



XIX COBREAP | Foz do Iguaçu

INOVAÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

**CONGRESSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS**

21 a 25 agosto de 2017

Hotel Mabu Thermas Grand Resort
Foz do Iguaçu / PR / Brasil

**A INVESTIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO NO SUBSOLO – INOVAÇÕES DA NORMA ABNT NBR
15.492:07**

FRANCISCO MAIA NETO

ALONSO STARLING DE PÁDUA LAMY DE MIRANDA

SAYONARA LÚCIA BERNADINO



O Conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade dos seus autores.



A investigação de contaminação no subsolo – inovações da Norma ABNT NBR 15.492:07

Resumo:

Investiga-se os principais parâmetros normativos atinentes a investigação do subsolo quanto a qualidade do solo, principalmente quanto a contaminação do solo. Destaca-se as principais características do procedimento que deve ser adotado, assim como a insuficiência dos tradicionais método de sondagem diante das inovações trazidas pela Norma NBR ABNT 15.492:2007.

Palavras-chave: prospecção, solo, contaminação

1. Introdução

No início do ano 2000, iniciou-se no país uma discussão no mercado imobiliário acerca das consequências de aquisição e construção de empreendimentos em área sem a devida investigação geológica, não só para apurar as condições técnicas do solo, mas, também, suas condições químicas e biológicas.

Este assunto, de extrema seriedade, a cada dia que passa ganha mais destaque, principalmente quando o mercado se mostra extremamente aquecido, onde a carência de terrenos para incorporar e o avanço das fronteiras para a expansão urbana propiciam o aproveitamento de áreas outrora ocupadas por atividades industriais ou fabris, cujo controle pode não ter sido coerente com as preocupações ambientais.

Esse enfoque se mostra ainda mais preocupante a partir da publicação da Norma NBR 15.492:2007, que identifica procedimentos para a sondagem e reconhecimento para fins de qualidade ambiental, e da resolução- nº 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), ocorrida em 28 de dezembro de 2009, que estabeleceu parâmetros para a avaliação da qualidade do solo em relação à presença de substâncias químicas, além de responsabilizar o adquirente do terreno pelo passivo ambiental do local, ainda que o agente causador seja externo, ou mesmo o antigo proprietário.

Por essa razão, tornou-se imperativa a aplicação de técnicas investigatórias quando da aquisição de um terreno, que se inicia pela avaliação preliminar, quando se busca um levantamento histórico da ocupação do local, por meio de entrevistas na vizinhança, solicitações de certidões em órgãos municipais e estaduais, e fotos aéreas, passando para a avaliação confirmatória, quando se avalia o potencial de contaminação do local, especialmente se ocorrer um fato ou apenas uma alteração de qualidade.

Ultrapassadas as etapas iniciais, chega-se à avaliação detalhada, quando deve ser delimitada a contaminação diagnosticada nas investigações anteriores, cujo principal objetivo é encontrar o centro de massa da contaminação, denominado hot spot.

Concluídas as três fases avaliatórias, parte-se para a análise de risco toxicológico, onde se avalia a probabilidade do risco decorrente da contaminação identificada e os estudos são direcionados para o uso previsto no local, até chegar ao plano de intervenção, que irá indicar as medidas para reabilitação da área, cuja principal consequência pode ser a perda de empreender, em função dos custos e do tempo para descontaminação do terreno.

2. A norma de sondagem para reconhecimento para fins de qualidade ambiental e os métodos para investigação do subsolo:

A Norma ABNT NBR 15492:2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental, “estabelece os requisitos exigíveis para a execução de sondagem de reconhecimento de solos e rochas para fins de qualidade ambiental”.

1 Escopo

1.1 Esta Norma estabelece os requisitos exigíveis para a execução de sondagem de reconhecimento de solos e rochas para fins de qualidade ambiental.

Para isso, no item 4 da Norma, são descritos os equipamentos e métodos de perfuração que deverão ser avaliados segundo as “*características específicas de cada área, do objetivo do trabalho e as vantagens e desvantagens de cada método,*” devendo incluir, embora não se limitando, “*os parâmetros hidrogeológicos e as condições ambientais existentes na área*”. Nesse sentido, para orientar a condução dos trabalhos, a própria Norma ABNT NBR 15492:2007 apresenta nas Tabelas 1 e 2 um breve “*Guia de seleção de métodos de perfuração*”, que colacionamos abaixo.

Tabela 1 — Guia de seleção de métodos de perfuração

Métodos de perfuração	Fluido de perfuração	Utilização de revestimento	Tipo de material perfurado	Profundidade atual m ^a	Variação do diâmetro do furo mm	Possibilidade de coleta de amostras	Tipo de amostra ^b
Trado manual	Nenhum	Não	Solo	< 20,0	50,8 - 254,0	Sim	S
Trado espiral mecanizado	Nenhum	Não	Solo	< 25,0	50,8 - 254,0	Sim	S
Trado helicoidal oco (<i>Hollow Stem Auger</i>)	Nenhum, água, lama	Sim	Solo, rocha alterada	< 45,0	127,0 - 558,8	Sim	S, F
Trado helicoidal sólido (<i>Solid Stem Auger</i>)	Nenhum, água, lama	Não	Solo, rocha alterada	< 45,0	50,8 - 254,0	Sim	S
Rotativa com fluido	Água, lama	Sim	Solo, rocha	- °	50,8 - 152,4	Sim	S, R
Rotopneumática (Rotativa com ar)	Ar, água, espuma	Sim	Solo, rocha	- °	50,8 - 914,4	Sim	S, R, F
Rotativa com cabo (<i>Wireline</i>)	Ar, água, espuma	Sim	Solo, rocha	- °	76,2 - 152,4	Sim	S, R, F
Rotativa com circulação reversa (<i>Reverse Fluid Rotary</i>)	Água, lama	Sim	Solo, rocha	< 600,0	304,8 - 914,4	Não, amostra de calha	S, R, F

Tabela 2 (conclusão)

Métodos de perfuração	Fluido de perfuração	Utilização de revestimento	Tipo de material perfurado	Profundidade atual m ^a	Variação do diâmetro do furo mm	Possibilidade de coleta de amostras	Tipo de amostra ^b
Percussora	Água	Sim	Solo, rocha	< 1 500,0	101,6 - 609,6	Sim	S, R, F
Cravação contínua (<i>Direct-push</i>)	Nenhum	Sim ou não	Solo	< 30,0	31,75 - 76,2	Sim	S, R, F
Sônica	Nenhum, ar, água, lama	Sim	Solo, rocha, matações	< 150,0	101,6-304,8	Sim	S,R, F
Percussão com lavagem	Água, lama	Sim	Solo	< 45,0	50,8-101,6	Sim	S, R, F

^a As profundidades das perfurações indicadas na Tabela podem variar de acordo com as condições hidrogeológicas existentes no local e o tamanho do equipamento utilizado. Por exemplo, sondas grandes com alto torque podem perfurar maiores profundidades que as menores, sob as mesmas condições. Furos abertos usando ar/ar e espuma podem atingir maiores profundidades com maior eficiência, usando compressores de deslocamento positivo de dois estágios com a capacidade de desenvolver pressões de trabalhos de 250 psi a 350 psi e 500 cfm a 750 cfm, particularmente quando a submersão exige altas pressões. Os menores compressores do tipo rotativos são capazes apenas de produzir uma pressão de trabalho máxima de 125 psi e produzir 500 cfm a 1200 cfm. Do mesmo modo, a torre da sonda deve ser construída seguramente para levantar a carga esperada. Considerando as eventualidades, é recomendado que a taxa de capacidade da torre seja pelo menos duas vezes a carga prevista ou a carga normal levantada. Os métodos descritos na Tabela podem ser utilizados isolados ou combinados.

^b S (solo),
R (rocha),
F (fluido) - somente abaixo do NA (nível d'água)

Algumas amostras podem exigir instrumentos para amostragem.

^c Normalmente utilizada para grandes profundidades e sem limite definido de alcance de perfuração.

2.1. A sondagem de simples reconhecimento à percussão (SPT)

Dentre os métodos apresentados, a sondagem de simples reconhecimento à percussão, também conhecida como SPT, sigla para *standard penetration test*, destaca-se em relação aos demais por ser o ensaio mais executado na maioria dos países do mundo, e também no Brasil. Aliado a este fato, a própria Norma ABNT NBR 15492:2007, reconhece esta primazia do método "SPT" ao determinar no item 2 a observância indispensável da Norma ABNT NBR 6484:2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio para a sua aplicação.

2 Referência normativa

O documento relacionado a seguir é indispensável à aplicação deste documento. Para referência datada, aplica-se somente a edição citada. Para referência não datada, aplica-se a edição mais recente do referido documento (incluindo emenda).

ABNT NBR 6484:2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio

ABNT NBR 15495-1:2007 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção

Por essa razão, apresentamos a seguir, uma explicação detalhada deste método, conforme descrito no livro *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*¹, a seguir reproduzidos.

“O Standard Penetration Test (SPT) é reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação em praticamente todo o mundo, permitindo uma indicação da densidade de solos granulares, também aplicado à identificação da consistência de solos coesivos e mesmo de rochas brandas.

Métodos rotineiros de projeto de fundações diretas e profundas usam sistematicamente os resultados de SPT, especialmente no Brasil.

O ensaio SPT constitui-se em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração é realizada por trado e circulação de água utilizando-se um trépano de lavagem com ferramenta de escavação. Amostras representativas do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio de amostrador-padrão, de diâmetro externo de 50mm. O procedimento de ensaio consiste na cravação deste amostrador no fundo de uma escavação (revestida ou não), usando um peso de 65,0 kg, caindo de uma altura de 750mm (ver ilustração nas Figuras 2.1 e 2.2). O valor NSPT é o número de golpes necessário para fazer o amostrador penetrar 300mm, após uma cravação inicial de 150mm.

As vantagens deste ensaio com relação aos demais são: simplicidade do equipamento, baixo custo e obtenção de um valor numérico de ensaio que pode ser relacionado com regras empíricas de projeto. Apesar das críticas válidas que são continuamente feitas à diversidade de procedimentos utilizados para execução do ensaio e à pouca racionalidade de alguns dos métodos de uso e interpretação, este é ainda o processo dominante na prática de Engenharia de Fundações.

Este capítulo apresenta os aspectos relevantes à análise do SPT e suas limitações, à luz dos conhecimentos recentes, esclarecendo os usuários dos cuidados envolvidos no uso e interpretação dos resultados do ensaio, e divulgando o conhecimento sobre técnicas modernas.”

¹ Schnaid, Fernando. *Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*. Ed. Oficina de Textos, 2000.

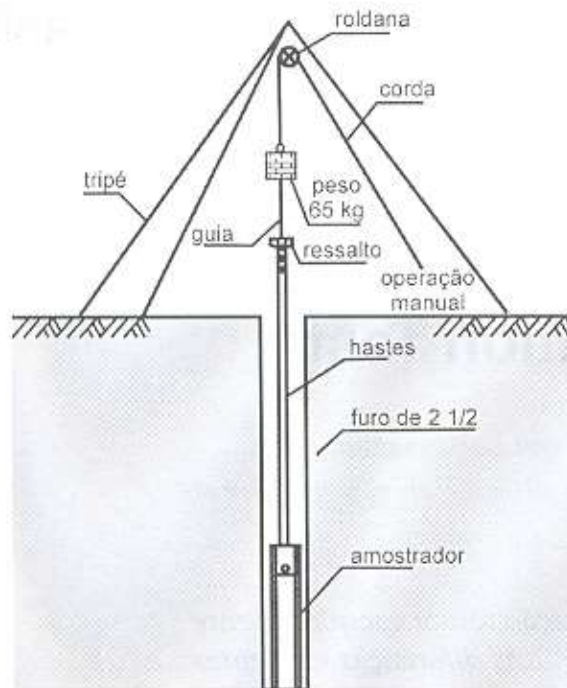


Figura 2.1 Ilustração do ensaio SPT

Figura 1 - Ilustração do ensaio SPT. Figura retirada do livro Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações

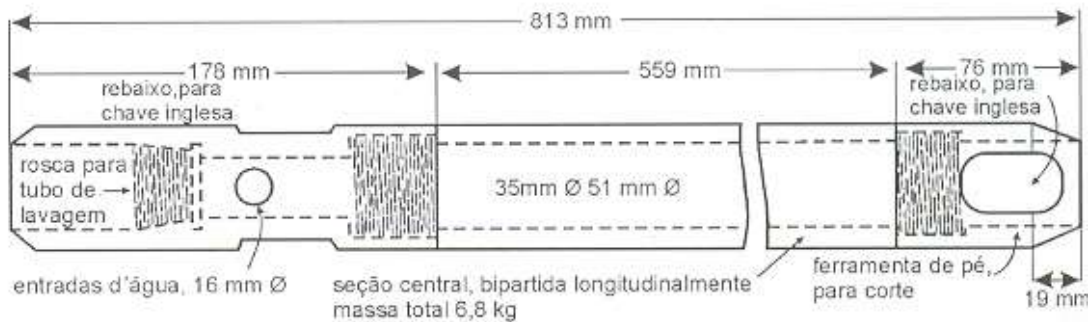


Figura 2 - Seção esquemática do amostrador bipartido. Figura retirada do livro Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações

3. Considerações e planejamento da perfuração

3.1. Norma ABNT NBR 15492:2007 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental

Define a Norma ABNT NBR 15492:2007 a necessidade de avaliação por profissional habilitado dos fatores que afetam as condições superficiais e subsuperficiais da área em estudo, assim como os acessos e as condições para

instalação dos equipamentos de perfuração. Ainda segundo a Norma, “o objetivo do estudo também definirá o tipo e a complexidade da amostragem a ser realizada”.

A Norma ainda reconhece a que os pontos onde serão realizadas as investigações irão depender das informações obtidas sobre o local. No entanto, ela estabelece o procedimento usual que deve ser realizado.

A definição dos locais para a perfuração pode variar devido à disponibilidade de dados confiáveis sobre a área. Entretanto, o procedimento usual é o apresentado a seguir:

a) levantamento histórico de informações e pesquisa bibliográfica

- deve-se coletar e revisar todas as informações e dados disponíveis, sobre as condições superficiais e de subsuperfície da área. É necessário pesquisar dados existentes referentes à área de estudo, que incluem, mas não se limitam a: mapas topográficos, fotos aéreas, imagens de satélites, informações sobre sondagens anteriores, dados geofísicos, mapas e artigos geológicos, dados oficiais de mapeamento de solo e rocha, artigos sobre recursos hídricos e dados de poços existentes na área de interesse, uso de ocupação de solo pretérito, atual e futuro;

- b) relatórios disponíveis sobre a superfície ou subsuperfície de áreas próximas ou adjacentes podem ser considerados e as informações pertinentes podem ser utilizadas no corrente projeto, se forem aplicáveis e confiáveis. Levantamentos geofísicos e dados da água subterrânea também podem ser utilizados para planejar a localização das perfurações. Em seguida, deve-se analisar a confiabilidade e abrangência destes.

Neste ponto se destaca a necessidade do levantamento histórico de informações e dados disponíveis sobre o terreno e a região, incluindo, a pesquisa do uso e ocupação de solo pretérito, atual e futuro, de forma a se identificar possíveis interferências humanas que podem influenciar nas condições ambientais do terreno, como no caso de aterros sanitários, por exemplo.

3.2. Norma ABNT NBR 6484: 2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio

A Norma referente ao SPT prescreve o método de execução de sondagens simples, cujas finalidades para Engenharia Civil, são a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência, a posição do nível-d'água e os índices de resistência à penetração de cada faixa do solo.

O documento estabelece ainda, em seu item 5, a descrição sumária dos elementos, com o detalhamento do trépano de lavagem e as dimensões para fabricação da cabeça, corpo, martelo e sapata, cujas medidas devem ser verificadas em obras.

Já no item 6 da Norma, está discriminado o procedimento para execução dos ensaios quanto a locação do furo e quantidades, ao processo de perfuração, a amostragem, os critérios de paralisação do ensaio, a observação quanto ao nível do lençol freático e a identificação das amostras e elaboração do perfil geológico-geotécnico da sondagem.

Já descrito de forma expedita como é realizado o procedimento do ensaio SPT em tópico anterior, como o objetivo deste trabalho consiste na análise da importância da observância às Normas Técnicas para identificação das áreas

contaminadas, dar-se-á destaque aos pontos da Norma relativos à locação e quantidade dos furos, assim como a identificação das amostras e a respectiva elaboração do perfil geológico-geotécnico da sondagem.

Quanto à locação dos furos, estabelece a Norma em análise, em seu item 6.1, uma nova referência à norma ABNT NBR 8036:1983, para definição da locação dos furos de sondagem. A análise das condições estabelecidas nesta Norma para definição da locação dos furos será abordada no próximo subitem.

6 Procedimento

6.1 Locação do furo e quantidades

Quando da sua locação, cada furo de sondagem (ver NBR 8036) deve ser marcado com a cravação de um piquete de madeira ou material apropriado.

Este piquete deve ter gravada a identificação do furo e estar suficientemente cravado no solo, servindo de referência de nível para a execução da sondagem e posterior determinação de cota através de nivelamento topográfico.

Quanto a identificação das amostras e a respectiva elaboração do perfil geológico-geotécnico da sondagem, a Norma ABNT NBR 6484:2001 estabelece os parâmetros mínimos de identificação das características das amostras:

6.6 Identificação das amostras e elaboração do perfil geológico-geotécnico da sondagem

6.6.1 As amostras devem ser examinadas procurando identificá-las no mínimo através das seguintes características:

- a) granulometria (ver NBR 7181);
- b) plasticidade;
- c) cor; e
- d) origem, tais como:
 - solos residuais;
 - transportados (coluvionares, aluvionares, fluviais e marinhos);
 - aterros.

Na sequência, a Norma estabelece parâmetros para a nomenclatura das amostras de acordo com estas características mínimas que devem ser identificadas.

Nesse sentido, destaca-se a parte final deste tópico da Norma que determina a designação da origem dos solos e aterros, que deve constar acrescida na nomenclatura definida do solo no ensaio, assim como quando há presença de mica.

6.6.9 Quando, pelo exame tátil-visual, for constatada a presença acentuada de mica, a designação micácea é acrescentada à nomenclatura do solo.

6.6.10 A designação da origem dos solos (residual, coluvial, aluvial, etc.) e aterros deve ser acrescentada à sua nomenclatura.

No caso de solos residuais, recomenda-se a indicação da rocha mater.

3.3. Norma ABNT NBR 8036:1983 – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios

Denominada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) como Norma Brasileira para Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento dos

Solos para Fundações de Edifício, a NBR-8036, anteriormente denominada NB-12/1979, foi publicada em junho de 1983, cujo objetivo é o de fixar as condições exigíveis nestas atividades para a construção de edifícios.

Esta programação abrange o número, a localização e a profundidade das sondagens, sendo relevante enfatizar os pontos a seguir reproduzidos.

“4.1.1 Número e localização das sondagens

*4.1.1.1 O número de sondagens e a sua localização em planta dependem do tipo das estrutura, de suas características especiais e das condições geotécnicas do subsolo. **O número de sondagens deve ser suficiente para fornecer um quadro, o melhor possível, da provável variação das camadas do subsolo do local em estudo.***

*4.1.1.2 **As sondagens devem ser, no mínimo, de uma para cada 200 m² de área da projeção em planta do edifício, até 1200 m² de área. Entre 1200 m² e 2400 m² deve-se fazer uma sondagem para cada 400 m² que excederem de 1200 m². Acima de 2400 m² o número de sondagens deve ser fixado de acordo com plano particular da construção. Em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser:***

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

b) três para área entre 200 m² e 400 m².

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

4.1.1.4 As sondagens devem ser localizadas em planta e obedecer às seguintes regras gerais:

a) na fase de estudos preliminares ou de planejamento do empreendimento, as sondagens devem ser igualmente distribuídas em toda a área; na fase de projeto podem-se localizar as sondagens de acordo com critério específico que leve em conta pormenores estruturais;

b) quando o número de sondagens for superior a três, elas não devem ser distribuídas ao longo de um mesmo alinhamento.”

3.4. Norma ABNT NBR 6122:2010 – Projeto e execução de fundações

Por fim, como o presente estudo visa a identificar a regulamentação normativa atinente às condições do solo para a identificação das áreas contaminadas, com o foco da avaliação do terreno para a implantação de edificações, é essencial também analisar a Norma ABNT NBR 6122:2010, que *“trata dos critérios gerais que regem o projeto e execução de fundações de todas as estruturas convencionais da engenharia civil”*.

Esta Norma estabelece no tópico 4, critérios e métodos a serem observados referentes às investigações geológicas e geotécnicas dos terrenos que devem ser realizadas e consideradas na elaboração dos projetos e na previsão de desempenho das fundações.

4 Investigações geológicas e geotécnicas

4.1 Reconhecimento inicial

Devem ser considerados os seguintes aspectos na elaboração dos projetos e previsão do desempenho das fundações:

- a) visita ao local;
- b) feições topográficas e eventuais indícios de instabilidade de taludes;
- c) indícios da presença de aterro (bota-fora) na área;
- d) indícios de contaminação do subsolo por material contaminante lançado no local ou decorrente do tipo de ocupação anterior;

- e) prática local de projeto e execução de fundações;
- f) estado das construções vizinhas;
- g) peculiaridades geológico-geotécnicas na área, tais como: presença de matacões, afloramento rochoso nas imediações, áreas brejosas, minas d'água etc.

4.2 Investigação geológica

Em função do porte da obra ou de condicionantes específicos, deve ser realizada vistoria geológica de campo por profissional especializado, eventualmente, complementada por estudos geológicos adicionais.

4.3 Investigação geotécnica preliminar

Para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens a percussão (com SPT), visando a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{SPT} , de acordo com a ABNT NBR 6484. Na classificação dos solos deve ser empregada a ABNT NBR 6502.

Em função dos resultados obtidos na investigação geotécnica preliminar, pode ser necessária uma investigação complementar, através da realização de sondagens adicionais, instalação de indicadores de nível d'água, piezômetros, bem como de outros ensaios de campo e de ensaios de laboratório. Em obras de grande extensão, a utilização de ensaios geofísicos pode se constituir num auxiliar eficaz no traçado dos perfis geotécnicos do subsolo.

Independentemente da extensão da investigação geotécnica preliminar realizada, devem ser feitas investigações adicionais sempre que, em qualquer etapa da execução da fundação, forem constatadas diferenças entre as condições locais e as indicações fornecidas pela investigação preliminar, de tal forma que as divergências fiquem completamente esclarecidas.

Para a programação de sondagens de simples reconhecimento para fundações de edifícios, deve ser empregada a ABNT NBR 8036.

4.4 Investigação geotécnica complementar

Após a realização inicial de sondagens a percussão, em função de peculiaridades do subsolo e do projeto, ou ainda, caso haja dúvida quanto à natureza do material impenetrável a percussão, devem ser realizadas investigações complementares. Neste caso, sondagens adicionais e outros ensaios de campo serão programados.

4. Procedimento a ser realizado para investigação da qualidade do solo em observâncias às Normas Técnicas

Conforme preconiza a Norma ABNT NBR 15.492:2007, o **planejamento da perfuração**, com a definição do método de perfuração, deve se iniciar pelo estudo, realizado por profissional habilitado, de todos os fatores que afetam as condições superficiais e subsuperficiais da área em análise.

A Norma ABNT NBR 15.492:2007 apresenta o procedimento usual, que deverá realizar um levantamento histórico de informações e pesquisa bibliográfica, assim como relatórios sobre a superfície e subsuperfície de áreas próximas ou adjacentes, que, se aplicáveis e confiáveis, poderão ser utilizados no projeto. Dessa forma, a definição dos locais para a perfuração pode variar devido à disponibilidade de dados confiáveis sobre a área.

Estabelecido o planejamento da perfuração, a partir dos dados obtidos no levantamento histórico de informações e em visita à área, deve ser elaborado um **modelo conceitual** preliminar da área, analisando hipóteses de transporte de contaminantes até os receptores do sistema. Para tanto, a depender do terreno avaliado, pode ser necessária a execução de um modelo hidrogeológico preliminar, com a indicação dos sentidos de transportes, das fontes contaminantes e ainda dos receptores do sistema.

Além dos cuidados básicos a serem tomados em qualquer investigação de subsolo, explicitados em normas específicas, tal qual a certificação de inexistência de interferências subterrâneas (tubulações, cabeamentos, galerias, etc.), que deverão ser checadas em campo, a Norma estabelece cuidados específicos em se tratando de investigação da qualidade ambiental, sobretudo quanto a as perfurações forem destinadas à instalação de poços de monitoramento.

Entre os cuidados especificados, destacamos que durante as sondagens, devem ser definidos e descritos as principais litologias (solos e rochas), tanto horizontal quanto verticalmente, conforme descrito detalhadamente no Anexo A.

Em se tratando de monitoramento da qualidade química da água, deverão ser tomadas precauções para se adotar métodos de sondagens que não contaminem a parede do poço, preferencialmente, não utilizando fluidos de perfuração, tal qual trado manual, perfuração sônica ou percussora.

Ressalta, ainda, o necessário emprego correto dos métodos de perfuração, cuja inobservância obtém-se como resultados amostras de baixa qualidade, furos danificados ou poços de monitoramento mal instalados. Nesse ponto, devem ser respeitada a velocidade, pressão e outras variáveis de controle sob a responsabilidade do sondador.

A partir do modelo conceitual elaborado, considerando as vantagens e desvantagens de cada método em relação ao objetivo da coleta de dados, seleciona-se o método de perfuração. Investigações geofísica podem ser utilizadas, quando possível, para auxiliar na seleção do método de perfuração.

A etapa seguinte consiste na **locação das perfurações**, cuja localização e quantidade devem ser feitas com base nos objetivos do projeto e se acordo com as normas específicas e procedimentos vigentes, conforme disciplinado no item 5.2 da Norma NBR 15.492:2007.

4.1. O registro das perfurações

A Norma NBR 15.492:2007, todas as ocorrências, informações e procedimentos adotados durante a execução de cada perfuração deverão ser documentados e registrados para posterior análise. Além das observações previstas na Norma NBR 6484:2001, relativa ao SPT, a Norma a respeito da investigação da qualidade de solos inovou quanto a exigência de análise quanto a presença no solo de nódulos e concreções minerais, carbonatos e manganês.

7 Registros das perfurações

7.1 Todas as ocorrências, informações e procedimentos adotados durante a execução de cada perfuração devem ser documentados e registrados, de modo a possibilitar o posterior entendimento e tratamento dos dados apresentados. Os registros devem ser feitos em documento ou formulário adequado.

7.2 Os registros devem conter:

- a) data;
- b) equipe;

- c) profissional responsável;
- d) descrição da metodologia e dos equipamentos utilizados;
- e) volumes e tipos de fluidos (quando utilizados);
- f) unidades geológicas perfuradas;
- g) condições climáticas;
- h) distribuição litológica;
- i) profundidades da perfuração;
- j) características litológicas do perfil da sondagem (textura, estrutura, cor, cimentação, coesão etc. – ver Anexo A);
- k) profundidade do(s) nível(eis) da água;
- l) recuperação da amostra;
- m) indícios de contaminação;
- n) medições realizadas no campo (concentração de vapores no solo etc.); e
- o) dificuldades encontradas.

Além dos itens listados acima, os registros devem conter dados sobre a locação dos furos, a descrição da área investigada e um mapa georreferenciado em UTM (referência do *datum* utilizado) com localização de cada sondagem/perfuração.

Para tanto, o Anexo A da Norma 15.492:2007 estabelece procedimentos específicos para descrição e conferência das amostras colhidas na perfuração. A título de exemplo, a presença de carbonatos deve ser verificada em campo pela efervescência do material, obtida a partir de adição de gotas de HCl 10% (ácido clorídrico) em parte da amostra que não tenha sido exposta a umidade.

O mesmo se vale para indicação da presença de manganês, para o qual se adiciona à amostra gotas de peróxido de hidrogênio (20 volumes), cuja efervescência ligeira, forte ou violenta indicará a quantidade do material na faixa do solo.

Percebe-se, portanto, que o procedimento padrão de sondagem à Percussão pelo método do SPT não é suficiente para uma correta investigação quanto a qualidade do solo, apesar de quando realizados em quantidade suficiente serem indicativos quanto a uma possível contaminação em alguma faixa do perfil do litográfico.

4.2. Exemplo de um procedimento de investigação do subsolo

Por tudo o que foi exposto nos itens anteriores, baseado em bibliografia técnica especializada e normatização da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), identificamos a seguir os procedimentos que devem ser adotados em uma investigação de geotécnica, para se identificar as condições da qualidade ambiental do solo para fundações de edificações.

A respeito de uma área que anteriormente se encontrava à margem da cidade, mas que com o avanço da urbanização, foi absorvida pelo centro urbano, foi necessário a investigação da qualidade do solo para se avaliar os possíveis usos do terreno.

A primeira etapa para esta investigação, portanto, consiste na investigação histórica a respeito do uso pretérito de uma área. A partir de pesquisas realizadas, constatou-se a possibilidade de contaminação posto que próximo ao terreno analisado havia atividade industrial.

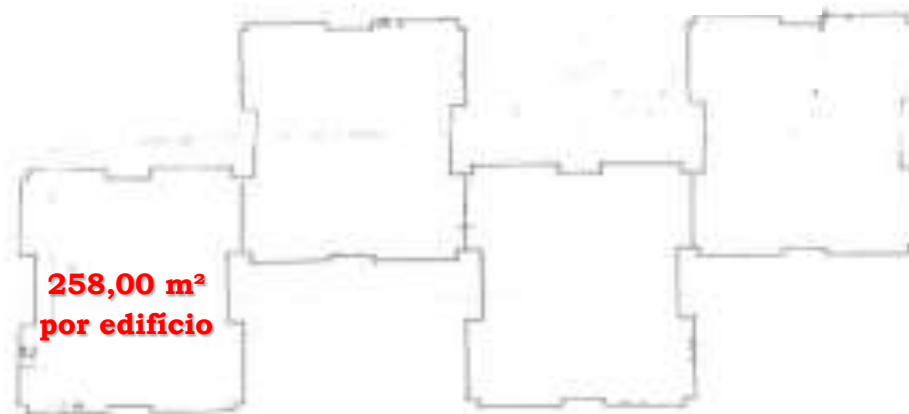
Para a verificação desta possibilidade, a partir das características da região, viu-se a necessidade de realização de uma sondagem para investigação do solo. Para planejamento da quantidade e locação dos furos, recorre-se a ABNT NBR 8.306 (Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios), que determina que o cálculo do número mínimo de sondagens de reconhecimento para fins de investigação do subsolo deve observar as seguintes recomendações:

☑ no mínimo, uma para cada 200,00 m² de projeção em planta da edificação, até 1.200,00 m² de área (item 4.1.1.2);

☑ em quaisquer circunstâncias, o número mínimo de sondagens será de três para área entre 200,00 m² e 400,00 m² (item 4.1.1.2-b).

Para ilustrar o cálculo do número de sondagens, consideramos um grande empreendimento hipotético com 18 blocos compostos por 4 edifícios cada, cuja área de projeção é igual a 258,00 m², conforme desenho a seguir:

1.032,00 m² por bloco



Total de blocos = 18 unidades

Com base na área indicada e nos preceitos normativos, podemos realizar os cálculos segundo duas hipóteses:

Hipótese 1 – adotar o edifício isolado

Área de projeção = 258,00 m²

Hipótese 2 = adotar o bloco de 4 edificações

Área de projeção = 1.032,00 m²

Hipótese 1:

$$N = \frac{258}{200} = 1,29$$

Hipótese 2:

$$N = \frac{1.032}{200} = 5,16$$

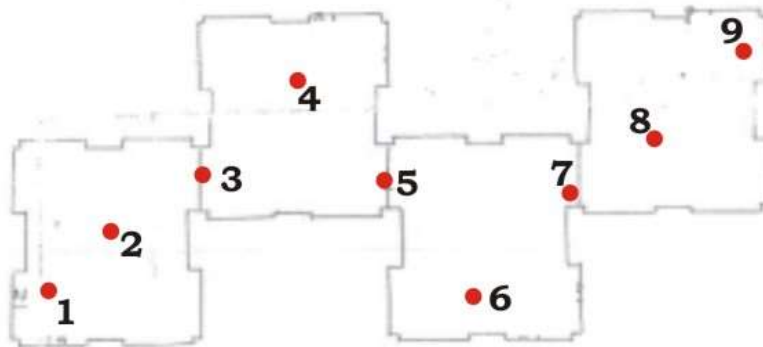
Número mínimo exigido pela Norma:

Hipótese 1 = 3 por edifício* (12 por bloco ou total de 216)

Hipótese 2 = 6 por bloco (ou total de 108)

* item 4.1.1.2-b da NBR-8036

Não obstante existirem duas hipóteses analisadas, pelo vulto do empreendimento, e sempre à favor da segurança, acreditamos que o correto seria a adoção de 12 furos por bloco, embora pelas características arquitetônicas da disposição dos edifícios, seria admissível a adoção de 9 furos, conforme sugestão em croqui a seguir.

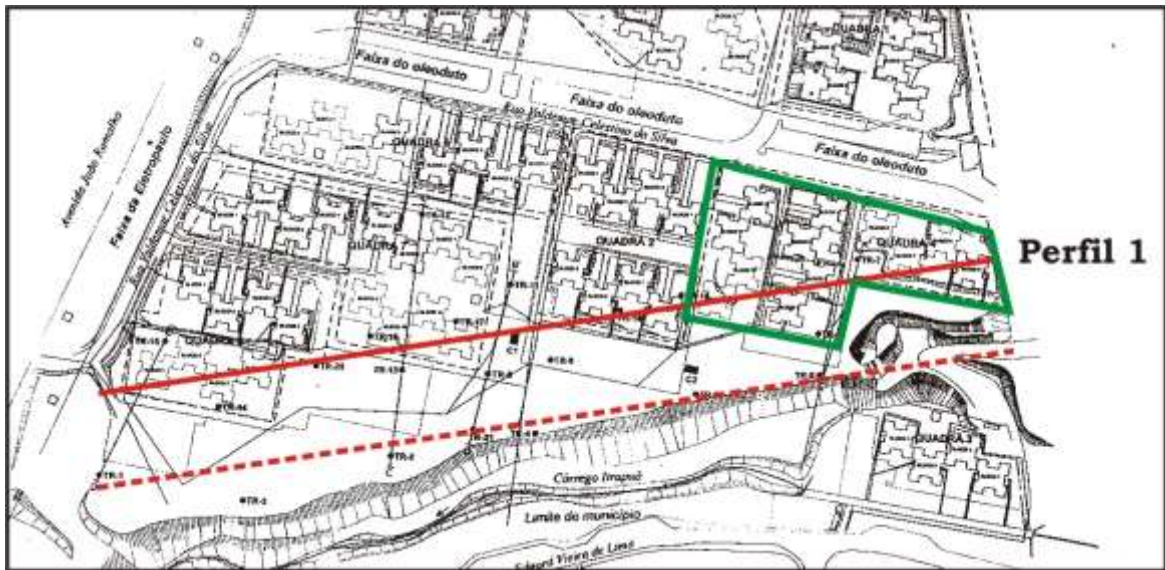


Em seguida, foram realizadas as sondagens, acompanhados pelos testes em campos e recolhimento de amostras, cujos respectivos boletins de sondagem permitiram a elaboração do perfil litográfico a seguir, em que foi constatada a contaminação de faixa do solo a partir das informações do boletim de sondagem e das amostras colhidas durante a realização de sondagem à percussão (SPT).

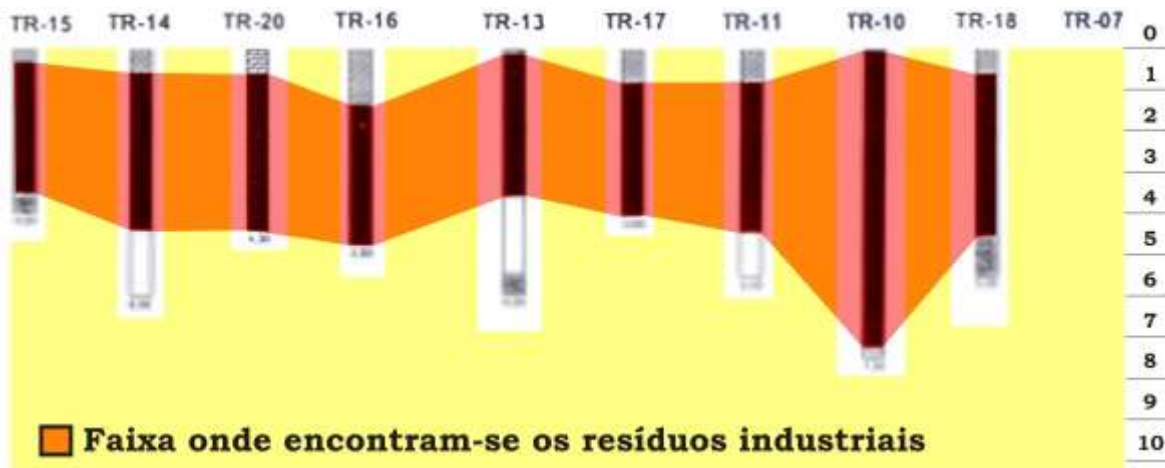
Neste caso, foram analisadas uma série de informações referentes às condições do subsolo no local, cuja principal refere-se às condições do aterro, especialmente sobre a existência dos resíduos encontrados. A interpretação das sondagens de reconhecimento, associada aos perfis geofísicos permitiu definir a existência de uma camada de aterro contendo resíduos industriais situada logo abaixo da camada de aterro superficial ou diretamente sob o pavimento.

O aterro possui uma matriz predominantemente arenosa (média/fina), de colocação escura, podendo apresentar, localmente porções mais argilosas. É comum a presença de 'agregados arenosos' de coloração vermelho/amarelo, típicos de areias industriais. Outros materiais encontrados com frequência, e com distribuição bastante dispersa incluem plásticos diversos (embalagens de fios e cabos, sacos, canos, embalagens de produtos alimentícios), borrachas (principalmente retalhos, tiras e sobras de pneus de automóveis), pedaços de madeira, cacos de vidro e porcelana, peças de máquinas, fios de cobre, sacos de estopa contendo borra oleosa, baterias, latas de metal e solados de borracha e calçados.

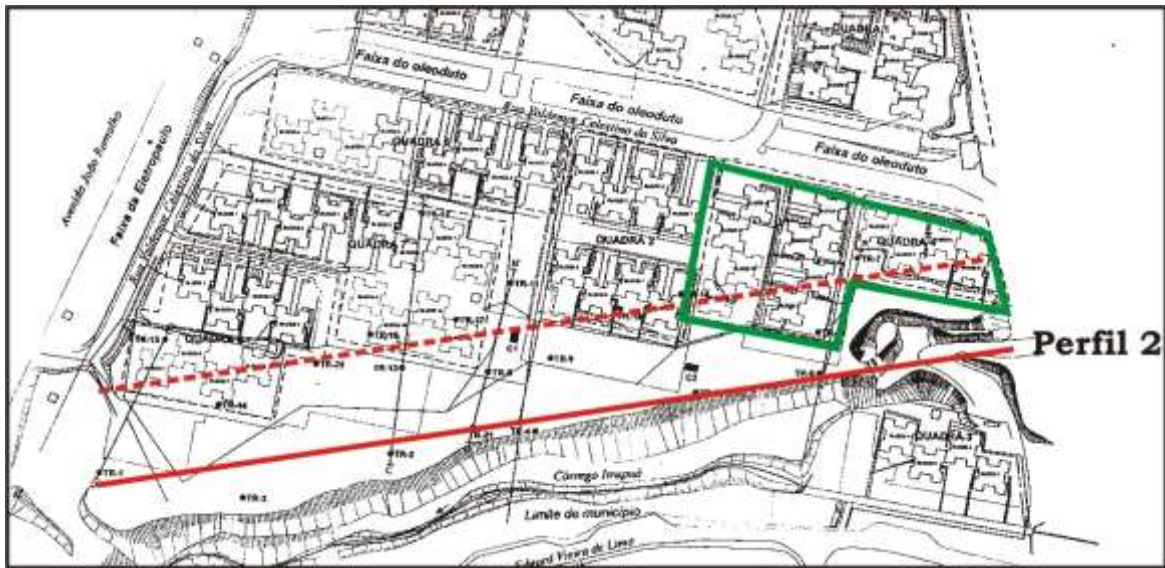
A partir de diversas perfurações de sondagens, foi possível traçar o seguinte perfil do terreno:



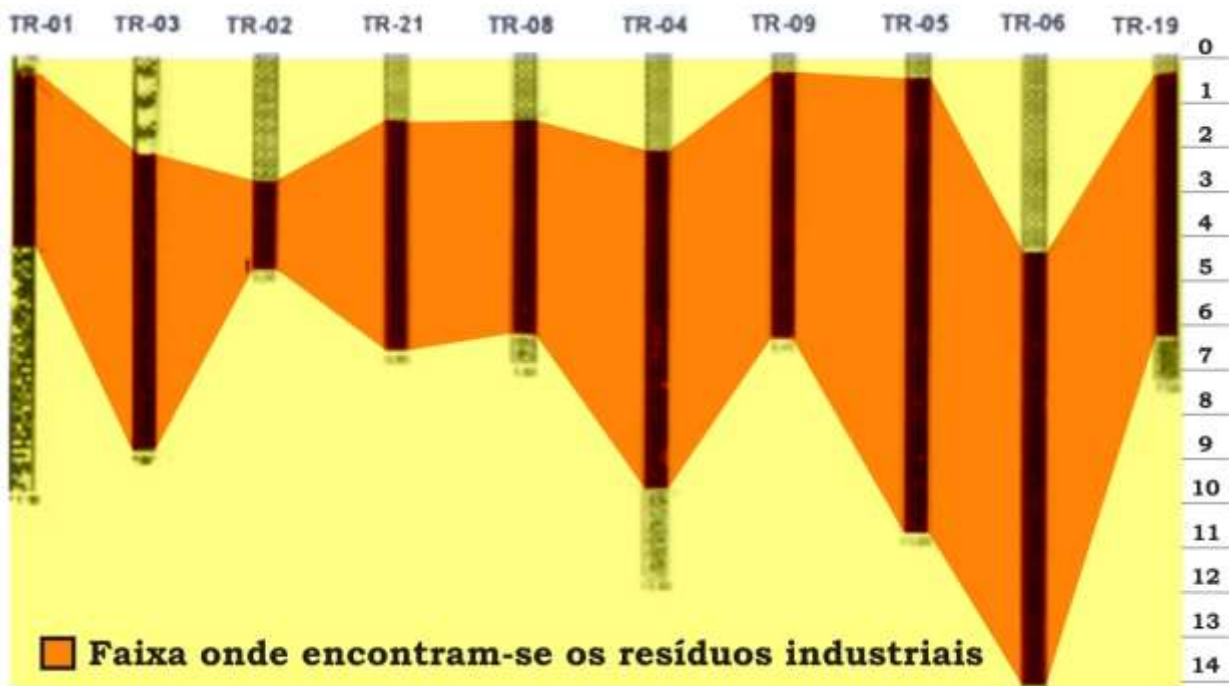
Indicação da locação do perfil 1 do terreno no local



Perfil 1 do terreno (aproximado), onde indicamos a faixa de localização dos resíduos no subsolo



Indicação da locação do perfil 2 do terreno no local



Perfil 2 do terreno (aproximado), onde indicamos a faixa de localização dos resíduos no subsolo

Neste caso, em razão da distinção entre as camadas de aterros e dos diversos materiais encontrados durante a execução a execução da sondagem, aliado a investigação histórica quanto ao uso pretérito da área, foi possível verificar claramente a presença de resíduos industriais na fase de investigação, indicando a contaminação do solo.

Por fim, caso persistam dúvidas quanto a natureza da contaminação e o respectivo risco toxicológico, faz-se análises específicas a partir das amostras colhidas durante as sondagens. A partir do resultado, traça-se eventual plano de intervenção, que irá indicar as medidas para reabilitação da área, cuja principal

consequência pode ser a perda de empreender, em função dos custos e do tempo para descontaminação do terreno.

5. Conclusões e recomendações

A contaminação do solo para fins de incorporação imobiliária tem grande repercussão quanto ao valor de um terreno, assim como da viabilidade de um empreendimento, em razão do risco que confere aos habitantes de uma edificação, sobretudo quanto a liberação de gases poluentes, por vezes explosivos, e o maior favorecimento para corrosão e conseqüente entupimento de encanações.

Diante deste quadro, a Norma ABNT NBR 15.492:2007, pioneira no assunto, estabeleceu parâmetros a serem observados em investigações do subsolo para fins de qualidade ambiental, cujo procedimento envolve a investigação de condições pretéritas referentes ao uso do terreno, suas condições hidrogeológicas, o planejamento para a escolha do método de sondagem, a quantidade e a locação das perfurações, bem como para uma completa descrição durante a execução da sondagem, inclusive com a realização de testes sobre as amostras colhidas para se apurar a presença de carbonetos ou manganês.

Ao determinar a observância destes cuidados específicos, a Norma de investigação da qualidade do solo inovou em relação às práticas usuais de sondagem, principalmente quanto à sondagem pelo método SPT, razão pela qual práticas simples, como investigações pretéritas e testes sobre a presença de carbonetos e manganês, devem ser agregadas a este método para atendimento à Norma 15.492:2007.

Sendo assim, o atendimento aos demais parâmetros normativos usualmente adotados não descarta a necessidade de outras investigações para atendimento à Norma 15.492:2007, em que pese a inegável probabilidade das sondagens tradicionais indicarem a contaminação do solo, caso ela exista, conferindo relativa segurança ao incorporador.

Referências bibliográficas:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6.122 - Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 6.484 - Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 8.036 - Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 15.492 Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

Schnaid, Fernando. *Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*. Ed. Oficina de Textos, 2000.