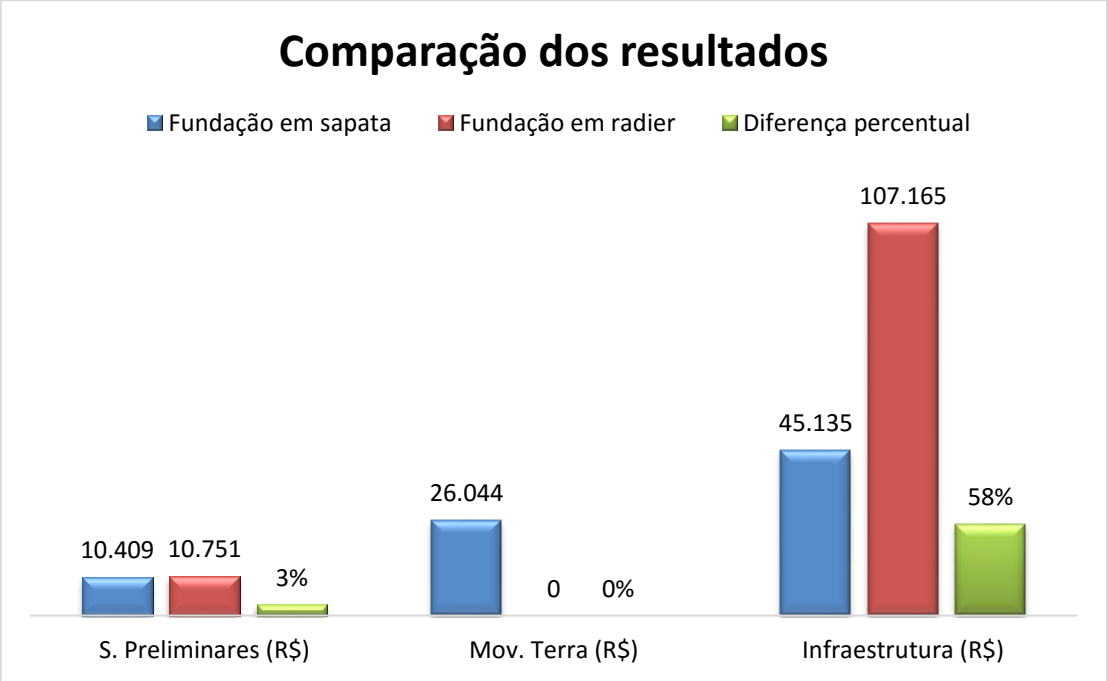
Observa-se na Figura 25 que a fundação em radier apresenta um consumo de aço bem mais elevado que a fundação em sapata, isto ocorre devido o radier ser uma estrutura no formato de laje apoiada no solo, onde existem elevados esforços de punção e flexão, próximo a região dos pilares, sendo necessário incorporar elevadas armaduras na fase inferior do radier, a fim de combater tais esforços. O que não ocorre com as sapatas que é uma estrutura mais rígida, dimensionada a fim de

receber a carga de apenas um único pilar e, travadas entre si pelo sistema de vigas, permitindo a diminuição do consumo de aço e concreto.

Verifica-se também que a fundação em sapata apresentou consumo elevado de formas de madeira e movimentação de terra, sendo este último item, representado pela escavação, reaterro e compactação do terreno. Estas diferenças ocorrem devido ao processo construtivo, onde se faz necessário executar movimentação de terra para a execução da fundação em sapata isolada. O que não ocorre com a fundação em radier, no qual é apoiado diretamente sobre o solo, sem movimentação de terra e baixa taxa de formas de madeira.

Os resultados dos custos de execução das fundações em sapata e radier estão representados nas figuras 26 e 27. A Figura 26 apresenta o custo por etapa de execução e suas diferenças percentuais. A Figura 27 apresenta o custo total das contenções, os custos por metro quadrado e suas diferenças percentuais

FIGURA 26 - Custos por etapa de execução das fundações



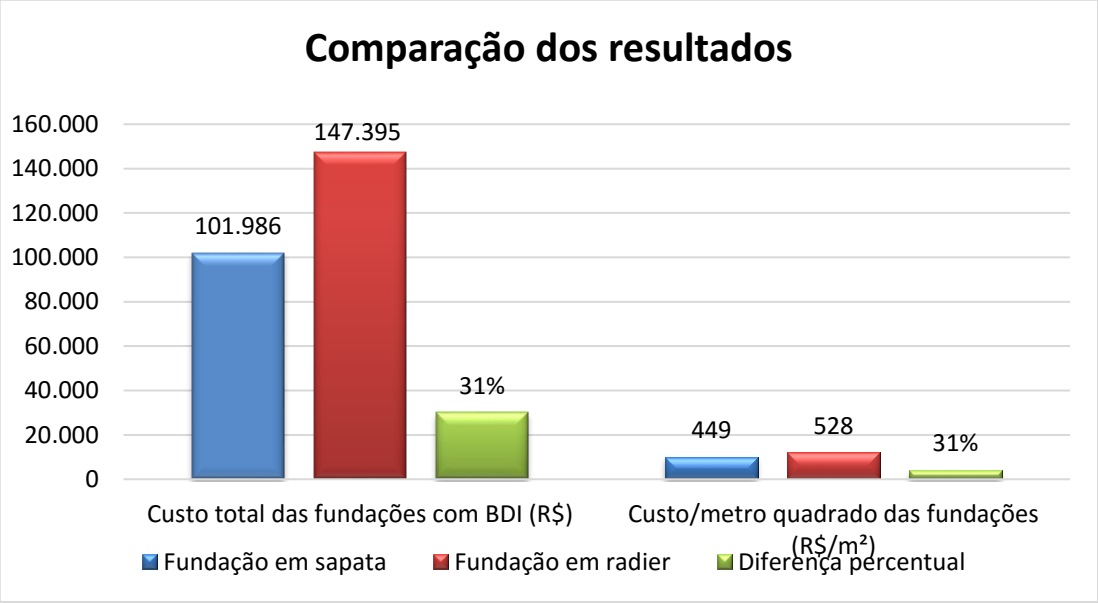
FONTE: Carvalho, 2015

Analisando a Figura 26, observa-se que o maior custo de execução por etapa, entre as duas fundações analisadas está relacionada com as obras de infraestrutura.

Percebe-se também uma diferença percentual significativa nos custos de execução entre as fundações. O fato dos serviços de infraestrutura apresentar o maior índice nos custos de execução justifica-se pelo consumo de matérias de valor agregado maior como o aço, cimento e forma, e também mão de obra especializada para execução do projeto.

Para os serviços de movimentação de terra, os custos de execução, estão relacionados somente a fundação em sapata e não foi computado o índice percentual entre as fundações, isto ocorre devido a diferença no processo construtivo, já abordado anteriormente. Já os serviços preliminares apresentaram valores de custo aproximados, e pequena variação percentual, o fato é que nesta etapa os serviços são comuns para ambas as fundações, variando somente a área em planta das fundações estudadas.

FIGURA 27 - Custo total e diferença percentual das fundações estudadas



FONTE: Carvalho, 2015

Conforme apresentado no gráfico da figura 27, os resultados mostram que o custo total da fundação em sapata ficou em R$101.986,00, valor este que representa 69% do custo do radier, que é de R$147.395,00. Com isso, verifica-se uma diferença percentual de 31%, no valor de R$45.409,00.

A partir dos resultados mostra que, a fundação em radier torna-se uma solução bem mais onerosa principalmente devido ao consumo de aço, já a fundação em sapata é mais econômico e indicado para o caso do edifício modelo estudado.

O radier deve ser rígido o suficiente, a fim de resistir aos esforços de punção e momentos fletores, impostos pelos pilares, que neste, nasce. Com isso, a taxa de armadura é elevada em sua base, também a resistência do concreto e sua espessura.

A sapata isolada apresenta-se como a solução de fundação mais viável economicamente devido uma redução significativa no consumo dos materiais principalmente do aço, ficando no total de 2.190 kg, incluindo as vigas de fundação e os pilares que nesta nascem. Realizando uma comparação do consumo de aço no radier, que é de 10.105 kg, nota-se uma diferença percentual de 78%, um valor bem menor economicamente.

7 CONCLUSÃO

Analisando o conteúdo apresentado, entende-se que os objetivos do trabalho foram atingidos, primeiramente, foi determinado o custo de execução e a viabilidade econômica, para dois tipos de fundações superficiais, sapata isolada e radier, para tal utilizou-se de cálculos e dimensionamento, e parâmetros do solo através do ensaio SPT oriundos da cidade de Conselheiro Lafaiete.

Na analise do caso estudado, verificou-se então que a fundação em radier teve um custo de execução bem mais elevado, comparado com a sapata isolada, representando um valor de 31% de diferença de custos entre ambas. Isso ocorre pelo fato do radier ser um elemento único de fundação, laje que suporta todas as cargas da superestrutura, resultando em uma estrutura de fundação rígida necessária para suportar os esforços provocados pelos carregamentos. Outros fatores que contribuíram de forma significativa para o aumento de custo de execução do radier foram o consumo de concreto e principalmente o consumo de aço, que é mais representativo.

Verificou-se então que a fundação em sapata isolada teve um custo de execução de R$101.986,00, valor este inferior ao custo da fundação em radier, que é de R$147.395,00, demonstrando uma diferença percentual de 31%, ou seja, uma economia de R$45.409,00.

Os resultados demonstram que para o edifício modelo adotado a fundação em sapata torna-se a solução mais viável economicamente. Este fato só foi possível devido ao menor consumo de materiais e principalmente pelo processo executivo da fundação em sapata, ou seja, para cada pilar uma única fundação em sapata, interligadas através de vigas.

Considerando os resultados obtidos, como sugestão de continuação deste trabalho sugere-se: realizar mesma comparação entre as duas fundações, porém em terrenos compostos por areias, situações encontradas com maior frequência nos litorais. Outro estudo interessante seria adotar o modelo em alvenaria estrutural, em

que as cargas atuantes na fundação seriam linearmente distribuídas. Seria importante também realizar o mesmo estudo considerando como modelo para cálculo uma residência de padrão popular, em que as cargas são menores.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o calculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro, 1983.

ABMS/ABEF. **Fundações:** Teoria e Prática. 2ª edição. São Paulo: Editora PINI, 2012.

ALMEIDA, Luiz Carlos. **Lajes sobre solo para fundação de residência.** 2001. 116 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Estrutura, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000235351&opt=4. Acesso em: 10 de julho. 2015.

ALONSO, Urbano Rodrigues. **Exercício de Fundações.** 3ª edição. São Paulo: Editora Edgard, 2013.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de aula de Estruturas de Concreto III**. Curso de graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2012. Disponível em: https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/09/sapatas.pdf Acesso em: 28 julho. 2015.

BELL, Brian J. **Fundações em Concreto Armado**. Tradução por Alexandre Verski. 2ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985. 268 p.

BUDHU, MUNI. **Fundações e Estruturas de Contenção.** Tradução por Luiz Antônio Vieira Carneiro, Maria Esther Soares Marques. 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora: LTC, 2013.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações Diretas:** projeto geotécnico. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2014.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Mecânica das rochas – Fundações – Obras de Terra. 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2014.

DÓRIA, Luiz Eduardo Santos. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier**. 2007. 93 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2007. Disponível em: http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Luis%20Eduardo%20Santos%20Doria.pdf. Acesso em: 18 de julho. 2015.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto.** 2nd ed., p.395. São Paulo: Editora PINI, 2013.

MATTOS, Aldo Dória. **Como preparar orçamentos de obras**. São Paulo: Editora PINI, 2007.

MORAIS, Marcelo da Cunha. **Estruturas de Fundações**. 3nd ed., p.264. São Paulo: McGraw-Hill, 1976.

NÁPOLES NETO, A. D. F. **História das Fundações**. In: W. Hachich; F. F. Falconi; J. L. Saes; et al. (Eds.); **Fundações:** Teoria e Prática. 2nd ed., p.751. São Paulo: PINI,1998.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas.** 3ª edição. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013.

REBELLO, Yopanan. C. P. **Fundações:** Guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4. Ed. São Paulo: Editora ZIGURATE, 2008.

SCHNAID, Fernando; OBEBREGHT, Edgar. **Ensaios de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações.** 2. Ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2012.

SINAPI. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil (CAIXA).** Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2014-mg/SINAPI_Custo_ref_Composicoes_MG_072015_NaoDesonerado.PDF. Acesso em: 16 de agosto. 2015.

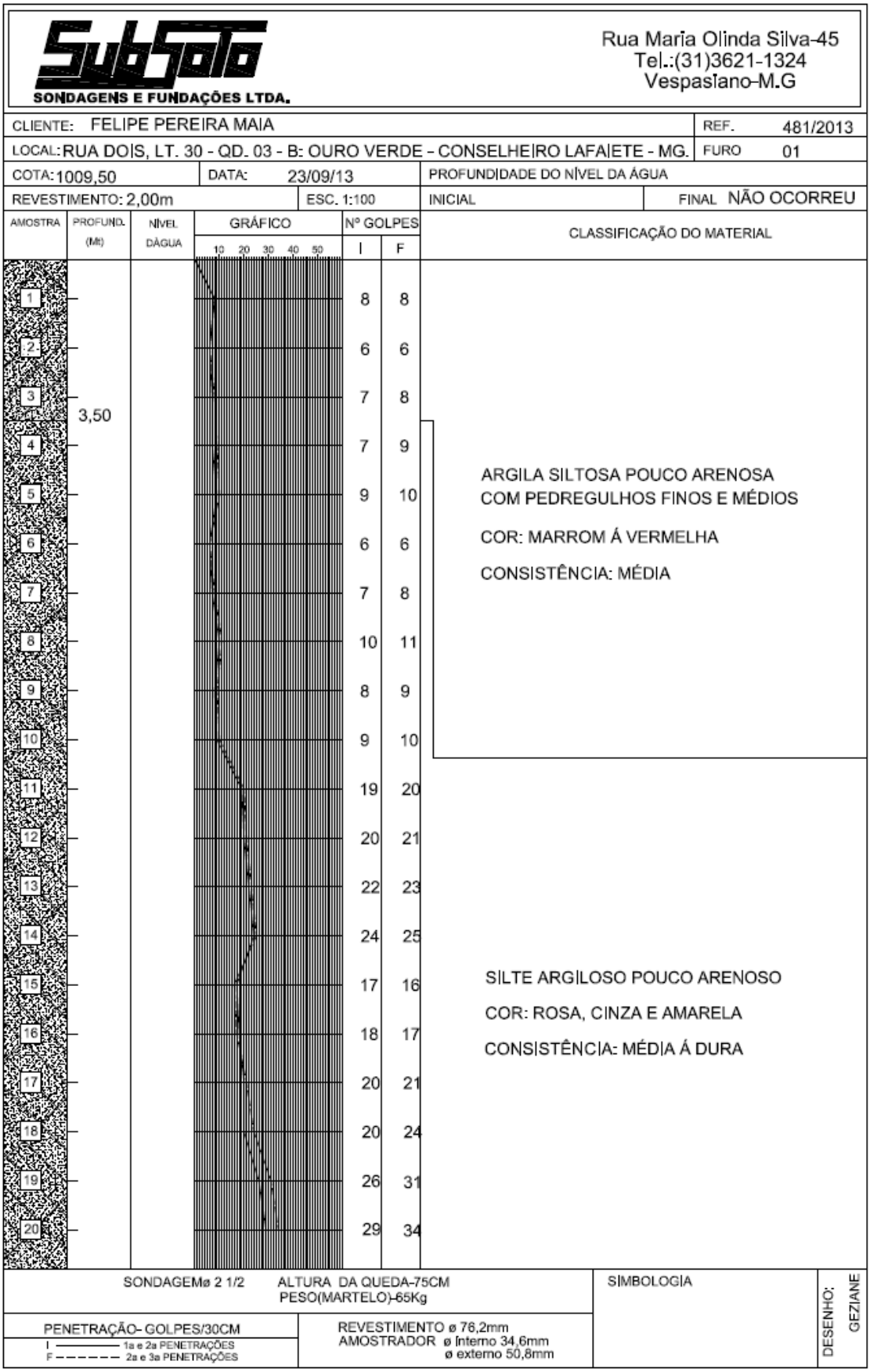
SETOP-MG. **Planilha Referencial de Preços Unitários para Obras de Edificação e Infraestrutura.** Disponível em: http://www.setop.mg.gov.br/images/documentos/precosetop/preco_setop_leste.pdf. Acesso em: 20 de agosto. 2015.

TEIXEIRA, H. A.; GODOY, S. N.; *et al*. **Analise, Projeto e Execução de Fundações Rasas.** In: HACHICH, Waldemar; *et al.* (Ed.). **Fundações:** Teoria e prática. 2ª edição. São Paulo: Editora PINI, 2012. Cap. 7, p. 227-264.

VELLOSO, Dirceu Alencar; LOPES, Francisco de Rezende Waldemar. **Fundações:** critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

ANEXOS

ANEXO A



SubSolo SONDAGENS E FUNDAÇÕES LTDA.

Rua Maria Olinda Silva-45
Tel.:(31)3621-1324
Vespasiano-M.G

CLIENTE: FELIPE PEREIRA MAIA | REF. 481/2013
LOCAL: RUA DOIS, LT. 30 - QD. 03 - B: OURO VERDE - CONSELHEIRO LAFAIETE - MG. | FURO 01
COTA: 1009,50 | DATA: 23/09/13 | PROFUNDIDADE DO NÍVEL DA ÁGUA
REVESTIMENTO: 2,00m | ESC. 1:100 | INICIAL | FINAL NÃO OCORREU

AMOSTRA	PROFUND. (Mt)	NÍVEL DÁGUA	GRÁFICO (10 20 30 40 50)	Nº GOLPES I	Nº GOLPES F	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
1				8	8	ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA COM PEDREGULHOS FINOS E MÉDIOS COR: MARROM Á VERMELHA CONSISTÊNCIA: MÉDIA
2				6	6	
3	3,50			7	8	
4				7	9	
5				9	10	
6				6	6	
7				7	8	
8				10	11	
9				8	9	
10				9	10	
11				19	20	SILTE ARGILOSO POUCO ARENOSO COR: ROSA, CINZA E AMARELA CONSISTÊNCIA: MÉDIA Á DURA
12				20	21	
13				22	23	
14				24	25	
15				17	16	
16				18	17	
17				20	21	
18				20	24	
19				26	31	
20				29	34	

SONDAGEMø 2 1/2 ALTURA DA QUEDA-75CM PESO(MARTELO)-65Kg

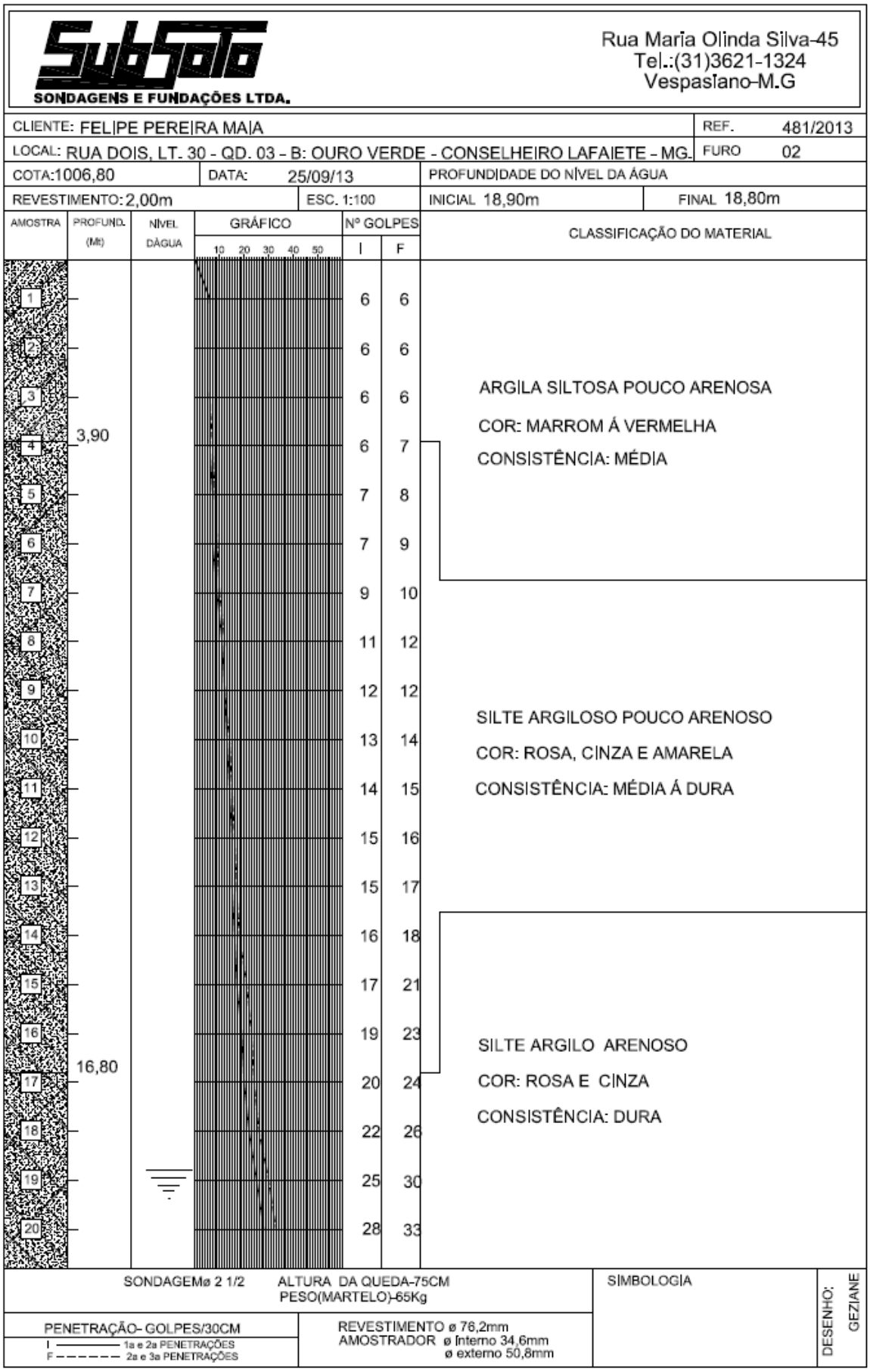
SIMBOLOGIA

PENETRAÇÃO- GOLPES/30CM
I ——— 1a e 2a PENETRAÇÕES
F - - - - - 2a e 3a PENETRAÇÕES

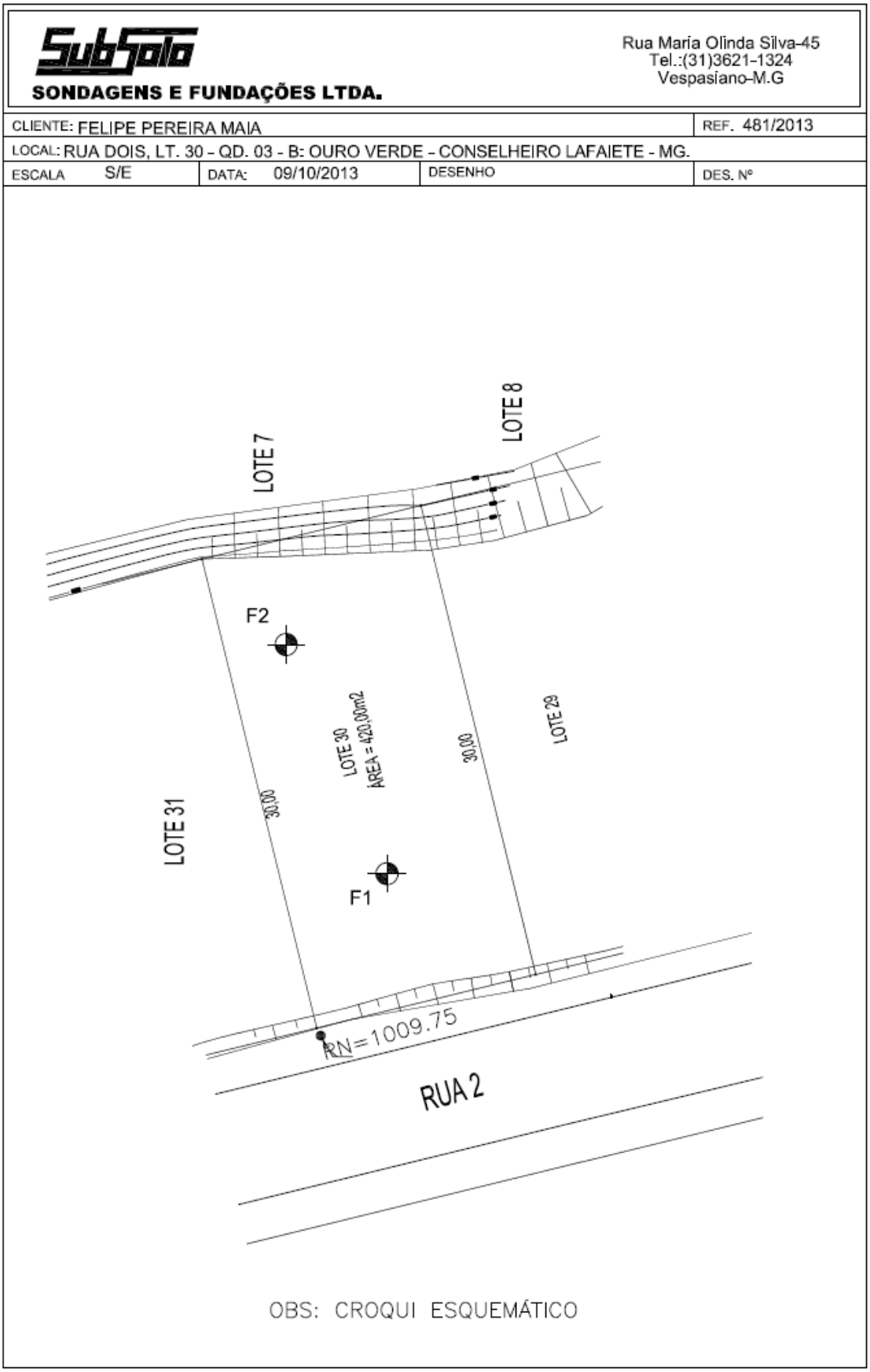
REVESTIMENTO ø 76,2mm
AMOSTRADOR ø interno 34,6mm
ø externo 50,8mm

DESENHO: GEZIANE

Fonte: EMGEMA (2015)



Fonte: EMGEMA (2015)



Fonte: EMGEMA (2015)

ANEXO B

AltoQi® tecnologia aplicada à engenharia
criando soluções para seus projetos

Prezado Cliente,

Parabéns pela aquisição de um *software* AltoQi.

Verifique seus dados:

ELADIO JOSE LOPES
Chave 25189-3
ALTOQI EBERICK V8 GOLD

Agradecemos a escolha da nossa Empresa como fornecedora e esperamos que a qualidade dos produtos e serviços da AltoQi permitam que este relacionamento se torne uma parceria de longo prazo.

A AltoQi se orgulha em investir continuadamente no desenvolvimento de sistemas de construções prediais, compartilhando conhecimento com parceiros que buscam novas conquistas no mercado de trabalho.

Para usufruir dos benefícios de um atendimento personalizado, sempre que entrar em contato com a Empresa tenha em mãos o nº de sua chave de cliente.

Se possuir dúvidas sobre a instalação entre em contato com o nosso departamento de suporte técnico, através do e-mail suporte@altoqi.com.br .

Assim sendo, mantemo-nos à sua disposição para maiores esclarecimentos através do telefone (48) 3027-9000 ou e-mail sac@altoqi.com.br .

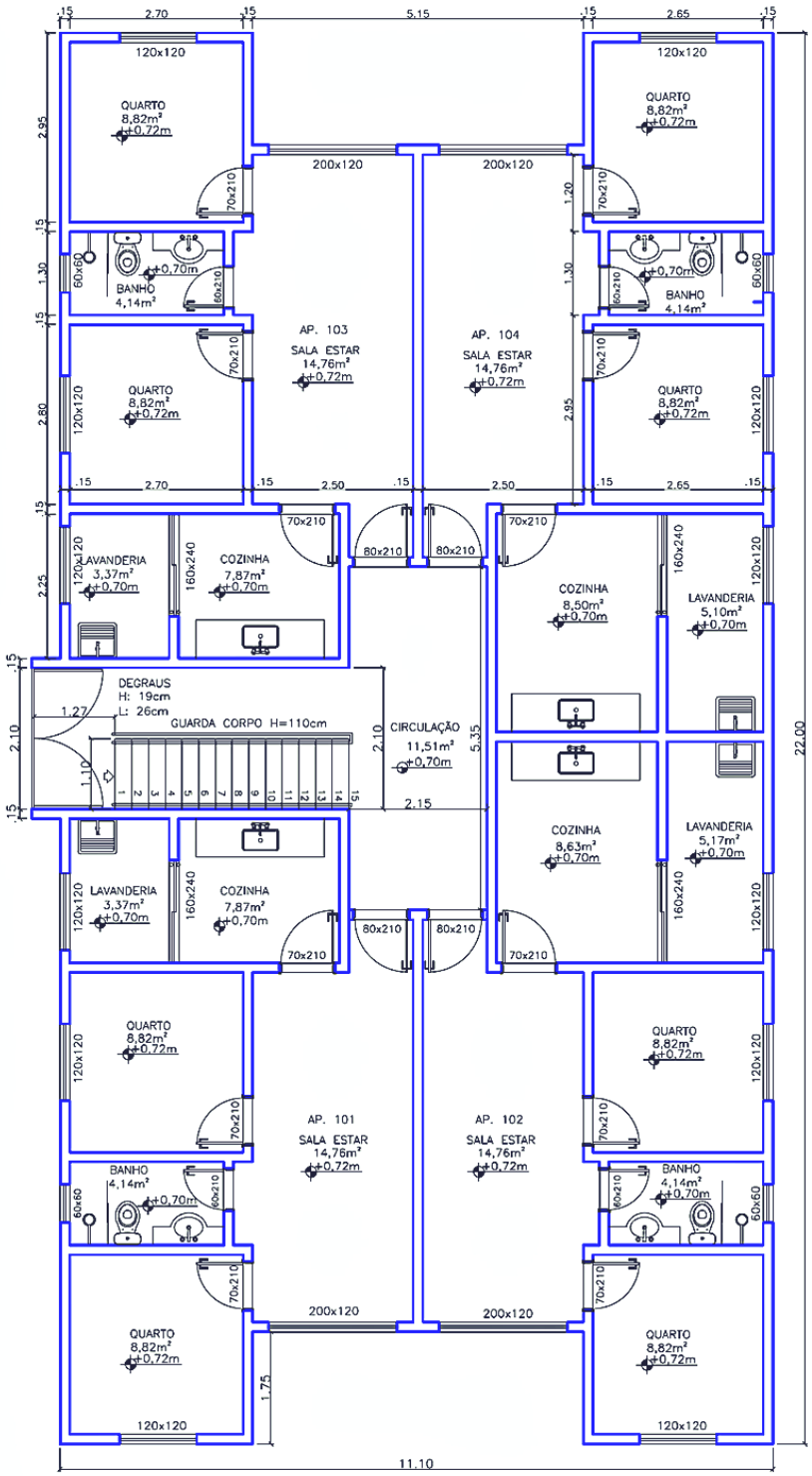
Conte sempre com a AltoQi.

Rui Luiz Gonçalves
Presidente

www.AltoQi.com.br
+55 48 3027-9000

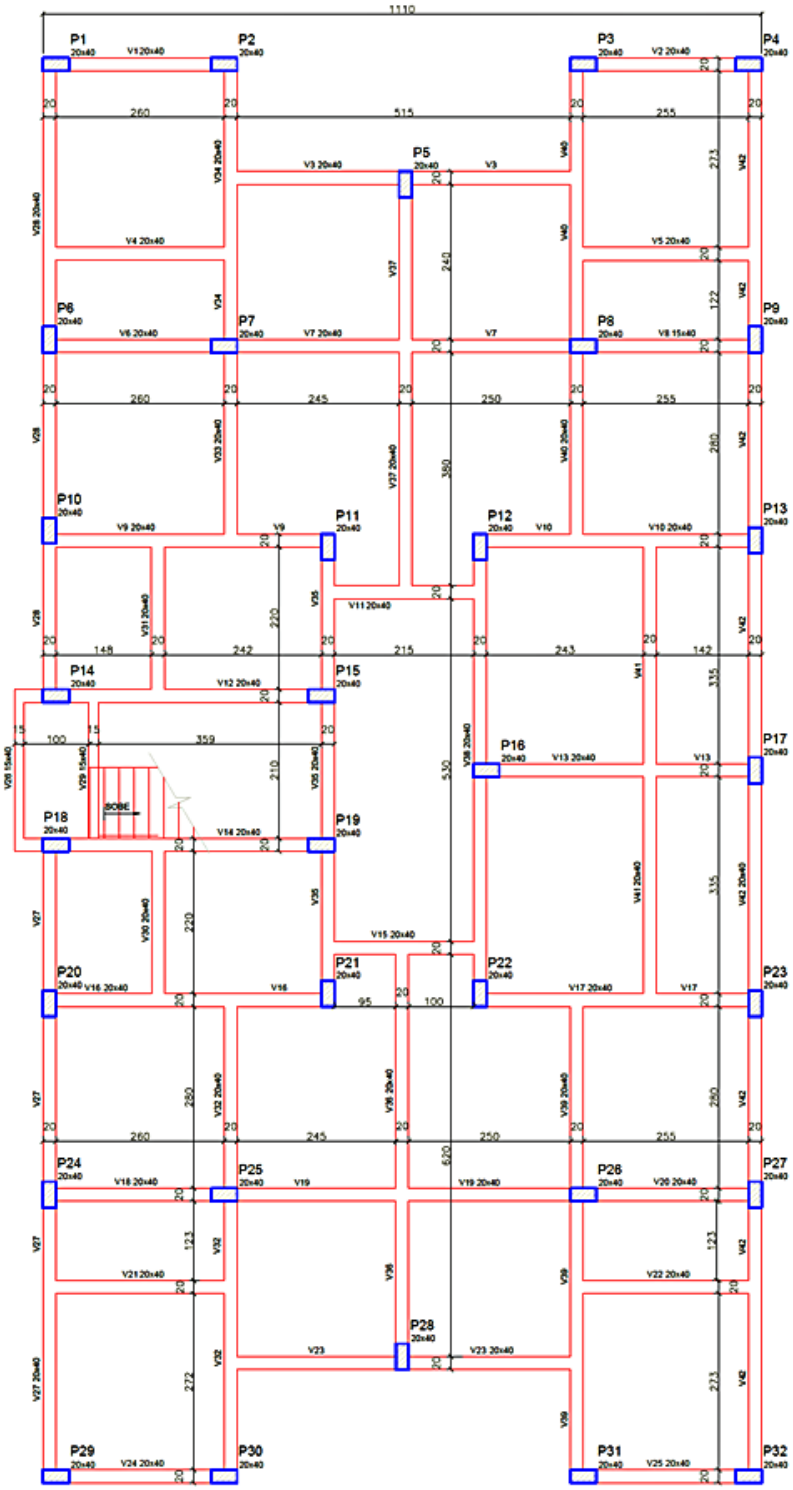
Fonte: EMGEMA (2015

ANEXO C



Planta Baixa - Pavimento Terreo

FaSaR	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
Conteudo:	Planta Baixa - Pavimento Terreo		
Desenho: Mauricio Dutra	Escala: 1:100	Área (m²): 227	Folha: 001



Características dos materiais

fck (Kgf/m²)	Ecs (Kgf/m²)	fct (Kgf/m²)	Abatimento (cm)
250	285600	26	9.00

Dimensão do agregado - 19 mm

LEGENDA:

- PILAR QUE NASCE NESTE NÍVEL
- PILAR QUE MORRE NESTE NÍVEL
- PILAR QUE PASSA NESTE NÍVEL

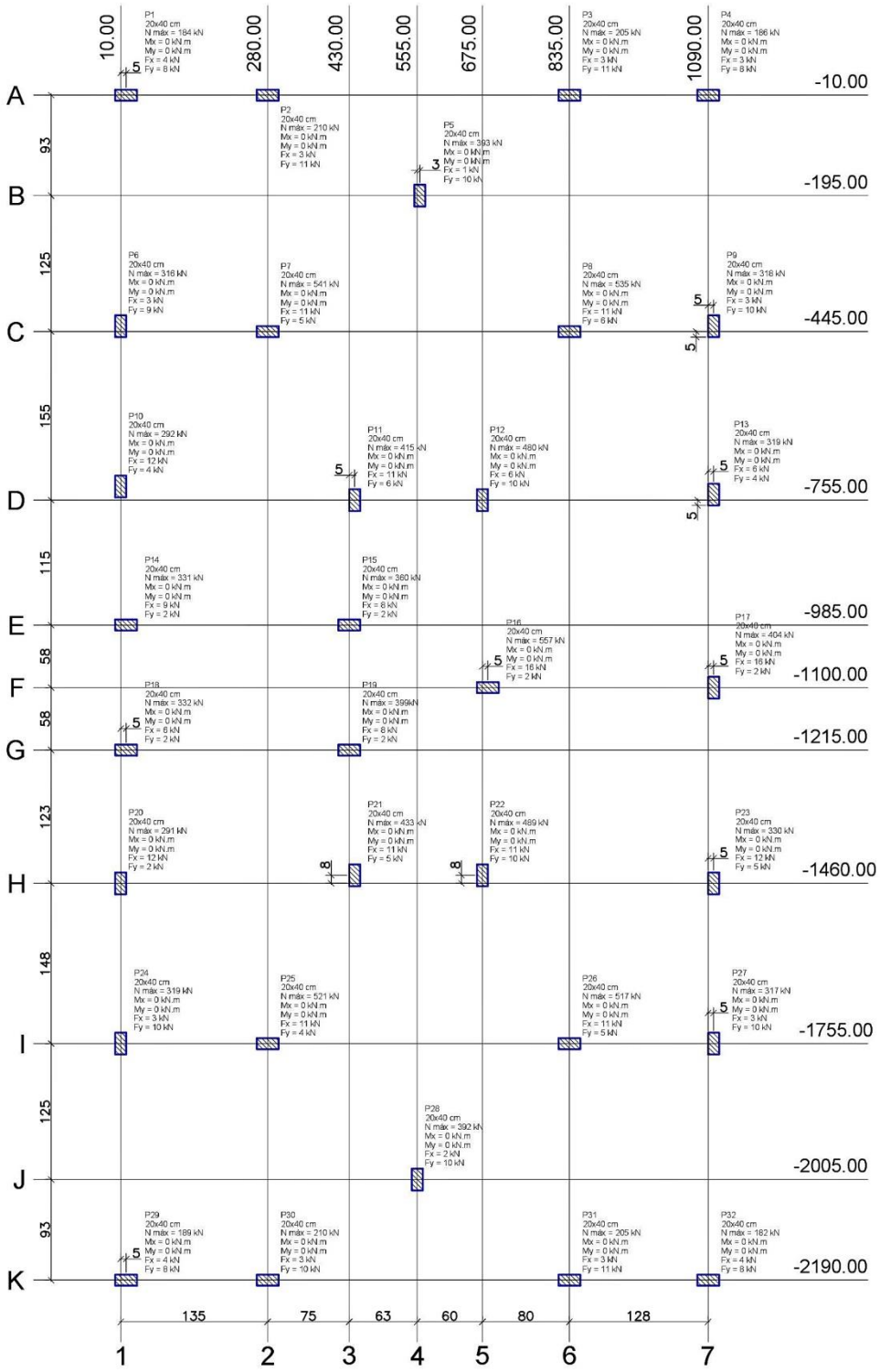
Forma do Pavimento Terreo

FaSaR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

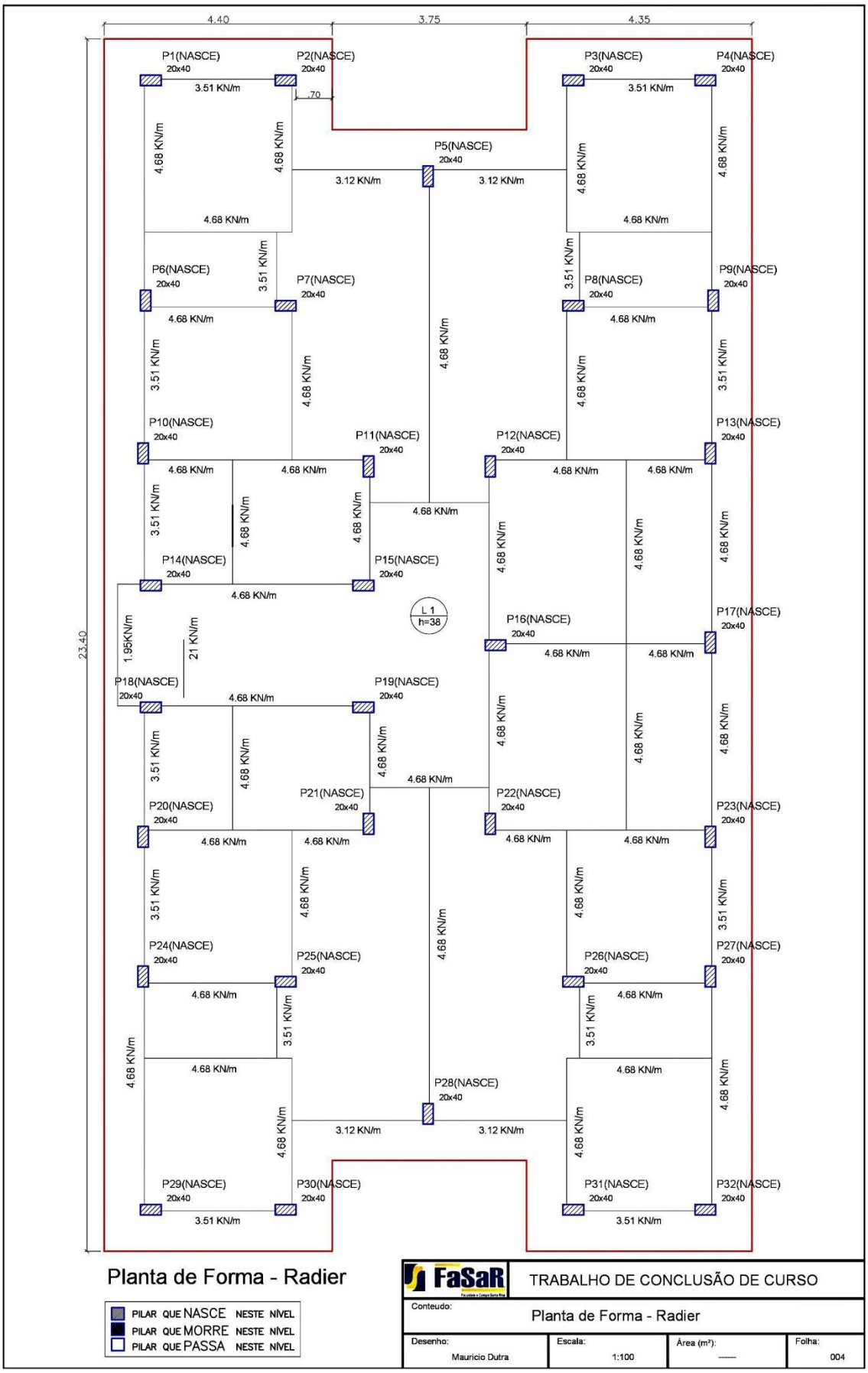
Conteudo: Planta de Forma - Pavimento Terreo

Desenho:	Escala:	Área (m²):	Folha:
Mauricio Dutra	1:100	227	002

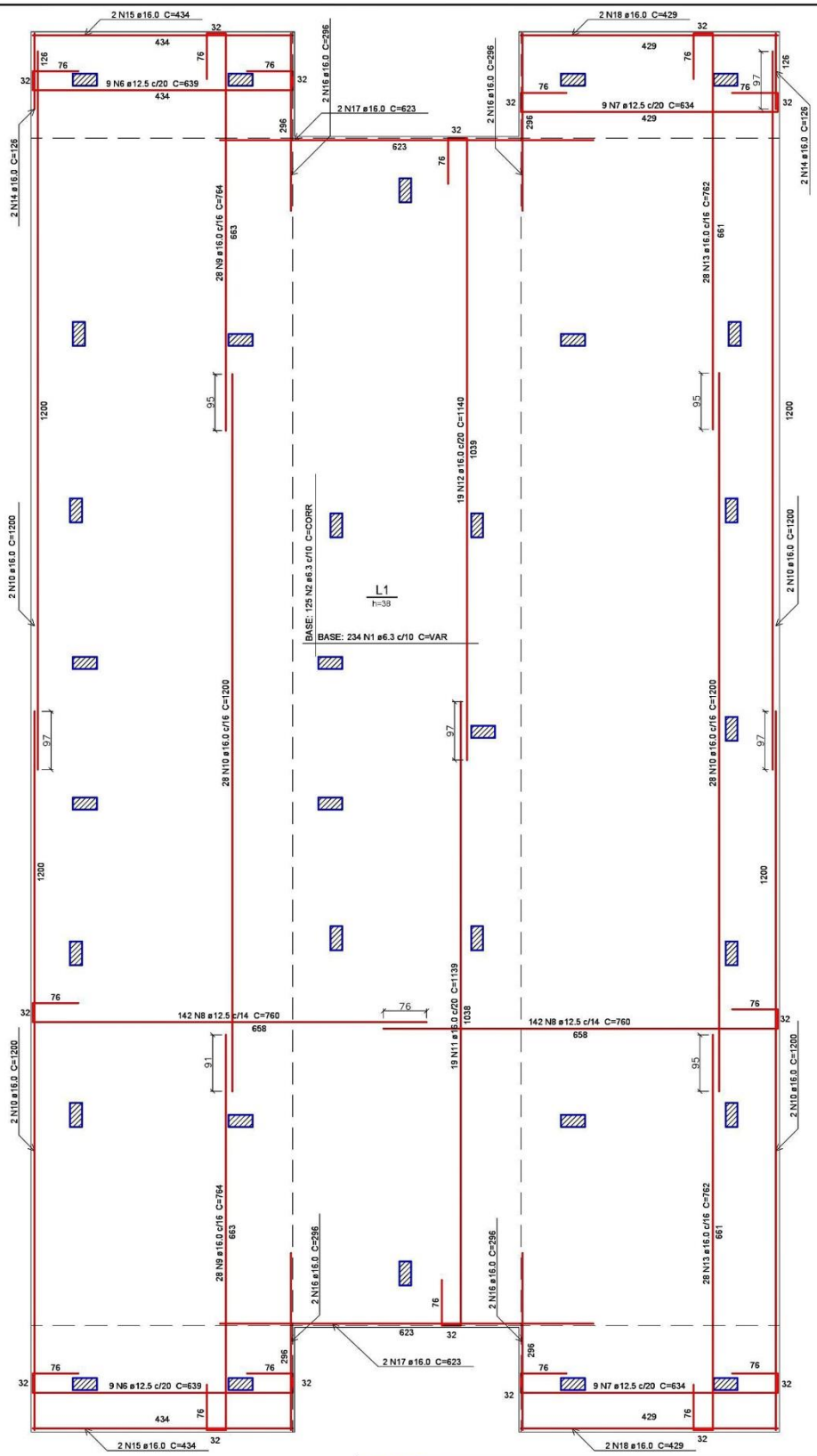


Planta de cargas

FaSaR	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
Conteudo: Planta de Cargas			
Desenho: Mauricio Dutra	Escala: SC	Área (m²): -------	Folha: 003

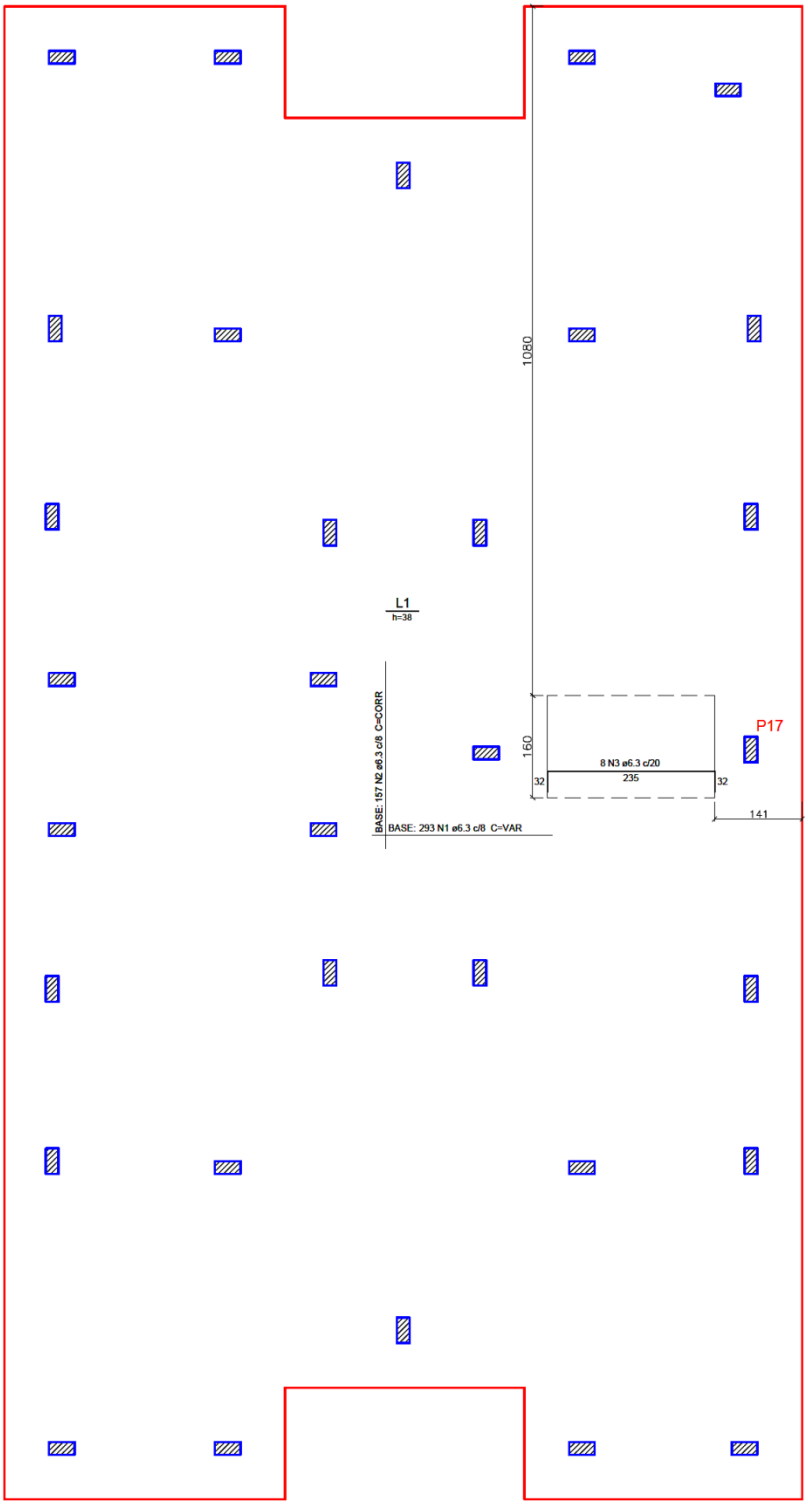

4.40
3.75
4.35
23.40
P1(NASCE) 20x40
P2(NASCE) 20x40
P3(NASCE) 20x40
P4(NASCE) 20x40
P5(NASCE) 20x40
P6(NASCE) 20x40
P7(NASCE) 20x40
P8(NASCE) 20x40
P9(NASCE) 20x40
P10(NASCE) 20x40
P11(NASCE) 20x40
P12(NASCE) 20x40
P13(NASCE) 20x40
P14(NASCE) 20x40
P15(NASCE) 20x40
P16(NASCE) 20x40
P17(NASCE) 20x40
P18(NASCE) 20x40
P19(NASCE) 20x40
P20(NASCE) 20x40
P21(NASCE) 20x40
P22(NASCE) 20x40
P23(NASCE) 20x40
P24(NASCE) 20x40
P25(NASCE) 20x40
P26(NASCE) 20x40
P27(NASCE) 20x40
P28(NASCE) 20x40
P29(NASCE) 20x40
P30(NASCE) 20x40
P31(NASCE) 20x40
P32(NASCE) 20x40
3.51 KN/m
4.68 KN/m
3.12 KN/m
1.95KN/m
21 KN/m
.70
L 1
h=38
Planta de Forma - Radier
PILAR QUE NASCE NESTE NÍVEL
PILAR QUE MORRE NESTE NÍVEL
PILAR QUE PASSA NESTE NÍVEL
FaSaR
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Conteudo:
Planta de Forma - Radier
Desenho:
Mauricio Dutra
Escala:
1:100
Área (m²):

Folha:
004



Armação Inferior do Radier

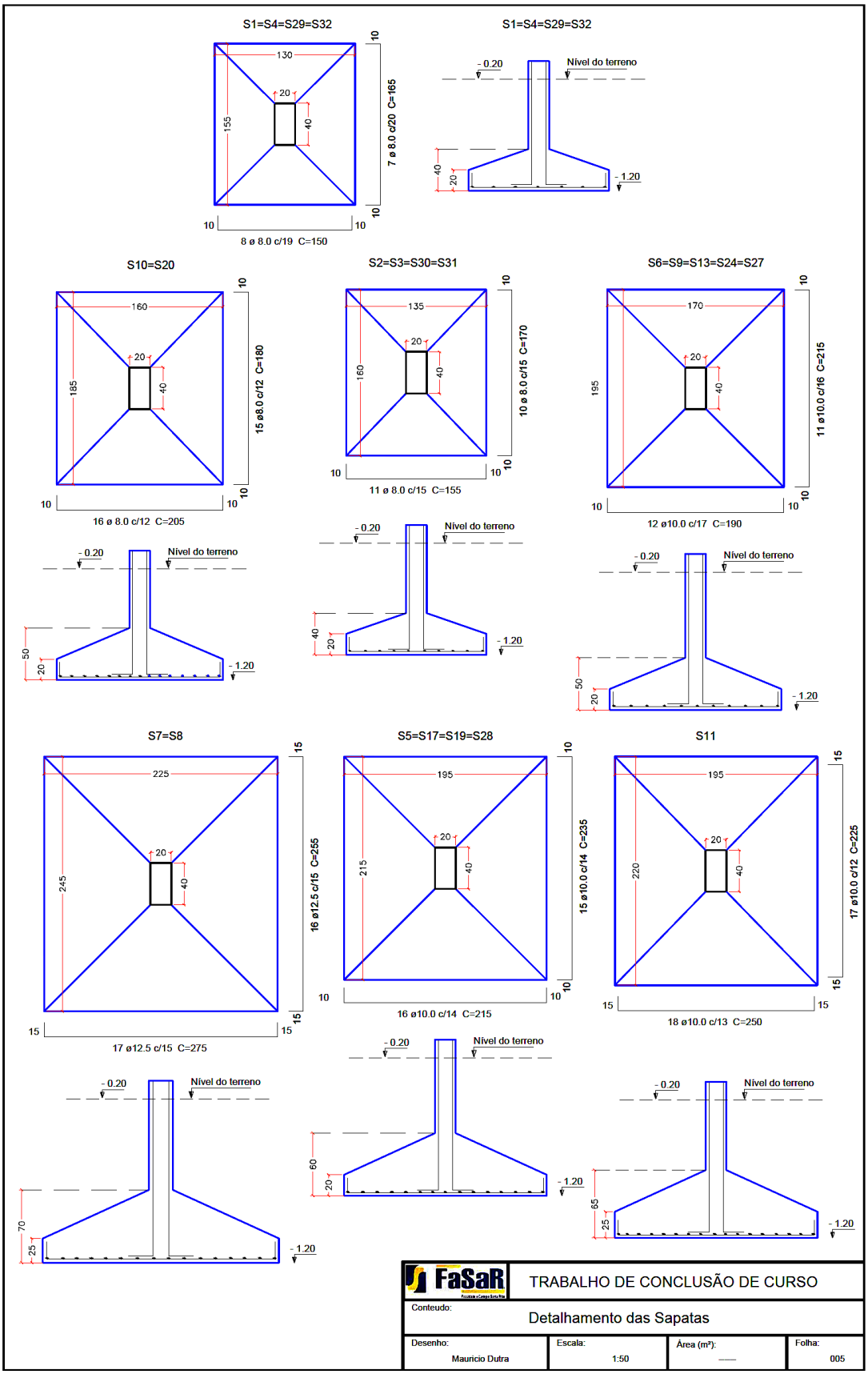
FaSaR	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
Conteudo: Armação Inferiro do Radier			
Desenho: Mauricio Dutra	Escala: 1:100	Área (m²): -----	Folha: 007

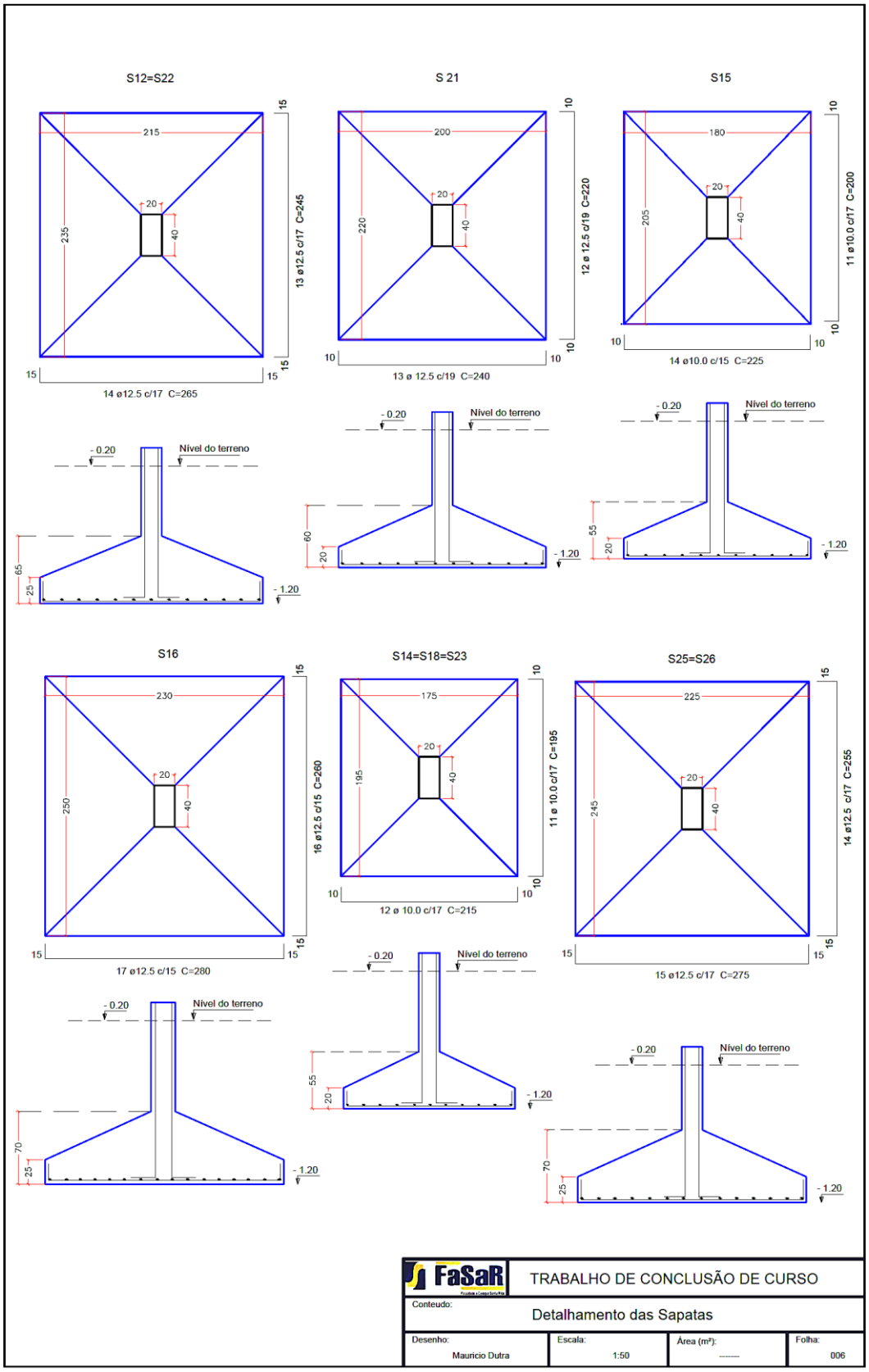


Armação Superior do Radier

ARMADURA DE PUNÇÃO									
Conjunto	Quant.	Dim. chapa (cm)	Característica dos conectores					Quant. por chapa	Quant. total
			Aço	Diam. (mm)	Comp. (cm)	Espaç. Pilar (cm)	Espaç. Conectores (cm)		
1	5	36.5x2.5	CA25	6.3	33.6	8	12	4	20

FaSaR	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
Conteudo: Armação Superior do Radier			
Desenho: Mauricio Dutra	Escala: 1:100	Área (m²): ------	Folha: 008


S1=S4=S29=S32
130
20
155
40
10
7 ø 8.0 c/20 C=165
10
10
8 ø 8.0 c/19 C=150
S1=S4=S29=S32
- 0.20
Nível do terreno
40
20
- 1.20
S10=S20
160
20
185
40
10
15 ø8.0 c/12 C=180
10
10
16 ø 8.0 c/12 C=205
S2=S3=S30=S31
135
20
160
40
10
10 ø 8.0 c/15 C=170
10
10
11 ø 8.0 c/15 C=155
S6=S9=S13=S24=S27
170
20
195
40
10
11 ø10.0 c/16 C=215
10
10
12 ø10.0 c/17 C=190
- 0.20
Nível do terreno
50
20
- 1.20
- 0.20
Nível do terreno
40
20
- 1.20
- 0.20
Nível do terreno
50
20
- 1.20
S7=S8
225
20
245
40
15
16 ø12.5 c/15 C=255
15
15
17 ø12.5 c/15 C=275
S5=S17=S19=S28
195
20
215
40
10
15 ø10.0 c/14 C=235
10
10
16 ø10.0 c/14 C=215
S11
195
20
220
40
15
17 ø10.0 c/12 C=225
15
15
18 ø10.0 c/13 C=250
- 0.20
Nível do terreno
70
25
- 1.20
- 0.20
Nível do terreno
60
20
- 1.20
- 0.20
Nível do terreno
65
25
- 1.20
FaSaR
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Conteudo:
Detalhamento das Sapatas
Desenho:
Mauricio Dutra
Escala:
1:50
Área (m²):
Folha:
005


S12=S22
215
235
20
40
15
13 ø12.5 c/17 C=245
14 ø12.5 c/17 C=265
- 0.20
Nível do terreno
65
25
- 1.20
S 21
200
220
20
40
10
12 ø 12.5 c/19 C=220
13 ø 12.5 c/19 C=240
60
20
S15
180
205
11 ø10.0 c/17 C=200
14 ø10.0 c/15 C=225
55
S16
230
250
16 ø12.5 c/15 C=260
17 ø12.5 c/15 C=280
70
S14=S18=S23
175
195
11 ø 10.0 c/17 C=195
12 ø 10.0 c/17 C=215
S25=S26
225
245
14 ø12.5 c/17 C=255
15 ø12.5 c/17 C=275
FaSaR
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Conteudo:
Detalhamento das Sapatas
Desenho:
Mauricio Dutra
Escala:
1:50
Área (m²):
Folha:
006