

EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO RASA TIPO SAPATA ASSOCIADA, PARA CARGAS ELEVADAS DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL

Luiz Humberto de Freitas Souza (Universidade de Uberaba) luizhumbertofsouza@gmail.com
Maurílio dos Santos (Universidade de Uberaba) futuramg@hotmail.com

Resumo: A boa prática da engenharia de fundações demonstra que nenhuma obra é igual a outra. Mesmo atendendo aos critérios que antecedem um bom projeto é possível que no decorrer de sua execução haja interferências que fatalmente levarão a novas análises e a novas soluções. O presente trabalho propõe um estudo de caso sobre o projeto de fundação executado na obra do Edifício Residencial Sierra Lídice, localizado no bairro Lídice, em Uberlândia/MG. Este local está inserido em uma região com predominância de rochas basálticas, com topo rochoso e nível do lençol freático, em geral, rasos. Tais características aliadas às condições do solo local induziram inicialmente à execução de tubulões. Esta solução, no entanto, foi alterada em função da aquisição deste terreno pela construtora do empreendimento, a qual não conservou o projeto original em função da compra de outras áreas vizinhas e da nova concepção arquitetônica. Tais mudanças conduziram à remoção parcial dos tubulões existentes e à readequação do terreno para receber fundações em sapatas na região do edifício com cargas mais elevadas. Desta forma, o trabalho em questão tem como objetivo geral apresentar a solução de fundação executada na obra em referência e os desafios impostos pelas características geotécnicas locais.

Palavras-chave: Geotecnia; Fundações; Tubulões; Sapata associada.

IMPLEMENTATION OF SHALLOW FOUNDATION TYPE SHOE CONNECTION FOR HIGH LOADS OF A RESIDENTIAL BUILDING

Abstract: The good practice of foundation engineering demonstrates that no work is equal to another. Even given the criteria prior to a good project is possible that in the course of its execution there is interference which inevitably will lead to new analyzes and new solutions. This paper proposes a case study on the design of foundation work performed in the Building Residential Sierra Lidice, Lidice located in the district of Uberlândia/MG. This site is part of a region with predominantly basaltic rocks with bedrock and groundwater generally shallow level. These features combined with the local soil conditions initially led to the execution of caissons. This solution, however, was changed due to the acquisition of this land by the construction of the project, which has not retained the original design due to the purchase of other neighboring areas and new architectural design. These changes resulted in partial removal of existing caissons and land readjustment to receive shallow foundation in the building region with higher loads. Thus, the work in question has as a general objective to present the solution of foundation executed the work in reference and the challenges imposed by local geotechnical characteristics.

Keywords: Geotechnics; Foundations; Drilled shafts; Shallow foundation.

1. INTRODUÇÃO

A boa prática da engenharia de fundações demonstra que nenhuma obra é igual a outra e que mesmo atendendo aos critérios que antecedem um bom projeto de fundação é possível que no decorrer de sua execução haja interferências que fatalmente levarão a novas análises e a novas soluções.

Na idade média, muitas edificações sofreram com o colapso de solo em função de dimensionamentos equivocados, informações imprecisas sobre a capacidade de carga e preocupação excessiva com as fachadas das construções. Nesse sentido houve uma evolução induzida pela necessidade de avanços no campo das fundações para sustentar gigantescos castelos, templos, arenas, pontes, etc. Entre fins do século XIII e meados do século XVII (Renascentismo), Leonardo da Vinci projetou um bate-estacas dos quais os princípios se faz

uso até os dias de hoje. Ainda no século XVII e posteriormente no século XVIII, aconteceram importantes eventos na área da engenharia militar e, em especial, na geotecnia, dando início à separação entre esta e a engenharia civil, e no século seguinte a nítida separação entre engenheiros civis e arquitetos.

Na história moderna, a engenharia civil começa a conhecer, por meio do engenheiro e físico Charles Augustin Coulomb, o que viria a ser conhecida em meados do século XX como a ciência da Mecânica dos Solos e a familiarizar-se com as equações e termos tais como: resistência ao cisalhamento do solo, coesão, tensão normal, coeficiente de atrito, esforços solicitantes e etc.

O período contemporâneo da história geotécnica teve início com o engenheiro, geólogo e cientista, tido como o pai da mecânica dos solos, Karl Terzaghi, que entre experiências, erros e acertos, consolidou esta ciência.

No Brasil, as primeiras atividades geotécnicas aconteceram no Rio de Janeiro por volta do ano 1806, com a chegada da corte portuguesa e pela necessidade de construir escolas, museus, bibliotecas e jardins botânicos. No entanto, a formação de profissionais nesta época era por instrução, baseada em ciência. A engenharia civil, juntamente com as técnicas de construção e fundações, era restrita apenas aos militares. Somente em 1845 é que surge o ensino específico de Engenharia Civil pela escola central. Posteriormente, em 1874 e 1876, foram criadas a Escolas Politécnica do Rio de Janeiro e a Escola de Minas de Ouro Preto respectivamente, que consolidaram a separação da escola militar (VARGAS, 1998, p. 35).

Na história recente da engenharia civil brasileira, após a criação no ano de 1922 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) pela Estação Experimental de Combustíveis e Minérios do Rio de Janeiro, o gabinete de Resistência dos Materiais da Escola Politécnica de São Paulo foi transformado, em 1926, no "Laboratório de Ensaios de Materiais" para separar dos assuntos relacionados a fundações. Em 1938 foi criada a Seção de Solos e Fundações e em 1940, no Instituto Nacional de Tecnologia (INT), a Divisão de Mecânica dos Solos, muito embora, não desprezando anteriormente outras contribuições pioneiras nesta área, para o desenvolvimento desta ciência. (VARGAS, 1998, p. 37-39).

Diferentemente dos anos anteriores a 1940, a engenharia de fundações promoveu uma série de inovações importantes no tocante à prospecção do subsolo e conhecimento de suas características. Um grande exemplo é o ensaio "Standard Penetration Test" (SPT), que tem por objetivo principal, fornecer índices de resistência a penetração para a estimativa da taxa admissível do solo, item importante para um projeto de fundações.

O estudo de caso em questão parte das informações obtidas com a investigação geotécnica local bem como a relação dos dados coletados com as características estruturais da edificação. Observa-se, no entanto, que diferentemente de outras obras, onde a fundação parte de um subsolo virgem, esta teve como obstáculo não só as condições geológicas, mas também a existência de uma solução anteriormente executada, o que conduziu a uma interferência técnica incomum.

Portanto, este trabalho propõe o estudo de caso acerca da solução de fundação executada na obra do Edifício Residencial Sierra Lídice, localizado na vertente direita do hoje canalizado córrego São Pedro, no bairro Lídice, em Uberlândia/MG.

2. JUSTIFICATIVA

Normalmente um projeto de fundações segue uma rotina de desenvolvimento técnico que envolve procedimentos iniciais importantes para a definição de itens tais como: a melhor

solução de fundação, os métodos mais eficientes, os processos de execução e a sua viabilidade econômica. O levantamento das cargas de projeto e a sondagem, que têm por finalidade conhecer as camadas resistentes do solo, assim como o estudo para conhecer os tipos de edificações existentes em seu entorno são fatores imprescindíveis para encontrar o binômio perfeito, que tem a estabilidade e a economia como bases.

O que não se espera após este estudo preliminar são as surpresas que surgem no decorrer da execução da obra. Os serviços de escavações realizados por máquinas de grande porte na obra objeto de estudo configuraram-se como atividades preliminares de preparação do terreno para receber as bases do edifício.

A exumação e demolição das peças de tubulões e de um muro de arrimo existente, através de martelo rompedor implantado em uma escavadeira de grande porte e a remoção deste material do canteiro de obras, fizeram com que os custos desta fundação excedessem ao inicialmente planejado pela construtora. Contudo, a possibilidade de implantar as sapatas diretamente em cima do topo rochoso, visível após a escavação, a aproximadamente 5,50 m abaixo do nível natural do terreno, e a segurança proporcionada ao empreendimento pela forma que se deu a execução deste trabalho, acabou criando um novo apoio imprescindível para este sistema, caracterizado pela “confiabilidade”, reforçando assim uma das bases do binômio que inicialmente parecia comprometido pelos custos extras destes serviços.

A flexibilidade das soluções de fundações existentes, a versatilidade dos profissionais envolvidos nesta empreitada e os problemas que surgiram no decorrer da execução, assim como as adaptações que se fizeram necessárias aliadas às três formas de fundações adotadas, justificam este estudo de caso. Neste sentido, espera-se também que o presente trabalho possa servir de exemplo para situações similares dado o constante crescimento dos centros urbanos e, conseqüentemente, à implantação de modernas construções em áreas anteriormente ocupadas, gerando assim a necessidade de soluções semelhantes.

3. CONCEPÇÃO DE OBRAS DE FUNDAÇÕES

Entende-se por fundação todo o conjunto de peças estruturais que tem por finalidade transferir para o solo as cargas da superestrutura ao mesmo tempo em que devem resistir às tensões impostas pelos esforços solicitantes, sem que causem rupturas no terreno com segurança, economia e durabilidade. É importante compreender que dentre as diversas opções de fundação existentes no mercado elas estão classificadas em dois grandes grupos: as superficiais (rasas ou diretas) e profundas.

Sendo assim, de acordo com a ABNT NBR 6122/2010 (“Projeto e execução de fundações”) não se pode restringir este conceito apenas como o escrito no parágrafo anterior. Antes é preciso diferenciar tais grupos.

No item 3.1 da referida norma definem-se fundações superficiais (rasa ou direta) como: elemento de fundações em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas em sua base e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação seja inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, enquanto que as fundações profundas transmitem a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta), ou por sua superfície lateral (resistência de fuste), ou pelas duas, devendo sua ponta ou base estar apoiada em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta e, no mínimo 3,0 m.

Ainda, de acordo com a norma, a classe das fundações superficiais (rasa ou direta), incluem as sapatas, blocos, radier, sapata associada e corrida. E as fundações profundas,

incluem as estacas, tubulões e caixão. Há casos em que se utilizam os dois tipos de fundação (rasa e profunda) em conjunto, denominado “fundação mista”. Como exemplo pode-se citar radier sobre estacas ou sobre tubulões. Dentro do grupo das fundações profundas, as estacas são conhecidas por serem elementos bem mais esbeltos que os tubulões, caracterizadas por alcançarem grandes comprimentos. Dependendo das cargas de projeto, podem ser agrupadas e coroadas por um bloco rígido de concreto denominado bloco de coroamento.

Cabe destacar que a sapata associada é uma fundação comum a mais de um pilar, sendo também chamada sapata combinada ou conjunta. Transmitem ações de dois ou mais pilares e é utilizada como alternativa quando a distância entre duas ou mais sapatas é pequena. (BASTOS, 2012, pg. 2).

Frequentemente surgem novos tipos destes elementos de fundação e, juntamente com eles, as técnicas de execução também seguem em constante evolução. Ainda dentro deste conceito, é importante classificá-las de acordo com o método executivo, onde as estacas de madeira, de aço e de concreto (pré-moldadas e moldadas in situ), estão no grupo das “de grande deslocamento” (cravadas). Os perfis de aço e as de concreto (moldadas in situ com pré-furo e as pré-moldadas com pré-furo) estão no grupo das “de pequeno deslocamento” e, as de concreto (executadas com ferramentas rotativas e diafragma), fecham o grupo das “sem deslocamento” (escavadas). Já os estudiosos Cintra, et al. (1998, p. 265), classificam as estacas mais usuais em duas grandes categorias sendo elas as estacas de deslocamento e as escavadas.

É importante observar que em muitos casos a solução de fundação em estacas é imposta pelas características do subsolo, do local da obra e das condições das construções vizinhas. Em outras situações ocorrem diversas soluções, deixando a critério do projetista e/ou proprietário do empreendimento, o comparativo do fator custo-benefício em função da escolha adotada.

3.1. Exigências e requisitos para um projeto de fundações

Para os que detêm conhecimento na área da construção civil, alguns fatores podem influenciar diretamente na aquisição do terreno a ser edificado.

Os profissionais mais cautelosos antes mesmo deles ou de seus clientes negociarem a compra de uma área recomendam uma investigação do subsolo, a fim de conhecerem os custos e os possíveis tipos de fundações que poderão ser aplicados naquele local.

São muitas as exigências e requisitos para que se possa definir um projeto de fundação, mas o início deste se dá por meio de um levantamento planialtimétrico da área a ser edificada. Neste levantamento deverá conter dados sobre taludes, encostas do terreno com risco de deslizamento ou ainda a possibilidade de erosões.

Os dados geológicos-geotécnicos fornecidos por meio da sondagem aparecem em segundo lugar e têm por finalidade a investigação do subsolo. Dependendo do tamanho da área e da necessidade, ainda podem ser incorporados a esses dados: mapas, fotografias aéreas ou outros tipos de levantamentos.

Os dados da estrutura a que se destina o empreendimento, o método construtivo e as cargas nos pilares, indispensavelmente seguem este roteiro de requisitos para desenvolvimento de um bom projeto de fundação. Conhecer as condições das construções vizinhas, o tipo de estrutura que foi executada, as possíveis consequências provocadas por escavações ou vibrações, número de pavimentos, idade de existência, proximidade da divisa e etc também são requisitos importantes para a prática da boa definição do projeto de fundação.

Dentro deste conceito, e sempre que possível, é de grande valia executar um laudo de vistoria nesses imóveis, descrevendo e fotografando todos os ambientes e as patologias existentes.

Este laudo deverá conter as assinaturas dos proprietários e dos responsáveis pela construção, concordando aqueles com as reais condições de seus bens a fim de, no futuro, eximirem-se estes de possíveis ações, danos e constrangimentos provocados no transcorrer natural da obra ou de situações preexistentes.

Em resumo, as exigências e requisitos para um bom projeto de fundação, segundo Abraão e Velloso (1997, p. 382), devem satisfazer a três requisitos:

- a) Oferecer segurança estrutural assim como os demais elementos da estrutura;
- b) Oferecer segurança satisfatória contra ruptura ou escoamento do solo;
- c) Evitar recalques que a estrutura não possa suportar.

Considera-se, ainda, que para atender os dois últimos requisitos devem ser levadas em consideração as propriedades e capacidade de carga do solo ao cisalhamento e compressibilidade.

3.2. Ações nas fundações

As ações e solicitações deverão ser consideradas sempre na concepção do projeto de fundação. Segundo Velloso e Lopes (1998, p. 211), em outros países estas ações são classificadas em dois grupos: cargas vivas e cargas mortas, onde as cargas vivas, são sub classificadas em três: operacionais, ambientais e acidentais, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de ações ou solicitações na fundação.

Cargas vivas	Operacionais	Ocupação, armazenamento, passagem de veículos, frenagem e aceleração, atracação de navios, e etc.
	Ambientais	Ventos, ondas, sismos, correntes e etc.
	Acidentais	Colisão, explosão, fogo etc.
Cargas mortas ou permanentes	Peso próprio, empuxo de terras e águas etc.	

Adaptado de Velloso e Lopes (1998, p. 211).

No item 5 da ABNT NBR 6122/2010, são apresentadas as ações específicas nas fundações:

- a) Ações provenientes da superestrutura;
- b) Ações decorrentes do terreno;
- c) Ações decorrentes da água superficial e subterrânea;
- d) Ações excepcionais;

- e) Interação fundação-estrutura;
- f) Peso próprio das fundações;
- g) Alívio de cargas devido a vigas alavanca;
- h) Atrito negativo.

Envolvendo estrutura a ABNT NBR 8681/2003 (“Ações e Segurança nas Estruturas”), classifica as ações em permanentes, variáveis e excepcionais, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de ações ou solicitações na fundação segundo a NBR 8681/2003.

Ações permanentes	As que ocorrem com valores constantes durante toda a vida da obra (peso próprio, pesos de equipamentos fixos, empuxos, esforços devido a recalques de apoio).
Ações variáveis	As que apresentam com variações significativas em torno da média (ações devidas ao uso)
Ações excepcionais	As que têm duração curta e baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da obra, porém devem ser consideradas na concepção do projeto (explosões, colisões, incêndios, abalos sísmicos etc.)

Adaptado da ABNT NBR 8681/2003.

A combinação destas ações às quais as estruturas estão sujeitas tem por finalidade encontrar os efeitos mais desfavoráveis e deverão ser consideradas como critério pelo projetista quando da concepção do projeto de fundação.

A ABNT NBR 8681/2003 estabelece estes parâmetros para as combinação destas ações, na verificação dos estados-limite último e estados-limites de utilização.

3.3. Segurança no projeto de fundação

Majorar as cargas aplicadas e minorar a resistência do material a ser empregado é uma expressão utilizada pelos profissionais que atuam na concepção de projetos estruturais. Trata-se de um conceito intrínseco à resistência e segurança dos materiais.

Nos projetos de fundações não é diferente, pois além dos elementos estruturais é necessário que se aplique também este conceito ao solo. Se a resistência deste não for compatível, todo o cálculo dispensado para a estrutura é perdido. Neste caso, pode-se dizer que o solo muitas vezes impõe-se sobre a escolha da fundação.

O professor da disciplina de fundações da PUCRS - Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul, Eduardo Azambuja, afirma que o regime de trabalho de uma fundação deve ser convenientemente afastado do estado limite último e do estado limite de utilização para garantir seu funcionamento frente às variabilidades de ações e às variabilidades das propriedades do solo.

Dentro deste contexto é possível adotar metodologias diversas para o estudo e determinação da pressão admissível do solo. Na ABNT NBR 6122/2010, destacam-se os métodos teóricos deterministas, semi-probabilistas e probabilistas de segurança para o limite último e as determinações por meio de provas de carga, métodos semi-empíricos e empíricos .

Os fatores de segurança (majoração e minoração) dependem da precisão com que os dados primários foram obtidos. No caso das estruturas, o levantamento das forças atuantes é mais preciso em função do conhecimento dos materiais empregados e da possibilidade de escolha do sistema construtivo. No caso dos solos, os estudos geotécnicos mostram que este princípio não pode ser aplicado, por se tratar de um material com a interferência de inúmeras variáveis. Por esta razão, adotam-se os métodos de obtenção de coeficientes de segurança.

Segundo Abrahão e Velloso (1997, p. 383):

Na maioria dos casos em solos, são os recalques que determinam o projeto de uma fundação, pois as deformações que originam estes recalques são insuficientes para que o solo entre em ruptura franca, mas suficiente para originar deslocamentos inaceitáveis nas estruturas sobrejacentes.

Quando se fala em ruptura de fundação, é necessário diferenciá-las em ruptura estrutural e do solo. Em se tratando da última, a ruptura de fundação normalmente é caracterizada pela ocorrência de um valor previamente fixado, excepcionalmente acontecendo o colapso ou escoamento do solo. Isto se dá quando as tensões atuantes superam a resistência do material e provocam as deformações excessivas (escoamento ou plastificação) que, se não atingirem um equilíbrio, pode levar à ruptura franca do material (ABRAHÃO e VELLOSO, 1997, p. 383).

A pressão aplicada superficialmente ao solo que provoca recalque que a estrutura pode suportar sem oferecer riscos de colapso, é conhecida por pressão admissível na fundação superficial. Este mesmo conceito aplica-se às fundações profundas sobre estacas e tubulões isolados. Neste caso, estas pressões são denominadas por carga admissível. Estas, por sua vez, ao serem consideradas no dimensionamento do projeto de fundações são diminuídas, dividindo-as por um fator de segurança, conforme recomenda a ABNT NBR 6122/2010.

Conforme Aoki, et al. (2002, p.1471) no artigo “*Probabilidade de ruína como critério para definir o coeficiente de segurança a ser usado na previsão de carga admissível de fundações por estacas*”, a resistência do elemento isolado de fundação depende, entre outras variáveis, da variabilidade das condições geotécnicas iniciais, devidamente modificadas pelo processo executivo usado na instalação do elemento estrutural no solo, da seção transversal e da profundidade da base.

No artigo em referência, os autores relacionam o fator segurança e o fator confiabilidade da fundação afirmando que ambas dependem da posição da superfície que une as bases dos elementos estruturais (superfície resistente) que compõem a chamada subestrutura.

As solicitações ou esforços solicitantes nas peças estruturais decorrem do efeito das ações ou cargas aplicadas na estrutura. A estabilidade do elemento isolado de fundação exige que, em qualquer ocasião, a solicitação seja menor que a resistência. Define-se coeficiente de segurança de um elemento de fundação isolado, pela Equação 1:

$$C_{s,i} = R_i/S_i$$

(Equação Erro! Indicador não definido.)

Onde: $C_{s,i}$ = coeficiente de segurança do elemento isolado; R_i = capacidade de carga do elemento isolado; S_i = máxima solicitação atuante na direção do esforço.

Ampliando o raciocínio, pode-se aplicar a análise estatística aos valores das solicitações e das resistências relativos a todos os elementos isolados que compõem a fundação. Nesta análise pressupõe-se que a resistência real do grupo de elementos isolados de fundação é maior que a soma das resistências individuais dos elementos isolados. Para uma

fundação formada por um conjunto de “n” elementos isolados, o coeficiente de segurança global C_s relaciona a resistência média R_m com a solicitação média S_m (Equação 2).

$$C_s = R_m/S_m \quad (\text{Equação 2})$$

Esse conceito de coeficiente de segurança global baseia-se na crença largamente difundida no meio técnico, de que o valor esperado mais provável de ocorrência é o valor médio da variável em estudo. Neste caso desconsidera-se a dispersão de valores de resistência em torno do valor médio, não importando se o desvio padrão é grande ou pequeno. Desta concepção resulta a noção de carga admissível P_{adm} (Equação 3), a máxima solicitação que pode ser aplicada com segurança à fundação, para um dado coeficiente de segurança global em relação à ruptura:

$$P_{adm} = R_m/C_s \quad (\text{Equação 3})$$

Atualmente, a ABNT NBR 6122/2010 prescreve coeficiente de segurança global:

- a) $C_s = 2,0$ (obras sem provas de carga) e;
- b) $C_s = 1,6$ (obras com provas de carga).

Assim, de acordo com essa norma, o coeficiente de segurança global variaria entre: $1,6 < C_s \leq 2,0$. Na prática considera-se que a solicitação de qualquer elemento isolado de fundação atenda à seguinte condição de verificação da segurança global (Equação 4):

$$S_i = P_{adm} \quad (\text{Equação 4})$$

Como consequência, o real coeficiente de segurança global é maior que o valor C_s da equação 2.

Neste caso, de acordo com a mesma norma, existem atualmente duas maneiras de se introduzir segurança: pelo método das cargas admissíveis (fator global de segurança) e pelo método dos estados limites (fatores parciais de segurança).

Segundo o professor da disciplina de fundações da PUCRS - Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul, Eduardo Azambuja, os fatores de segurança globais utilizados no método das tensões admissíveis são classificados como externos (vinculados ao carregamento imposto) e internos (vinculado a resistência).

Observa-se que a determinação da capacidade de carga admissível em fundações profundas compreende dois aspectos importantes: o estrutural e o geotécnico. Em obras correntes de fundação, as análises se reduzem à verificação dos estados-limites últimos (também conhecido por estados-limites de ruptura), e a verificação do estado-limite de utilização.

3.4. Qualidade no projeto e execução de fundações

Muitas informações são ocultadas nos levantamentos topográficos ou relatórios geológicos-geotécnicos preliminares desenvolvidos por profissionais e empresas contratadas. Por este motivo, recomenda-se ao projetista que se faça uma visita ao local no intuito de visualizar aspectos de interesse do projeto, tais como: relevo, presença de água superficial, construções no entorno da obra entre outros.

A memória de cálculo deverá ser clara e organizada de maneira a possibilitar a qualquer outro profissional o pleno entendimento. Considerações e fontes de pesquisa também devem compor este documento. É recomendável, ainda, constar anexo à memória uma revisão crítica dos critérios adotados para obter os resultados finais de cálculo.

O acompanhamento da execução da fundação e os métodos aplicados para o desenvolvimento dos serviços, bem como a instrumentação, com o intuito de verificação de recalques, também são critérios indispensáveis à boa qualidade do projeto.

O comparativo dos dados fornecidos pela sondagem devem ser compatíveis com os observados na obra e verificados no decorrer da execução. Caso haja alguma incompatibilidade, é importante providenciar nova campanha de sondagem. Todas as informações e/ou modificações que porventura aconteçam durante a execução deverão ser anotadas no projeto e/ou boletim de campo e, posteriormente, informadas ao projetista com a finalidade de verificação. Segundo a ISO 9000, representada no Brasil pela ABNT, que tem autonomia para emitir certificado de qualidade às empresas que produzem e comercializam, dentro das normas correspondentes, a garantia da qualidade é o conjunto de todas as ações planejadas e sistemáticas que promovam a confiança adequada aos produtos, processos e serviços. Assim, todas as medidas e prevenções citadas, seguidas das recomendações das normas brasileiras, são essenciais para a qualidade do projeto e, também, para a qualidade da execução da fundação.

4. ESTUDO DE CASO DAS FUNDAÇÕES EXECUTADAS NA OBRA DO EDIFÍCIO RESIDENCIAL SIERRA LÍDICE

Como mencionado anteriormente, a boa prática da engenharia de fundações demonstra que nenhuma obra é igual a outra e que mesmo atendendo aos critérios que antecedem um bom projeto de fundação é possível que no decorrer de sua execução haja interferências que fatalmente levarão a novas análises e a novas soluções.

A obra do Edifício Residencial Sierra Lídice localiza-se na cidade de Uberlândia/MG, mais exatamente no bairro Lídice, sendo esta uma das regiões representativas da Formação Serra Geral - Grupo São Bento, constituído por rochas efusivas de natureza basáltica e pequenas lentes de arenito, intercalados aos derrames. Este terreno já contava com uma fundação em tubulões, projetada para receber uma edificação com um subsolo, um pavimento térreo e mais sete pavimentos tipo.

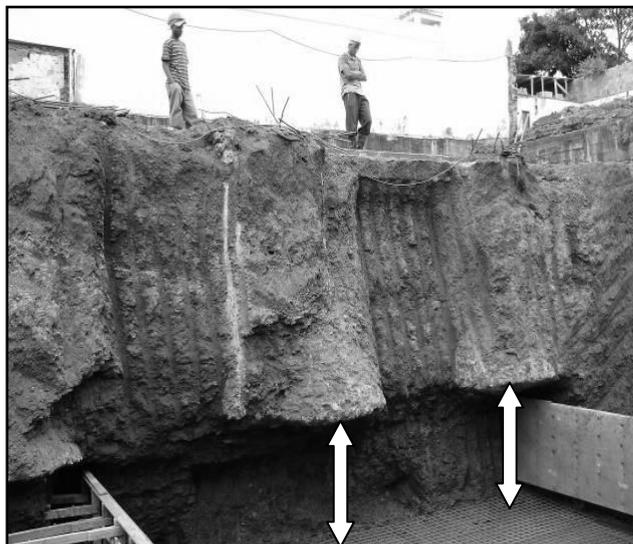
Seguinte a sua aquisição, outras áreas no entorno foram oferecidas à construtora, possibilitando o projeto de um edifício residencial de alto padrão, com um subsolo ocupando 80% da área, um pavimento térreo com estrutura de lazer, quinze pavimentos tipo, com dois apartamentos por andar e duas coberturas tipo duplex. Por consequência, tais alterações exigiram um novo projeto de fundação, consequentemente incompatível com o anteriormente executado.

Após o levantamento e a locação dos elementos de fundação existentes em relação ao gabarito da nova fundação, pensou-se em aproveitar alguns tubulões empregando vigas de equilíbrio. No entanto, esta possibilidade foi totalmente descartada após a exumação de uma das peças (tubulão), que teve por finalidade conhecer com mais precisão a qualidade com que foram executados. Tal processo deu-se por meio da escavação de um novo tubulão encostado ao existente até a cota de sua base. Foi detectado então, que este não se encontrava apoiado no topo rochoso como se esperava, e sim na camada de rocha decomposta (saprolito), aproximadamente a dois metros acima, conforme mostra a Figura 1.

Conforme o Geólogo Ely Borges Frazão (2009), os basaltos que fazem parte desta formação apresentam-se geralmente em diversos tipos petrográficos (variações de composição mineralógica). Esta rocha apresenta um típico processo de intemperização caracterizado pela esfoliação esferoidal vulgo “acebolamento”. Tal manifestação de decomposição gera sobre o topo rochoso um material designado saprolito chamado popularmente de “rocha podre” em

função de sua baixa resistência e alta capacidade de desagregação. No entanto, este material, quando confinado, apresenta uma ótima condição de capacidade de carga, sendo muito bem aceito pelos engenheiros geotécnicos.

Figura 1 – Em destaque, dois tubulões exumados e com a base apoiada sobre saprolito de basalto



Fonte: Acervo dos autores (Setembro/2011).

Este fato é comprovado pela dificuldade de escavação dos tubulões e pode ser evidenciado pela cota da base dos tubulões que foram exumados, pois os mesmos encontravam-se exatamente sobre o saprolito, próximo ao topo rochoso.

Mesmo havendo incompatibilidade entre o projeto antigo e o novo, foi avaliada a possibilidade de se aproveitar tubulões como fundação, o que ocorreu para os alguns pilares periféricos, menos carregados. Para pilares centrais da obra, foi necessário arrancar os tubulões que estavam interferindo na execução das fundações novas e outros, foram apenas ignorados.

4.1 Projeto e execução das fundações superficiais/diretas em sapatas associadas do Edifício Residencial Sierra Lídice

O primeiro procedimento técnico a ser realizado para a elaboração do projeto de fundação da obra foi a realização de três furos de sondagem de simples reconhecimento do subsolo, com SPT. Vale ressaltar que já havia sido realizada, na ocasião da execução do projeto anterior, uma bateria de 5 furos de sondagem.

Os resultados da atual investigação geotécnica foram empregados na confirmação da cota do topo rochoso, além de servirem para o cálculo da capacidade de carga das fundações atuais. Os três furos realizados apresentaram uma homogeneidade em seus resultados tanto no índice SPT quanto na profundidade e características do solo. Este, por sua vez, apresentou na faixa dos 4,00 m argila arenosa com pedregulhos finos de quartzo, com consistência mole e cor marrom escura. Já na cota aproximada de 8,00 m, o material caracterizou-se por apresentar traços de alterações de rocha e, por fim, após uma faixa em torno de 1,00 m de espessura, a sondagem atingiu o impenetrável.

No projeto de fundação, então definido pelo projetista de fundações, foram adotadas sapatas associadas e fundações profundas do tipo tubulões. Entretanto, este projeto exigiu uma maior confiabilidade do material rochoso existente o que culminou ainda, na execução de três furos de sondagem rotativa para avaliar as condições da rocha.

A sondagem rotativa foi realizada com a lavagem do trecho já conhecido pela sondagem a percussão, desprezando assim o manto de solo. O trecho penetrado nos três furos foi em torno de 5,00 m. O material recuperado nas manobras do equipamento rotativo caracterizou rocha de basalto sã, pouco fraturada de cor preta.

Pelos percentuais de recuperação obtidos, observa-se que a rocha é de excelente qualidade, no entanto, o último trecho não atendeu essa regra em função das condições técnicas da sonda rotativa.

Em posse da confirmação da qualidade do material rochoso, foi possível projetar os elementos de fundação em função de suas respectivas capacidades de carga.

As sapatas associadas foram executadas na região que houve grande interferência dos tubulões antigos com a nova fundação. Com a escavação realizada no local para exumação das fundações antigas, o projetista determinou a execução de fundação direta, haja vista que seria inviável o reaterro do local.

Segundo Teixeira e Godoy (1998, p. 229),

Quando as cargas estruturais forem muito altas em relação à tensão admissível, poderá ocorrer o caso de não ser possível projetar-se sapatas isoladas para cada pilar, tornando necessário o emprego de uma sapata única para dois ou mais pilares. Neste caso a sapata será centrada no centro de cargas dos pilares, procedendo-se então à escolha das dimensões, de maneira a obter um equilíbrio entre as proporções da viga de rigidez e balanços da laje. [...] À medida que a concentração de cargas aumenta, a liberdade de escolha do tipo e dimensões das sapatas diminui. O problema de projeto torna-se então o de se encontrar sapatas de qualquer forma, que caibam dentro da área disponível para a fundação.

Na obra em evidência houve os seguintes casos de sapatas associadas (Quadro 3).

Quadro 3 – Relação das sapatas associadas da obra do Edifício Residencial Sierra Lídice

SAPATA ASSOCIADA	PILARES	CARGA AXIAL (tf)
Sapata associada n.º 1	P9	349,00
	PS30	239,00
Sapata associada n.º 2	P10	512,00
	P11	394,00
	P21	556,00
	P22	496,00
Sapata associada n.º 3	P12	363,00
	P13	363,00
	P17	308,00
	P18	308,00
	P19	364,00
	P20	364,00
	P25	723,00
	PS33	31,00
Sapata associada n.º 4	PS34	23,00
	P14	394,00
	P15	512,00
	P23	496,00
	P24	556,00

Fonte: Adaptado do projeto de fundações da obra.

A sondagem à percussão apresentou a cota do nível d'água presente no subsolo em torno de 5,00 m de profundidade. A presença de água foi confirmada após a escavação sendo necessário o seu constante bombeamento para fora da obra, até a concretagem das sapatas. Observa-se, porém, que o nível d'água real foi mais alto que a informação da sondagem, pois houve aumento da pressão neutra após a remoção do material.

Antes da concretagem das sapatas, houve a necessidade de se corrigir o nível do topo rochoso. Tal procedimento foi executado realizando-se um contrapiso armado com tela de aço nervurada soldada 15 x 15 cm CA-60 (Figura 2).

Todo o excesso de solo que não foi possível remover com o equipamento escavadeira, foi removido manualmente por operários e, logo após, foi realizada uma lavagem do topo rochoso empregando a própria água do lençol freático disponível no local. Fragmentos de rocha em decomposição que estavam sobre a rocha sã foram retirados por meio do uso de rompedor para então executar as fôrmas da fundação das sapatas. Em alguns casos foi empregada a própria encosta da escavação como fôrma.

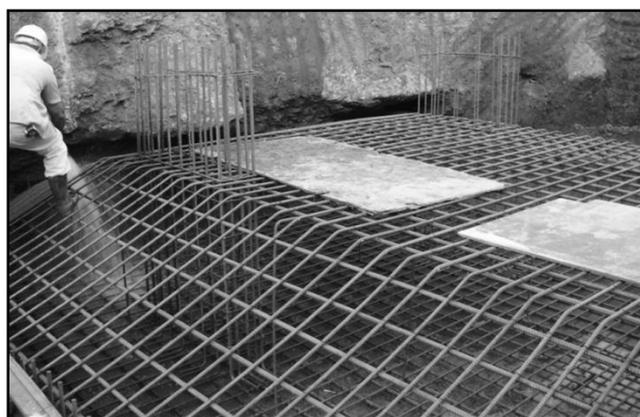
Figura 2 - Contra piso armado com tela de aço nervurada soldada 15 x 15 cm CA-60.



Fonte: Acervo dos autores (Outubro/2011).

Na instalação das armaduras, a bomba para rebaixamento do lençol freático esteve ligada o tempo todo para evitar a inundação do local. Após a armação das sapatas, foi realizada a locação dos pilares com auxílio de prumo de centro devido ao fato do gabarito estar situado acima do nível da base de escavação (Figura 3).

Figura 3 – Em destaque locação das esperas dos pilares.



Fonte: Acervo dos autores (Outubro/2011).

O concreto empregado nas sapatas teve as seguintes especificações:

- ✓ Módulo de elasticidade inicial mínimo aos 28 dias (Eci): Blocos/Sapatas: 28000,00 MPa;
- ✓ Relação a/c máxima: 0,60;
- ✓ Concreto fck: C25;
- ✓ Slump: 10 ± 2 .

A concretagem das sapatas obedeceu aos seguintes procedimentos básicos:

- a) Organizar a equipe e ferramentas para concretagem;
- b) Planejamento junto à usina de concretagem sobre o esquema de fornecimento de concreto para evitar interrupções após o início da concretagem;
- c) Estancar totalmente a água presente no topo rochoso;
- d) Planejar a forma de lançamento do concreto. No caso em questão foi utilizado concreto bombeado;
- e) Certificar que as fôrmas utilizadas atendam as condições de resistência aos esforços laterais impostos pelo empuxo provocado com o lançamento do concreto. O dimensionamento das fôrmas deve ser feito de modo a não sofrerem deformações prejudiciais, quer sob a ação dos fatores ambientais, quer sob a carga, especialmente do concreto fresco, considerando nesta, o efeito do adensamento sobre o empuxo do mesmo.

A respeito do item “e”, a ABNT NBR 6118/2003 afirma que:

As formas deverão adaptar-se às formas e dimensões das peças da estrutura projetada, respeitadas as tolerâncias do item 11. [...] As formas deverão ser dimensionadas de modo que não possam sofrer deformações prejudiciais, quer sob a ação dos fatores ambientes, quer sob a carga, especialmente a do concreto fresco, considerado nesta o efeito do adensamento sobre o empuxo do concreto.

Nas peças de grande vão, dever-se-á dar às formas a contra-flecha eventualmente necessária para compensar a deformação provocada pelo peso do material nelas introduzido, se já não tiver sido prevista no projeto, de acordo com o item 4.2.3.

- f) Determinação da velocidade de concretagem em função dos grandes volumes de concreto. Tal procedimento foi necessário para se evitar a retração deste devido ao alto calor de hidratação;
- g) Acompanhamento dos operários à frente do vibrador para evitar o uso inadequado. Este procedimento faz-se necessário a fim de evitar a segregação/exsudação do concreto devido à vibração excessiva, bem como, o contato da agulha vibratória com as armaduras;

A velocidade de concretagem está diretamente relacionada ao volume de concreto a ser empregado, ou seja, para grandes volumes temos altas temperaturas internas o que colabora para a ocorrência do fenômeno da retração, caso esta condição térmica não seja controlada.

Sobre o lançamento do concreto, Mehta e Monteiro (1994) (apud Santos e Medeiros, 2002, p. 9), em consonância com recomendações normativas internacionais, informam que,

[...] geralmente, o mesmo é feito em camadas horizontais de espessura uniforme, devendo cada uma delas ser inteiramente adensada antes da próxima ser lançada,

alertando que a velocidade de lançamento seja tal que a última camada adensada esteja ainda plástica quando a seguinte for lançada.

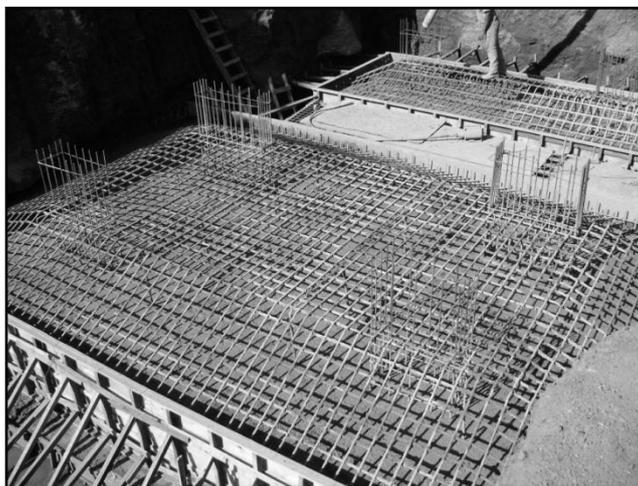
Conforme Mehta e Monteiro (1994) (apud Barbosa, 2012), a segregação é definida como a separação dos componentes do concreto fresco de maneira que sua distribuição não seja mais uniforme. Isto justifica os cuidados no momento da vibração do mesmo.

Quanto à exsudação, esta pode ser definida como um fenômeno pela qual a manifestação externa é o aparecimento de água na superfície do concreto após ele ter sido lançado e adensado, porém antes de ocorrer o início de pega (Barbosa, 2012).

Na obra, estudo de caso, foram concretadas duas sapatas simultaneamente (Figura 4) de tal forma que fossem lançadas camadas de aproximadamente 50 cm em toda a área de cobertura, obedecendo a um intervalo de tempo de uma hora para a concretagem de uma nova camada de mesma espessura.

Neste caso, enquanto era adensada uma das sapatas, a outra passava pelo mesmo procedimento respeitando assim o critério da velocidade de concretagem.

Figura 4 – Em destaque, duas sapatas sendo concretadas simultaneamente.



Fonte: Acervo dos autores (Novembro/2011).

Observa-se, ainda, que após o início da concretagem, o bombeamento da água do lençol freático foi cessado para aproveitá-la como refrigerante do concreto. Parte desta ainda foi aproveitada também para fazer a cura do elemento de fundação.

4.2. Projeto e execução das fundações profundas em tubulões do Edifício Residencial Sierra Lídice

Nos casos onde não houve interferências da fundação antiga com a nova, foi adotada como solução mais viável tubulões escavados manualmente a céu aberto.

A locação da fundação foi realizada conforme o projeto estrutural sob a responsabilidade da construtora. Uma vez localizados, foi iniciada a escavação dos fustes pelos poceiros contratados. Toda a operação foi realizada na presença do lençol freático sendo necessário o bombeamento constante da água percolada.

Atingida a cota prevista em projeto, o terreno no qual se apoiou a base, foi inspecionado pelo engenheiro de fundações para ser aprovado. Lembrando que em alguns

casos é necessário o revestimento do fuste com camisas metálicas ou de concreto, para garantir que o solo mais “fraco” não solape e cause acidentes, o que não aconteceu na obra em evidência, pois as condições de coesão do solo eram bem propícias à segurança da escavação.

Logo após a aprovação das condições geotécnicas de assentamento da fundação, foi dada a autorização para o alargamento da base, realizada também manualmente. Ressaltando-se que tal assentamento se deu sobre o topo rochoso conforme identificado nos perfis das sondagens executadas e confirmado “in-loco”.

Concluída a base alargada, a fiscalização procedeu novamente à inspeção para confirmar a homogeneidade do solo bem como para conferir as mesmas com as condições de cálculo da capacidade de carga oferecidas pelos resultados dos ensaios de investigação do subsolo.

As bocas dos fustes foram protegidas contra a entrada de água da chuva enquanto aguardavam o momento de serem concretados.

Os tubulões foram concretados imediatamente após o término de cada escavação e de cada alargamento de base, após a limpeza do fundo com a remoção do material desagregado, eventualmente acumulado durante a escavação.

O concreto empregado nesta fundação teve como características, $f_{ck} = 25$ MPa, slump 14 ± 2 , consumo de cimento superior a 350 kg/m^3 e consistência auto-adensável.

Adotou-se como regra prática de execução a abertura da base para um tubulão próximo de outro somente após a concretagem da primeira base aberta. Para o caso de mais de duas bases, foram concretadas alternadamente.

Nas regiões de aterro em função da escavação para a execução das sapatas, houve a necessidade de encamisar os fustes dos tubulões adjacentes, pois o terreno, mesmo após sua compactação, não ofereceu resistência suficiente.

O projetista de fundações limitou-se ao dimensionamento dos tubulões, não incluindo no escopo do projeto, a locação planialtimétrica, terraplenagem, implantação da obra, muro de contenção, cálculo estrutural de vigas, blocos e outras estruturas enterradas, nem sobre mão de obra empregada no canteiro de obras, provenientes da execução completa, sendo estes, portanto por conta e responsabilidade da Futura Construtora.

As fundações do projeto foram dimensionadas por métodos semi-empíricos, conforme a ABNT NBR 6122/2010, nas profundidades estimadas por meio dos perfis das sondagens executadas para as cargas de trabalho indicadas no projeto estrutural.

Conforme Alonso (1989, p.41), no caso de existir somente carga axial, este tipo de fundação não é armado, colocando-se apenas uma ferragem de topo para ligação com o bloco de coroamento, o que foi feito na obra em questão para promover a transição monolítica desses dois elementos.

5. CONCLUSÕES

A abordagem deste estudo de caso não se trata de nenhuma inovação na área da engenharia de fundações. A revisão bibliográfica mostra que, através dos tempos, muitos profissionais trabalharam intensamente com o propósito de conhecer e aprimorar novas técnicas para apoiar a estrutura em seus alicerces. A conclusão a que se chega é que até os dias atuais não se descarta as incertezas e riscos inesperados em se tratando de geotecnia. Já os elementos de fundação (sapatas e tubulões), neste caso empregados, nos trazem condições melhores de

avaliação das suas capacidades de cargas e de seus comportamentos, quando solicitados, mediante o controle de qualidade dos materiais empregados e dos ensaios desenvolvidos em laboratórios.

Neste contexto, pode-se dizer que, em se tratando de fundações, é comum encontrar situações adversas às esperadas, e nenhuma fundação, ainda que bem executada, está livre de surpresas indesejáveis.

A relevância deste estudo de caso é atentar para a qualidade da execução de fundações por meio de um sistema de gerenciamento permanente de todas as suas etapas, além do treinamento ostensivo e da conscientização de todos os profissionais envolvidos, no intuito de minimizar as adversidades impostas pelas condições geotécnicas e, alcançar a segurança e a confiabilidade. Por outro lado, não obstante a este gerenciamento, outro fator que se evidencia a cada dia é a necessidade e preocupação constante em se encontrar formas de construir com sustentabilidade, ou seja, planejar e executar sempre pautado nas condições ambientais corretas, socialmente justas e economicamente viáveis.

Sabe-se que a indústria da construção civil é uma das que mais gera resíduos para descarte. Diante deste fato, todo profissional que atua neste seguimento deve buscar alternativas para satisfazer as nossas necessidades, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas próprias. Pensando nisto, a construtora resolveu manter todos os tubulões existentes que não conflitaram com a nova fundação, a fim de se reduzir a geração de resíduo.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, R. A.; VELLOSO, D. A. *Fundações*. In: DOS SANTOS, A. M.; DE BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p. 381-396.

ALONSO, U. Rodriguez. *Exercício de fundações*. Edgard Blucher. São Paulo, 1989.

AOKI, N., et al. *Probabilidade de ruína como critério para definir o coeficiente de segurança a ser usado na previsão de carga admissível de fundações por estacas*. XII COBRAMSEG, ABMS, vol. 3, p. 1471-1481. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro. 2003.

_____. *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro. 2010.

_____. *NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento*. Rio de Janeiro. 2003.

_____. *NBR ISO 9000/2000 - Sistema de Gestão da Qualidade: Fundamentos e Vocabulário*. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

BARBOSA, M. P. *Concreto fresco: influencia do empacotamento de partículas e outros fatores*. Ilha Solteira, UNESP. Material de aula disponível em <http://www.dec.feis.unesp.br/monica/p9.ppt>. Acessado em 21 de abr. de 2012.

BASTOS, P. S. DOS SANTOS. *Sapatas de fundação*. Bauru, UNESP. Notas de aula da disciplina de estruturas de concreto III. 2012.

FRAZÃO, E. B. *Alterabilidade de basaltos em obras de engenharia*. In: SANTOS, A. R. Geologia de engenharia: conceitos, método e prática. São Paulo: Nome da rosa, 2009. p. 211-226.

SANTOS, W. M.; MEDEIROS, J. S. *Fabricação de vigas pré-moldadas protendidas com aderência posterior em canteiros de obras-de-arte especiais*. São Paulo, EPUSP, 2002. 20 p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/321.

VARGAS, M. *História das Fundações: História da engenharia de fundações no Brasil*. In: HACHICH, W. et al. (Ed.). *Fundações: Teoria e Prática*. São Paulo: Pini, 1998. p. 34-50.

VELLOSO, D.; LOPES, F. R. *Concepção de obras de fundações*. In: HACHICH, W. et al. (Ed.). *Fundações: Teoria e Prática*. São Paulo: Pini, 1998. p. 211-226.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. *Análise, projeto e execução de fundações rasas*. In: HACHICH, W. et al. (Ed.). *Fundações: Teoria e Prática*. São Paulo: Pini, 1998. p. 227-264.