

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA CIVIL

Daniela Villibor Amaral
Joseane Batista Feitosa
Michelle Andrade Mongiat

Ensaio para reconhecimento do subsolo - Execução e interpretação dos resultados e análise
investigativa para escolha das fundações

São Paulo
2014

Daniela Villibor Amaral
Joseane Batista Feitosa
Michelle Andrade Mongiat

Ensaio para reconhecimento do subsolo:
Execução e interpretação dos resultados e análise investigativa para escolha das fundações

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Sergio Vicente Denser Pamboukian

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Henrique Furia

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

3D - Três Dimensões

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

GPS - Sistema de Posicionamento Global

GPR - *Ground Penetrating Radar* (Radar de Penetração do Solo)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SPT – *Standart Penetration Test*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	06
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo geral	11
1.1.2	Objetivos específicos.....	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	METODOLOGIA	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
1.5	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1.	MÉTODOS DIRETOS - SONDAGEM À PERCURSSÃO.....	19
2.2.	MÉTODOS INDIRETOS	22
2.2.1	GEOTECNOLOGIA	22
2.2.2	MODELAGEM 3D	23
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, para qualquer obra a ser realizada, existem vários critérios a serem considerados antes de sua execução.

O projeto segue uma sequência lógica. Normalmente é feito o croqui do empreendimento que se deseja construir. Em seguida, um estudo prévio do terreno, como por exemplo, definir a sua topografia, verificar a composição do solo e pesquisar o seu histórico (se o solo é natural ou se ele já sofreu alterações bruscas, como retenção de resíduos tóxicos). Após esta análise, é feito o projeto executivo, de tal maneira que seja indicado quais serão as sequências de execução, o detalhamento quanto a medições em planta referente ao campo e prazo a ser executado.

Para a execução do projeto executivo, existem procedimentos que devem ser respeitados quanto à normatização brasileira, dentre elas a norma NBR 8036, específica para realização do método investigativo de sondagem a percussão, o qual se enquadra nos métodos diretos de investigação, definidos pela observação direta do solo através da coleta de amostras.

A norma citada define que para qualquer tipo de construção em determinado local é necessária a sua realização, com a finalidade de caracterizar o perfil do solo quanto às propriedades mecânicas, ao seu tipo quanto à granulometria e indicar a posição do lençol freático para que assim seja possível determinar a capacidade de carga. Sua realização é imprescindível, pois com ela é possível prever a estabilidade do solo para a construção, prever recalques antes de ocorridos e contribuir para a escolha da fundação, elemento constituinte de qualquer projeto.

Diante dessa necessidade o engenheiro Karl Von Terzaghi, que se dedicou a engenharia do solo, no início do século XX desenvolveu o *Standart Penetration Test* (SPT), que na tradução é Teste Modelo de Penetração. O primeiro equipamento fabricado no Brasil foi em 1938 (baseado em especificações americanas), pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Em 1948, o ensaio ficou mundialmente conhecido como SPT. Em meados de 1957, foi trazido o amostrador padronizado para o país, que deve ser utilizado para o ensaio.

Em fevereiro de 2001 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou uma nova versão da NBR-6484, atualmente utilizada, que substitui a NBR-6484:1980 e cancela e substitui a NBR 7250:1982. Atualmente, a NBR 8036 é a mais recente neste ramo, elaborada em junho de 1983.

As etapas de execução são relativamente simples. O número de sondagens e a posição dos pontos a serem sondados no terreno variam conforme o projeto. Para cada local sondado o procedimento é repetido de metro em metro de profundidade.

Para isto retira-se o amostrador, realiza-se a perfuração até ao próximo metro, e depois de limpo o amostrador é recolocado, apoiado no fundo do furo, sem atrito lateral, para a próxima medição. Qualquer outra forma de execução é errada e pode alterar consideravelmente os resultados.

Os métodos diretos auxiliam para a análise do perfil do terreno quanto à sua profundidade, porém não conseguem estimar a sua composição ao entorno da coleta recolhida. Para isto, existem os métodos indiretos (também conhecidos como geofísicos), que analisam a distribuição em profundidade dos parâmetros físicos do solo através da medição na superfície no terreno em estudo, de modo a predizer os materiais e estrutura geológica ali constituintes, sem a necessidade de coleta de amostras, possibilitando a criação de um mapeamento geotécnico do subsolo.

Segundo (citação direta 1),

A investigação geofísica possui ainda a vantagem de fornecer uma rápida e ampla amostragem do volume investigado do subsolo, em seu estado natural e não perturbado por intervenções diretas (sondagens, cavas e trincheiras).

O *Ground Penetrating Radar* (GPR), que na tradução é Radar de Penetração do Solo (conhecido também como Georadar) é um dos métodos indiretos cuja função é obter leituras de reflexão das camadas do subsolo através da emissão de ondas eletromagnéticas. Este processo ocorre devido à propagação de correntes elétricas e pode ser considerado como um método de investigação geotécnica estatística.

Segundo Gandolfo (2012, p. 56) “O GPR fornece como resultado uma seção que corresponde a uma imagem de alta definição do subsolo, mostrando as interfaces onde as ondas eletromagnéticas sofreram reflexões e retornaram à superfície.”.

O método geosísmico é realizado através de ondas sísmicas. Existem vários tipos destas ondas, porém as mais utilizadas são as compressionais e as cisalhantes, cuja finalidade é para o estudo geotécnico. A diferenciação entre elas é a direção em que a onda é gerada, sendo as compressionais em direção à propagação da onda e as cisalhantes de forma perpendicular.

Em métodos convencionais para os estudos, as ondas sísmicas compressionais vêm sendo a mais utilizada atualmente, devido a sua aquisição ser simples e barata.

Segundo Gandolfo (2012, p.57) “A sísmica de reflexão vem sendo cada vez mais utilizada em ambientes urbanos graças à evolução tecnológica e instrumental da técnica no decorrer dos últimos anos.”.

Por ser um dos métodos mais econômicos, rápidos e eficientes, o SPT estipulado em norma é utilizado para realizar a caracterização do subsolo em diversas profundidades. Porém possui limitações, dentre elas a investigação do terreno em apenas pontos alinhados, conforme figura.

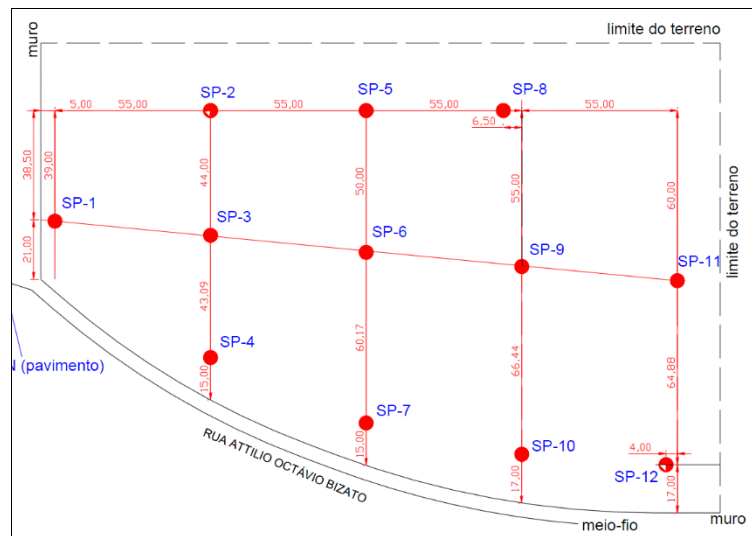


Figura 1. Localização de Furos de Sondagem. Fonte: TECNICON, 2007

A partir da ilustração é possível notar que, a avaliação do subsolo está sendo realizada somente nos pontos indicados de forma unidirecional (conforme profundidade). Mas, para uma avaliação completa sobre o terreno, mais estudos devem ser realizados, como a caracterização do terreno entre estes pontos sondados. Para chegar a resposta é necessário que métodos indiretos sejam empregados para complementar o entendimento do ensaio até então executado.

Mesmo que não estipulados em norma eles colaboram para a investigação do subsolo, propiciando melhores resultados quanto às relações geográficas e amostrais entre os pontos através da análise da distribuição dos pontos sondados em profundidade do solo (análise tridimensional).

Além disso, quando os métodos diretos e indiretos são aliados à modelagem 3D, o processo de escolha do tipo de fundação é extremamente facilitado, pois tendo um modelo geológico rico em informações e conhecendo o valor de resistência à penetração (N_{SPT}) do solo, a sua conformação e tipo, pode-se calcular a capacidade de

carga por meio de métodos semi-empíricos como o de Aoki & Velloso (1975) e Décourt & Quaresma (1978), utilizados para fundações em estacas.

O geoprocessamento é outra ferramenta que pode ser utilizada para contribuir quanto à verificação do tipo de solo em três dimensões. Ele dispõe de métodos computacionais para obter e analisar dados espaciais. Um exemplo de sua aplicação é a epidemia de cólera que se alastrou em Londres no ano de 1854. No início, acreditava-se que a doença estava sendo espalhada pelo ar, mas quando o médico John Snow mapeou, ou seja, fez uma análise espacial sobre os casos de cólera incidentes, identificou que o poço de água da BroadStreet era o foco da doença. A partir daí foi possível encontrar a origem do problema.

O procedimento se dá a partir da coleta, armazenagem, tratamento e análise de dados espaciais por meio das geotecnologias. É feita a coleta desses dados, que podem ou não já estarem georreferenciados. A obtenção dos dados pode ser determinada por Geodésia, Sistema de Posicionamento Global (GPS), aerofotogrametria, cartografia digital, Sensoriamento Remoto por satélites e levantamento topográfico, que armazenam os resultados no Banco de Dados Geográficos.

O Sensoriamento Remoto objetiva captar fotos aéreas que possam definir as formas de relevo (verificando a susceptibilidade a erosão e escorregamentos), redes de drenagem (condicionante para determinar as propriedades das formações geológicas), tipos de vegetação (análise da estrutura geológica), dentre outras características.

Já o tratamento e a análise são efetuados pela modelagem de dados como mapeamento do uso e ocupação do solo, vazios urbanos, áreas de preservação ambiental, estradas existentes, rios, redes de drenagem, esgoto sanitário e plantações. Além disso, é possível mapear um estado para auxiliar na divisão do zoneamento das cidades e identificar quais áreas necessitarão de mais recursos, quais são desregularizadas, de várzea ou de risco.

O modelo geológico, obtido a partir da união das tecnologias de análise de dados espaciais a este tipo de sondagem, também auxilia em estudos de mudanças climáticas, pois o seu conhecimento permite saber como o solo se modificou e os agentes que atuaram sobre ele com o passar do tempo.

Segundo Houlding, (1994 *apud* FONTELES, 2003, p. 91),

Um modelo geológico representa o resultado da interpretação dos fenômenos endógenos e exógenos responsáveis pela formação e disposição espacial dos conjuntos litológicos (rochas e materiais inconsolidados) e feições estruturais (juntas e dobras, etc.).

Com a união destas ferramentas é possível otimizar o processo de escolha do tipo de fundação através deste conjunto, realizando apenas os números mínimos de sondagens estipulados e confrontando os métodos indiretos, o geoprocessamento e a geoestatística com a modelagem geotécnica em 3D, melhorando a visualização do engenheiro quanto a caracterização do perfil do terreno, de modo a reduzir os custos da obra quanto ao número de sondagens realizadas e ao tempo quanto a escolha (que consequentemente influencia no prazo de execução da obra).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é criar um modelo espacial para a caracterização e determinação das capacidades de carga do solo, com o apoio do geoprocessamento e da geoestatística.

1.1.2 Objetivos específicos

Analisar os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), as técnicas e algoritmos de geoprocessamento disponíveis, suas características, aplicações no campo da engenharia civil e limitações.

Familiarizar-se com os conceitos básicos do Quantum GIS, ferramenta escolhida para desenvolver a parte prática deste trabalho.

Realizar estudo de caso, com as seguintes etapas:

- definir a área de estudo. A princípio será feita a tentativa de obter dados de sondagens de prédios construídos no campus Higienópolis da Universidade Presbiteriana Mackenzie (João Calvino e MackGrafe, por exemplo);
- obter altimetria do terreno em estudo, através de informações retiradas do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ou através de levantamento topográfico, se necessário;
- criar um mapa com a topografia (curvas de nível) do terreno;
- obter dados de sondagens realizadas na área de estudo e criar um mapa georreferenciado com indicação dos pontos em que foram realizadas as sondagens;
- criar um mapa com os dados das sondagens realizadas (um mapa por metro de profundidade), vinculado a esse mapa haverá uma tabela com as características de cada sondagem contendo: profundidade da amostra coletada, resistência, tipo de solo (características como granulometria, cor, compacidade), nível d'água e data da coleta;
- realizar a interpolação de dados de cada camada de solo utilizando procedimentos de geoestatística;

- gerar mapa do solo em três dimensões através do programa Surfer 12 ou similar;
- verificar a confiabilidade dos dados interpolados, utilizando novos dados de métodos diretos/indiretos para a checagem;
- analisar as informações obtidas e determinar a capacidade de carga do solo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Um dos motivos mais comuns em atrasos de obras é devido a problemas relacionados à fundação, sejam eles por dimensionamento ou até mesmo pela caracterização do perfil do solo. Isto se deve ao “achismo” dos profissionais que ali estão atuando, pois para evitar altos custos no projeto, acabam realizando os procedimentos mínimos estipulados pelas normatizações brasileiras, baseando-se somente nestes, se esquecendo que nem sempre eles serão o suficiente para o reconhecimento total do terreno.

Também existem os profissionais que preferem elevar o custo da obra realizando maiores quantidades de sondagens previstas do que o mínimo, para verificar as características do solo em pontos desejados, porém os resultados obtidos serão apenas em uma direção, ou seja, de acordo com a profundidade e não conforme a distância horizontal.

Por ventura, utilizando apenas os procedimentos estipulados por normas, dependendo da fase da obra, pode ser que patologias ou recalques imprevistos acabem prejudicando o seu tempo de execução e seus custos, visto que dependendo da finalidade da obra serão necessários reforços na fundação, o que acaba gerando despesas que não haviam sido calculadas no orçamento do projeto executivo, afetando o retorno financeiro do investidor e o tempo para a entrega do projeto.

Visando eliminar estes problemas de dimensionamentos incorretos e obter a conclusão certa sobre a composição do solo em qualquer local do terreno, será criado um mapeamento do perfil do local em 3D, com o auxílio de várias ferramentas (geoprocessamento, geoestatística, métodos diretos e indiretos), o que até então, não existe (existe apenas mapeamento unidirecional do subsolo).

A criação deste mapeamento geológico propiciará um menor tempo para a escolha do tipo de fundação e também para o seu dimensionamento, evitando custos desnecessários e diminuindo o tempo de execução do projeto, que é cada vez mais uma das principais preocupações das construtoras.

Por se basear em dados geoestatísticos, é importante ressaltar que para a validação do modelo (mapeamento geotécnico) é necessário que se realize outro tipo de método investigativo do subsolo (podendo ser métodos diretos ou indiretos) em pontos que não foram sondados, para verificar se a interpolação entre as perfurações

de sondagens (pontos que não foram sondados e nem georreferenciados) pode ser confiável.

A partir desta verificação será possível confirmar qual a composição do solo em qualquer ponto do terreno, contribuindo para uma maior precisão quanto à escolha do tipo de fundação.

Em média, em uma obra são realizados de 3 a 5 perfurações de sondagem sendo necessários de 10 a 15 dias para obter os resultados. Analisando esse intervalo de tempo isoladamente, a relação do custo das perfurações perante o custo total da obra, pode-se parecer pouco significativo, já que, normalmente a sondagem representa por volta de 0,5% do custo total do projeto, mas se analisado as sondagens de várias obras, o tempo e o custo passam a serem consideráveis, fatores analisados criteriosamente pelas investidoras que tentam cada vez mais diminuí-los.

Com a realização dessa combinação entre métodos de estudo, é possível que o custo de futuros projetos seja barateado, facilitando a compreensão do solo quando novas construções forem executadas em locais que já foram realizados os ensaios estipulados por norma.

Além de prever futuras patologias, que em sua maioria são causadas por recalques, devido à movimentação do subsolo, evitam-se as interdições e possíveis quedas de edificações e mortes. A combinação destas ferramentas provocaria um efeito dominó de maneira positiva no cenário social.

Segundo Dickman Berberian (2011),

As chamadas sondagens de terreno estão hoje para a engenharia na mesma proporção que os exames clínicos preliminares apresentam-se para a medicina. Da mesma forma que um médico não opera o paciente sem examiná-lo, não deve haver obra sem sondagem.

Solos colapsíveis também podem ser determinados pela utilização da modelagem 3D através do SPT. Estes são relevantes na previsão de recalques, pois quando submetidos à acréscimos de água, a coesão entre os grãos é diminuída, excedendo a resistência das pontes de argila devido a magnitude das tensões cisalhantes atuantes, provocando o afundamento do solo.

Portanto, o modelo viabilizará uma melhor interpretação do subsolo, a partir de relatórios técnicos de sondagens, com a quantidade mínima de sondagens (visto a importância da coleta de amostras indeformadas do local) diminuindo os custos quanto às perfurações e obtendo os mesmos resultados com menos pontos, possibilitando que

o engenheiro responsável consiga escolher qual o melhor tipo de fundação para o projeto, tornando a obra mais econômica e rápida.

Segundo Soares (2002 *apud* ELLISON *et. al.*, 2011, p. 39),

Um banco de dados proveniente de sondagens, juntamente com o modelo digital do terreno (MDT) e mapas geológicos, é essencial para possibilitar relações 3D de geologia, para melhor visualização e entendimento.

Em obras que hoje se gasta mais em fundações do que o necessário devido à estimativa sobre o que há entre os pontos de sondagens e um maior dimensionamento, com a modelagem será possível ter a certeza sobre o perfil do subsolo, de modo que a fundação possa ser mais barata, conseqüentemente trazendo benefícios para os compradores reduzindo o valor do projeto, que por fim, consegue-se atingir um maior público alvo quanto à classe econômica.

Logo, com o aumento da quantidade de oferta no mercado, cresce a possibilidade de abranger uma maior quantidade de investidores.

1.3 METODOLOGIA

A realização do trabalho será através de uma pesquisa documental e simulações em *softwares*.

A pesquisa documental será realizada com base em dados prévios de sondagem e métodos indiretos de avaliação do subsolo. Será feita uma análise dos parâmetros e correlações entre eles com o objetivo de contribuir para uma interpretação detalhada do subsolo, utilizando também, estudos já publicados sobre a aplicação desses parâmetros, por meio dos *softwares*: Quantum GIS e o Surfer 12 ou similar.

O *software* Quantum GIS 2.0.1 Dufour desenvolvido pela *OpenSourceGeospatial (OSGeo)* em 2006, será significativamente importante para georreferenciar o mapa, a imagem do local, as sondagens executadas e as fundações será utilizado o

O Quantum GIS é um sistema de informações geográficas. Sua função será a atribuição de coordenadas de imagens ao mapa, a qual será realizada em pontos de controle, como cruzamento de vias, rios e pontes. Além disso, o programa irá efetuar a análise destes dados.

O programa será trabalhado em camadas sobrepostas, que podem ser ligadas e desligadas para melhor visualização, podendo ser vetoriais, ou matriciais.

As camadas vetoriais serão compostas por elementos geométricos, como linha, cor, preenchimento e transparência, que será utilizada para a sobreposição permitindo diversas composições. Já as matriciais referem-se a uma matriz de pontos, a qual é construída a partir de imagens orbitais, que serão obtidas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ou no *Google Earth*.

A partir do georreferenciamento realizado no programa Quantum GIS, será utilizado o Surfer 12, que terá a finalidade de criar a modelagem em 3D para análise da composição do solo do local em que as sondagens foram executadas. A partir dos dados coletados, será possível a visualização de diversos mapas, dentre eles as curvas de nível e o perfil do terreno (composição granulométrica).

Pode-se utilizar o *software* para a confecção do mapa em que as camadas de solo serão indicadas de acordo com a extrapolação do programa pelo método da geoestatística.

Para iniciar tal estudo no programa, o mapa estará georreferenciado em malhas regulares, de modo que cada ponto indicado na amostra espacial esteja com coordenadas X, Y e Z.

O número da amostragem indica qual a localização do ponto, no caso, pontos de sondagem, já as coordenadas indicam qual a sua posição geométrica, quanto ao nível topográfico.

Através das coordenadas dos pontos será criada uma tabela, de modo que pela interpolação de cada variável, através de algoritmos do próprio *software*, seja feita a distribuição espacial do solo analisado.

Embora seja possível criar um mapeamento geotécnico com a união da sondagem, métodos indiretos e do geoprocessamento, não existem estudos suficientes que possam comprovar a eficiência destes três métodos juntos. Deste modo, os processos estipulados em norma para a construção de qualquer projeto devem ser respeitados e realizados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho estará estruturado em cinco seções.

A seção 1 apresentará a introdução, que é composta pelos seguintes itens: texto de conceituação e caracterização do tema, objetivos, justificativa e metodologia.

A seção 2 abordará a utilização dos métodos de estudos, como a sondagem, geoestatística, geoprocessamento, e modelagem, de maneira singular ou conjunta, além de apresentar um pouco mais sobre cada um, e como irão se interagir.

A seção 3 irá detalhar o processo quanto a coleta e processamento de dados, desde a interpretação do relatório de sondagem, análise prévia dos dados espaciais até o processo de criação do modelo matemático e computacional.

A seção 4 analisará os resultados do modelo, comparando-os com uma sondagem feita em um ponto aleatório, para testar a confiabilidade do projeto.

A seção 5 relatará as conclusões do trabalho e indicará algumas recomendações para pesquisas futuras.

1.5 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 METODOS DIRETOS - ENSAIO DE SONDAGEM A PERCUSSÃO

Para o presente estudo foram abordadas as práticas de sondagem à percussão, georreferenciamento e modelagem em 3D para a escolha da fundação e a redução do tempo e dos custos da obra.

A sondagem a percussão é uma ferramenta básica de investigação dos solos tanto na engenharia, quanto na segmentação geotécnica quanto nas fundações.

Para Fonteles (2003, *apud* QUARESMA et al., 1998, p. 5),

Sua simplicidade de execução e baixo custo associado são os principais pontos atrativos para sua ampla utilização por parte de empresas Geotecnia no Brasil, assim como em trabalhos acadêmicos. Neste tipo de sondagem é possível se obter uma classificação expedita dos solos amostrados por exame táctil-visual; uma caracterização da compactidade/consistência dos solos; um perfil estratigráfico; a profundidade do nível d'água no momento da execução da sondagem e; amostras para análises.

Primeiramente vale lembrar que para total aproveitamento do ensaio é necessário que ele seja feito de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR) 8036 e da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) (1999).

Após a verificação de todos os documentos necessários ao estudo, como planta de locação dos furos, inicia-se o processo com o trado concha que é utilizado até que se atinja o primeiro metro de profundidade. Então, é feita a montagem do conjunto tripé, e coloca-se o amostrador no furo até que atinja o fundo, marcando os 45 cm que ficaram para fora do solo de 15 em 15 cm, com auxílio de um giz. É feita então a montagem com as roldanas e fios, e posiciona-se o martelo e a cabeça de bater, com extremo cuidado para que o martelo não bata no equipamento, apoiado o sobre o solo, e não influencie no resultado do ensaio.

Para o início da coleta de dados da cravação, levanta-se o peso a uma altura de 76,2 cm exatamente da cabeça de bater, com o auxílio de uma corda e haste guia, que é deixada em queda livre, garantindo, assim, que a energia empregada no amostrador será constante, tornando válido o ensaio. Os primeiros 15 cm correspondem, por norma, ao solo já remexido, ou seja, os valores nele obtidos são indicativos. Dá-se início à segunda parte do ensaio e é anotado o número de golpes dados para que o solo se equipare com a marcação feita no amostrador, nos 30 cm restantes, ressaltando que o número de golpes não deve ser excedido em 60 vezes.

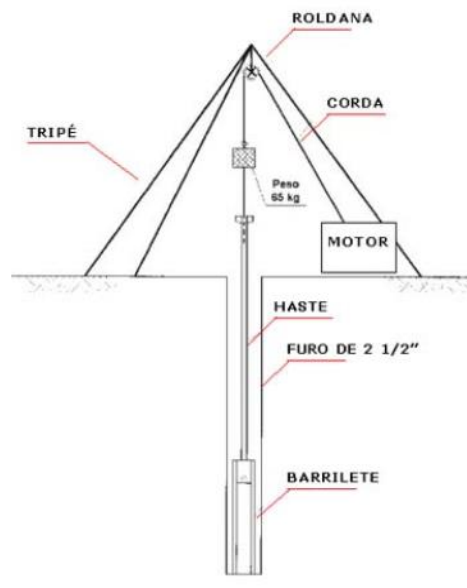


Figura 2. Materiais utilizados no ensaio a percussão Fonte: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura – Fórum da Construção

Ao final é necessário retirar o equipamento e coletar as amostras contidas no mesmo, tomando sempre cuidado para que o manuseio delas não seja prejudicial ou altere seu estado ou estrutura natural. O ensaio é repetido quantas vezes forem especificadas no pedido, com o seguinte processo: o trado é utilizado até que se atinja o próximo metro de profundidade do ensaio, então é colocado novamente o amostrador limpo, e o processo é repetido.

A cravação deve ser interrompida quando se obtiver penetração inferior a 5 cm após dez golpes consecutivos, não se computando os cinco primeiros golpes do teste, ou quando o número de golpes ultrapassar 60 vezes num mesmo ensaio. Nestas situações, o material será considerado impenetrável ao SPT, portanto, devem ser anotados o número de golpes e a respectiva profundidade de penetração atingida, sem aproximações.

As informações obtidas no ensaio são transcritas para o boletim de sondagem com o perfil individual do furo. Logo, um esquema que traduz o perfil geológico do subsolo na posição, baseado nas amostras colhidas durante a perfuração. A descrição é feita a cada metro perfurado e inclui a classificação litológica, cor, tonalidade, informações sobre formação geológica, mineralogia e textura, e estado de alteração das rochas.

O resultado do ensaio, a interpretação e a análise final são feitos com base no número do SPT, e também em cortes longitudinais que passam pelo furo. Através do

SPT, é dimensionada a capacidade de carga da fundação por correlações empíricas obtidas na sondagem como o N_{SPT} , podendo ser a correção de Mello ($\tau_s = N_{SPT}^{1/2} - 1$), Aoki & Velloso, dentre outras.

Bitar et al. (2000) acrescentam que, além das sondagens, devem-se utilizar mapeamentos geológico-geotécnicos e ensaios do subsolo para aprimorar o conhecimento do terreno, melhorar o planejamento do uso do solo e evitar, por conseguinte, imprevistos geológicos que aumentam os custos da obra.

2.2 MÉTODOS INDIRETOS

O objetivo dos métodos indiretos é complementar as informações obtidas nos ensaios tradicionais (principalmente sondagem a percussão).

2.2.1 GEOTECNOLOGIA

A fim de melhor representar o espaço geográfico, as geotecnologias são importantes ferramentas utilizadas para coletar, armazenar e processar informações espaciais. Seu avanço ocorreu devido à necessidade de localização por meio de mapas.

No âmbito profissional, destacaram-se por auxiliar na solução de problemas como desastres naturais, mostrar a disponibilidade e a qualidade das águas subterrâneas para aumentar a oferta de água, além de promoverem a proteção dos mananciais e permitirem a melhoria da disponibilidade de recursos minerais.

Segundo Paiva (2014, p.4),

“A geotecnologia é formada pela junção de várias tecnologias como Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de Imagens (PDI), Cartografia Digital, Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) e Sistema de Informações Geográficas (SIG’s).”.

Um Sistema de Informações Geográficas integra diversos tipos de dados, não somente dados espaciais, e é composto por *hardware*, *software* e procedimentos computacionais. Este tipo de sistema permite analisar e representar o espaço aponta Andrade (2014).

Segundo Gomes (ano, p.):

O SIG é erroneamente considerado um geoprocessamento. Geoprocessamento é um conceito muito mais abrangente, representando qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto o SIG processa dados gráficos (por exemplo, mapas) e alfanuméricos (por exemplo, tabelas) com a finalidade de desenvolver análises espaciais e modelagens da superfície.

O *software* trabalha com camadas matriciais, isto é, imagens orbitais, e camadas vetoriais, ou seja, áreas às quais se pode atribuir dados e características individuais.

Os estudos de Paiva (2014) concluem que, para fornecer análises mais elaboradas e justificar as imagens vetoriais, podem-se associar a elas tabelas com dados externos que, no entanto, devem ser compatíveis com o programa utilizado.

Encontra-se dificuldade para cumprir essa condição à medida que não há padrões definidos para o intercâmbio de dados geográficos.

Os dados são obtidos por meio das geotecnologias, para serem utilizados nos *softwares* do Sistema de Informação Geográfica, precisam ser transformados em um sistema de referência, ou seja, georreferenciados. Ainda de acordo com Paiva (2014), o georreferenciamento é feito através da obtenção das coordenadas do local, em geral, dos pontos de controle, como cruzamento de vias, rios e pontes, colocando-as na imagem, ou mapa.

Segundo Crepani et. at. (2001, p. 120):

Com o avanço dos softwares de processamento de imagens e a capacidade de armazenamento e velocidade dos computadores, nos últimos anos tem incentivado o desenvolvimento de novas metodologias de interpretação digital de imagens de alta e média resolução espacial, especialmente para grandes áreas. As informações obtidas podem ser tão integradas com outros tipos de informações (cartográficas e dados de campo), introduzidas num banco de dados georreferenciado.

Rosa (2005) diferencia que em mapas nos quais se necessita de grande detalhamento, utiliza-se o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), enquanto naqueles com poucos detalhes são usadas às coordenadas geográficas.

Depois do resultado das sondagens e do georreferenciamento, por meio do *software* que utiliza o SIG, deve ser feita a modelagem.

2.2.2 MODELAGEM 3D

A modelagem tem o intuito de melhorar a visualização do engenheiro quanto à análise do subsolo, mas para chegar à criação do modelo, é preciso passar por etapas.

Primeiramente, é necessário que se tenha um entendimento sobre o modelo conceitual do fenômeno em estudo, de modo a definir os processos físicos primários, como os pontos de sondagens já obtidos. Em seguida, descrevê-los para, posteriormente, serem inseridos no programa. A esta etapa, dá-se o nome de modelagem matemática. A partir dos pontos georreferenciados e dos dados geotécnicos obtidos, tem-se a visualização do modelo em escala reduzida.

Para Duarte e Peixoto (2012, *apud* De Sousa e Silva, 2011, p. 11),

No entanto, para garantir a confiabilidade do modelo, é extremamente importante que sejam feitas coletas de todos os dados necessários e de forma precisa, de modo que o resultado apresentado pelo modelo não fuja à realidade. Também é muito importante que haja a calibração dos modelos computacionais, pois esta consiste em ajustes dos parâmetros do modelo, de forma a fazer com que seus resultados se aproximem o máximo possível das medições feitas em campo. Portanto, é importante ressaltar que um modelo é, no máximo, tão bom quanto os dados que o alimentam.

Não é possível basear-se somente no modelo computacional para escolher o melhor tipo de fundação para o local, devido às extrapolações estatísticas e pequenos erros acumulados. Tendo em vista que para o projeto de fundação são necessários ensaios regulamentados pela Norma Brasileira, o *software* fará um mapeamento geotécnico em 3D, visando à redução de tempo e custos operacionais iniciais.

Para a escolha do tipo de fundação são imprescindíveis os dados quanto à resistência do solo e sua composição em cada camada. Há dois tipos de fundação, as diretas, que se dividem em superficiais e profundas, e as indiretas, entre pré-moldadas e moldadas no local.

Segundo Golombek (2011),

“A Engenharia de fundações é um processo contínuo. É uma jornada com várias paradas, muitas voltas e muitos redirecionamentos, e nunca um destino final. Sempre tentamos fazer melhor, mas nada é absolutamente perfeito. A característica básica desta busca é permitir a mudança, e as conquistas fazem parte desse processo.”

Diante disso, percebe-se que na área de fundações são necessárias tentativas, estudos, e até mesmo a reciclagem de conceitos ou métodos que, por algum motivo, deixaram de ser utilizados.

Unindo o ensaio SPT ao georreferenciamento e ao uso da geoestatística na modelagem 3D, será possível criar um modelo virtual do subsolo, possibilitando assim um melhor estudo a partir das informações obtidas.

Segundo Constâncio (2011, p.3),

Nenhum ensaio geotécnico está com seu fim decretado, todos se complementam, e precisamos cada vez mais agregar, evoluir e aprimorar os recursos que dominamos, [...] Nenhum tipo de ensaio é obrigado a fornecer um universo de dados 100% compatível com a realidade, e nem foram concebidos para isso. Na verdade temos que nos familiarizar cada vez mais às limitações e trabalhar com conceitos estatísticos e tratamento/racionalização dos dados recebidos.

Com base neste comentário observa-se a importância e necessidade que há em cada vez mais combinar disciplinas que possam agregar todas as áreas, além de ser preciso inovar nos meios técnico e acadêmico.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, EspeditaMacena de. **Uso e cobertura do solo do município de Dona Inês/PB, com base nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)**. 2014. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Departamento de Centro de Humanidades, Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2014.

BITAR, Omar Yazbek; IYOMASA, Wilson Shoji; CABRAL, Marsis. **Geotecnologia Tendências e Desafios**, São Paulo. Revista São Paulo em Perspectiva, São Paulo, SP, v. 14, n. 3, julho/setembro 2000. Disponível em www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000300013. Acesso em: 11/10/2014.

CONSTANCIO, Lucas Amarante. **2011 e o SP Americana: HELIX**, 2011, p.3. Disponível em <http://www.helix.eng.br/downloads/artigo-lucas.pdf>. Acesso em 11/10/2014.

DUARTE, Felipe Teixeira; PEIXOTO, Rodrigo dos Santos. **Estudo da Influência dos Processos Sedimentológicos do Canal do Mangue no Porto do Rio de Janeiro com Auxílio da Modelagem Computacional**. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005786.pdf>. Acesso em 11/10/2014.

FONTENELES, Helano Regis da Nóbrega. **Caracterização Geotécnica do Subsolo da Porção Nordeste do Município de Fortaleza (CE) com Base em Geoestatística**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2003.

PAIVA, Bárbara Louise Marques de. **Estudo Comparativo de Softwares Gratuitos de Geoprocessamento para Elaboração de Projetos de Engenharia**. 2014, 20 f. PIBIC (Iniciação Científica CNPq) – Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**, São Paulo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, SP, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Roberto_Rosa.pdf. Acesso em: 11/10/2014