



Grandes escavações em perímetro urbano

Jarbas Milititsky

oficina de textos

Grandes
escavações
em Jarbas Milititsky
perímetro
urbano

Copyright © 2016 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

CONSELHO EDITORIAL Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva;
Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi;
Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira
dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

CAPA E PROJETO GRÁFICO Malu Vallim
DIAGRAMAÇÃO E PREPARAÇÃO DE FIGURAS Alexandre Babadobulos
PREPARAÇÃO DE TEXTO Hélio Hideki Iraha
REVISÃO DE TEXTO Pâmela de Moura Falarara
IMPRESSÃO E ACABAMENTO Rettec artes gráficas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Milititsky, Jarbas
Grandes escavações em perímetro urbano / Jarbas
Milititsky. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2016.

Bibliografia.
ISBN 978-85-7975-252-0

1. Engenharia de solos 2. Escavação 3. Geotécnica
I. Título.

16-07177

CDD-624.152

Índices para catálogo sistemático:

1. Escavações : Perímetro urbano : Engenharia
geotécnica 624.152

Todos os direitos reservados à OFICINA DE TEXTOS
Rua Cubatão, 798 CEP 04013-003 São Paulo-SP – Brasil
tel. (11) 3085 7933
site: www.ofitexto.com.br
e-mail: atend@ofitexto.com.br

Apresentação

Compartilho com Jarbas Milititsky a fascinação pelo que é urbano: apesar das paixões que temos pela serra e pelo mar, somos seres das cidades. Grandes ou pequenas, com todos os elementos urbanos que nos encantam. O curioso é que nossas carreiras profissionais nos levaram a lidar com problemas comuns a aglomerados urbanos. As soluções de tais problemas frequentemente envolvem estruturas cujo projeto e construção demandam muito conhecimento da engenharia geotécnica e do subsolo das cidades. Ainda é raro o aprendizado na graduação de Engenharia Civil, neste país e noutros, de rudimentos da implantação de escavações profundas ou de escavações subterrâneas. Menos ainda em áreas urbanas onde existe a preocupação com danos induzidos pelas escavações em edificações lindeiras, muitas vezes com elevado valor urbanístico, que tanto prezamos.

É com muita satisfação que apresento o novo livro de Jarbas Milititsky, *Grandes escavações em perímetro urbano*, da Oficina de Textos. O autor pretende “fornecer aos profissionais iniciantes um panorama [...] sobre [...] aspectos práticos [...] desse complexo problema” ligado a grandes escavações a céu aberto em áreas densamente ocupadas. Como se verá, ele não produziu apenas texto para iniciantes, que de fato faltava: a riqueza de exemplos e referências incluídos faz também da obra ferramenta de aperfeiçoamento e fonte de informações para profissionais iniciados.

O autor dispensa apresentações à comunidade de iniciados. Aos iniciantes cabem umas poucas informações essenciais: Jarbas Milititsky é engenheiro civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Ph.D. pela University of Surrey (Reino Unido), professor titular da Escola de Engenharia e Geotecnia da UFRGS, ex-presidente e membro vitalício do Conselho da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), atual vice-presidente da International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) para a América do Sul, e consultor profissional atívisimo que fez escola na academia

e na indústria. Conseguiu isso por sua capacidade de harmonizar conhecimento científico inovador, acumulado em pesquisa, com a prática corrente de Engenharia Geotécnica demandada pela indústria, temperada com singular habilidade didática de professor apaixonado que ensina dentro e fora das salas de aula.

O texto atende bem ao objetivo de ser uma base para aplicações práticas. O autor consegue isso por meio de abordagem pessoal e moderna. Ilustra o volume com exemplos e cores nacionais. Aborda questões por vezes esquecidas, como a lida e os riscos de escavações em terrenos contaminados, não incomuns em áreas urbanas. O livro fornece elementos para a escolha da estratégia de implantação da obra e orienta como obter parâmetros e propriedades geotécnicas por meio de correções atualizadas. Destaca riscos com exemplos e cuidados para minimizá-los. Ressalta a importância do monitoramento de campo para o controle do desempenho e o controle de danos induzidos, previamente antecipados pelo projeto. Elenca práticas recomendáveis, por vezes por meio de exemplos de práticas não recomendáveis. Definitivamente uma ótima base introdutória ao tema, que também serve como valioso vetor para aperfeiçoamentos de iniciados. Tem o destacado mérito de ser texto em português por autor brasileiro, algo raro entre livros técnicos de Geotecnia.

Nossos votos de proveito a leitores iniciantes e iniciados e de sucesso de vendas aos editores. E nossos agradecimentos ao autor pela empreitada, que nos trouxe um título pioneiro em nossa literatura (geo)técnica!

Arsenio Negro
São Paulo, setembro de 2016

Prefácio

A primeira motivação para elaborar esta publicação surgiu após a apresentação de uma conferência sobre o tema no Sefe 7, em São Paulo, em 2013. Vários colegas presentes manifestaram não somente interesse no tema, mas apreciação pelo conteúdo, especialmente pela forma de apresentação dos aspectos práticos, normalmente ausentes das inúmeras publicações existentes.

A segunda motivação é resultado do compromisso com a disseminação do conhecimento e a transmissão de experiência profissional, considerado como missão pessoal resultante de mais de 35 anos de atividade acadêmica e 48 anos de prática profissional. Entendemos que profissionais com experiência devem fazer o registro do seu entendimento e conhecimento adquirido da prática de Engenharia em benefício daqueles que iniciam suas atividades, contribuindo dessa forma com o aprimoramento da área e facilitando a evolução dos colegas em início de atividades.

Nossa intenção maior nesta produção foi fornecer aos profissionais iniciantes um panorama amplo e abrangente sobre todos os aspectos práticos envolvidos no enfrentamento desse complexo problema, iniciando pelos itens das etapas de determinação das variáveis envolvidas, de cálculo das estruturas de contenção, decisões de projeto e da construção, e indicando os cuidados necessários à aplicação de boa engenharia, a fim de reduzir riscos e conduzir de forma controlada os trabalhos. São apresentados relatos de obras com problemas, como evitá-los, e as referências básicas nacionais e internacionais, nem sempre conhecidas, sobre todos os aspectos abordados, como contribuição para o aprofundamento do tema por parte dos profissionais brasileiros. Não é pretensão desta publicação cobrir em detalhe questões técnicas presentes de forma detalhada em outras publicações, referidas nas referências bibliográficas para facilitar sua identificação.

Ressaltamos que as escolhas ou decisões de projeto referentes ao tipo de estrutura de contenção e método construtivo, a escolha da forma de implantação (de baixo para cima ou de cima para baixo – *bottom-up* ou *top-down*), a solução de fundações para as cargas estruturais internas e a contenção da água no período construtivo e permanente são fruto das condições e circunstâncias de cada caso, não havendo soluções “universais”.

A solução do problema de projeto e execução de escavações em perímetro urbano não é obtida pelo uso rígido de normas ou diretrizes, e sim pelo trabalho integrado de uma equipe multidisciplinar, resultando em sucesso e segurança.

O projeto ideal é aquele que atende às condições de segurança e mínimo efeito nos vizinhos, com custo mínimo, utilizando técnicas e equipamentos disponíveis.

Esta publicação terá cumprido com sua finalidade maior se a sensação que tive ao terminar a sua produção for repetida entre os leitores. Sentimento do enorme benefício se tivesse lido algo desta natureza quando, na condição de jovem engenheiro, iniciei minhas atividades geotécnicas, para nortear projetos e orientar decisões, facilitando a atuação como projetista.

Nosso agradecimento àqueles que contribuíram para a elaboração desta obra, entre os quais o Eng. Wilson Borges, sócio e amigo, parceiro na solução dos inúmeros projetos referidos, o Eng. Fernando Mantaras, parceiro em vários projetos onde métodos numéricos foram utilizados, pela significativa contribuição na elaboração do Cap. 4, e o Eng. Matheus Miotto Rizzon, pela organização do material e das figuras.

Agradecimento muito especial à companheira e parceira de toda a vida, minha esposa Neila, que, apesar das longas horas envolvidas na elaboração do livro, sempre valorizou e estimulou essa atividade.

A ela dedico esta publicação.

Sumário

Introdução 9

1. Variáveis desconhecidas: identificação do problema 15

- 1.1 Solo 15
- 1.2 Água 17
- 1.3 Interferências 18
- 1.4 Condições das edificações e serviços vizinhos 18
- 1.5 Contaminação do solo 20

2. Tipos de estrutura mais utilizados 21

3. Escolhas: decisões de projeto 31

- 3.1 Tipo de estrutura de contenção e método construtivo 31
- 3.2 Escolha da forma de implantação – de baixo para cima
ou de cima para baixo (*bottom-up* ou *top-down*) 33
- 3.3 Solução de fundações para as cargas estruturais internas 36
- 3.4 Contenção da água no período construtivo e permanente 40

4. Projeto: obtenção de dados e análise 43

- 4.1 Métodos de análise 47
- 4.2 Dados geomecânicos de projeto – alternativas disponíveis
para prospecção de subsolo 49
- 4.3 Perfil de projeto – estimativa de valores das propriedades 51
- 4.4 Efeitos de interface 56
- 4.5 Compressibilidade e deformabilidade 56
- 4.6 Uso de métodos numéricos 66
- 4.7 Valores típicos de propriedades 71
- 4.8 Escavações em solos moles 73

5. Projeto 77

- 5.1 Reações no escoramento – sequência construtiva..... 77
- 5.2 Dimensionamento da parede considerando etapas construtivas e na condição final de apoio na estrutura 81
- 5.3 Dimensionamento do escoramento – tirantes e bermas 83
- 5.4 Segurança dos vizinhos durante a implantação – previsão dos deslocamentos 85
- 5.5 Efeitos em fundações profundas vizinhas 93

6. Construção: cuidados e suas implicações (caso de parede diafragma e estacas secantes) 97

- 6.1 Planejamento da implantação – vários serviços 97
- 6.2 Escavação das lamelas – limpeza de fundo – uso de estacas secantes.....99
- 6.3 Concretagem 103
- 6.4 Juntas entre painéis 104
- 6.5 Estacas secantes 104
- 6.6 Escoramento (tirantes) – desempenho, prazos e sequência construtiva, provisórios x permanentes 106
- 6.7 Observações quanto à qualidade das paredes diafragma (Saes, s.d.)..... 112

7. Monitoramento: controle 113

- 7.1 Planejamento do monitoramento 114
- 7.2 Indicação de níveis de alerta e ação 115

8. Deslocamentos dos vizinhos: acompanhamento x danos 119

- 8.1 Controle de recalques..... 119
- 8.2 Controle de verticalidade..... 122
- 8.3 Controle de fissuras 124
- 8.4 Danos 124

9. Recomendações 131

Bibliografia 135

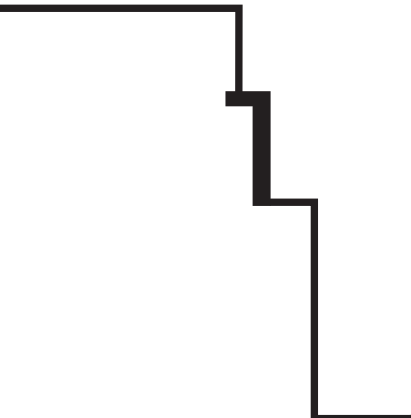


Introdução

A necessidade de construção de escavações cada vez mais profundas em grandes centros urbanos se faz presente, com enormes desafios de segurança e exequibilidade a serem enfrentados, além da previsão e da remediação dos possíveis efeitos sobre as construções vizinhas. A utilização de estruturas de contenção para garantir a segurança das escavações implica projetar e executar soluções que envolvam não somente o dimensionamento dessas estruturas, mas também a estimativa de seus efeitos no solo adjacente e implicações nas estruturas nele assentes. Esses efeitos são complexos e não totalmente previsíveis, uma vez que são relacionados com fatores que incluem, entre outros, características e condições do solo, presença da água, rigidez dos elementos de contenção, métodos construtivos e qualidade dos serviços utilizados.

Escavações nas proximidades de edificações nem sempre são conduzidas de forma segura e projetadas adequadamente, resultando em acidentes. As Figs. I.1 a I.6 mostram acidentes em obras urbanas de diferentes portes em grandes escavações. Por sua vez, as Figs. I.7 a I.13 apresentam obras realizadas com sucesso.

Apresenta-se neste livro o conhecimento estabelecido sobre o tema, abordando e comentando aspectos práticos das etapas e decisões de projeto e construção, bem como os cuidados necessários à aplicação de boa engenharia, a fim de reduzir riscos e conduzir de forma controlada os trabalhos. É importante ressaltar a condição de complexidade envolvida na solução de problemas dessa natureza, a necessidade do envolvimento de profissionais com várias especialidades, a importância de comunicação permanente entre todos os participantes, especialmente na etapa de implantação dos serviços, e a tomada de decisões imediatas ao ser constatada falha construtiva ou sinalização de risco ou mau desempenho no acompanhamento do desenvolvimento dos serviços.



Variáveis desconhecidas: identificação do problema

Ao iniciar a abordagem da solução de implantação de subsolos no perímetro urbano, os profissionais se defrontam com a necessidade de identificação das reais características do problema a resolver. O conhecimento dos dados relevantes à solução das questões a serem resolvidas tem variada natureza. A primeira e mais importante questão refere-se ao solo e suas condições. Esse item deve merecer investigação qualificada, uma vez que sua importância na solução do problema é fundamental. Desse conhecimento dependerá o sucesso ou o fracasso e/ou obstáculos de difícil solução na implantação da obra.

Com a tendência de novo uso de locais já edificadas, a existência de interferências com estruturas, suas fundações, canalizações e elementos enterrados cada vez se faz mais presente. Pelo mesmo motivo, muitas vezes ocorre contaminação do solo a ser escavado, o que condiciona as possíveis soluções.

A solução de contenções a ser projetada e construída deverá suportar não somente as ações do solo e da água, mas também as sobrecargas das edificações vizinhas e dos serviços públicos existentes, além de ter que manter a integridade delas ao longo do processo construtivo.

1.1 Solo

Considerando que a solução do projeto implica a determinação das ações do solo e a execução da escavação nesse material e que nele ocorrem a implantação do sistema de contenção e sua estabilidade, é de fundamental importância o conhecimento desse meio físico. A investigação do subsolo deve identificar a natureza das camadas, sua resistência, o estado inicial de tensões, sua permeabilidade, a presença de água e sua natureza, uma eventual contaminação e a presença de obstruções naturais (matacões), entre outros.

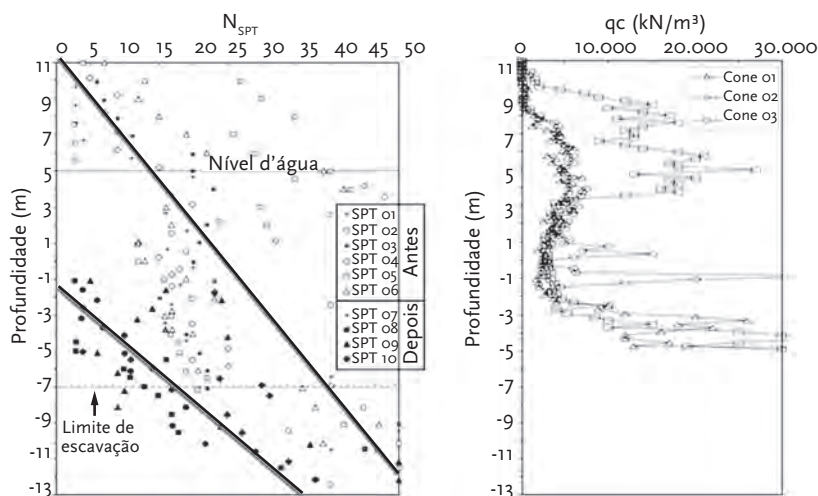


Fig. 1.1 (A) Resultados das sondagens SPT realizadas antes e depois da escavação e (B) perfis de ensaios de cone

- *área de ocorrência de materiais* (soil boundaries) – falta de identificação de posição e/ou existência de tipos de materiais desfavoráveis ao projeto, como materiais muito moles, níveis de rocha, matacões; a geometria do subsolo era diferente daquela estimada/investigada;
- *propriedades dos solos* – partes do subsolo com resistência muito maior ou menor que a esperada;
- *presença de água* – níveis acima dos identificados em projeto;
- *contaminação* – solos contaminados encontrados em aterros e não identificados anteriormente ao início dos trabalhos;
- *obstruções* – escavações dificultadas pela presença de obstruções existentes, tais como fundações antigas;
- instalações subterrâneas não identificadas;
- investigação do subsolo com falhas.

1.2 Água

A presença de água e sua condição de ocorrência são possivelmente o segundo fator em ordem de relevância a ser considerado quando da escolha da solução das contenções. A determinação da condição do nível freático, de eventual artesianismo e de lençol suspenso tem importância significativa na solução do problema, influenciando o projeto. Sua presença implica inúmeros condicionantes, tais como a condição de empuxos, seu eventual rebaixamento influenciando fundações e serviços vizinhos, a estabilidade dos processos construtivos, a necessidade de tratamento de infiltra-

2

Tipos de estrutura mais utilizados

Dependendo da geometria da escavação a ser realizada, da presença de edificações vizinhas e do espaço disponível no canteiro, diferentes procedimentos podem ser utilizados. Não existem procedimentos mais ou menos adequados; cada condição específica resulta na utilização daquele procedimento que garanta a segurança da escavação, cause menor perturbação na vizinhança e seja mais econômico. As Figs. 2.1 a 2.6 apresentam exemplos de procedimentos adotados.

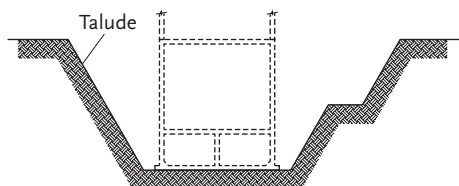


Fig. 2.1 Escavação com taludes e implantação da estrutura para posterior reaterro, possível quando ocorre espaço disponível nas laterais da implantação, sem vizinhança sensível

Fig. 2.2 Obra em implantação com solução num dos alinhamentos em talude e estrutura de contenção em concreto armado convencional vinculada à estrutura





Fig. 2.19 Bomba e desarenador para retorno e tratamento da lama



Fig. 2.20 Retirada do perfil junta e da chapa espelho



Fig. 2.21 Perfuração do concreto da parede diafragma para a instalação dos tirantes



Fig. 2.22 Execução do tirante



Fig. 2.23 Colocação do tirante de cordoalha na perfuração

3 Escolhas: decisões de projeto

Ao iniciar a elaboração do projeto, existem algumas decisões fundamentais a serem tomadas pelo profissional envolvido: questões referentes ao tipo de estrutura de contenção e método construtivo, à escolha da forma de implantação, de baixo para cima ou de cima para baixo (*bottom-up* ou *top-down*), à solução de fundações para as cargas estruturais internas e o controle da água no período construtivo e permanente pós-construção. Essas decisões são fruto das condições e circunstâncias de cada caso e passam a ser abordadas a seguir.

3.1 Tipo de estrutura de contenção e método construtivo

A escolha do tipo da contenção depende de uma série de fatores, não havendo regra ou receita que conduza a uma escolha determinada. Normalmente, depende fortemente da tradição regional e da experiência dos envolvidos na solução do problema específico (técnicas e equipamentos disponíveis). As considerações usualmente intervenientes no processo são as seguintes:

- Custo, presente em todas as opções de solução de engenharia; existem sempre várias opções de solução técnica para um determinado problema, cada uma delas com um custo de execução associado. A comparação de custo final, além das características das soluções, será determinante daquela a ser adotada.
- Geometria da escavação, profundidade da escavação, extensão dos serviços e afastamento entre os limites de implantação; a geometria da escavação condiciona, por exemplo, a possibilidade de utilização de escoramento interno em vez de tirantes como elementos de suporte das paredes. Maiores profundidades implicam maiores cargas, maiores deslocamentos provocados, efeitos de escala que são mais bem resolvidos por determinados sistemas ou que são resolvidos de forma mais segura.

Equipamentos para execução de fundações menos pesados (estacas raiz) podem ser retirados do interior da escavação por guindaste de porte intermediário. Equipamentos pesados, tipicamente acima de 50 t, são preferencialmente retirados pela rampa, quando factível essa opção.

3.4 Contenção da água no período construtivo e permanente

A presença de horizontes permeáveis e de nível de água elevado pode condicionar a necessidade de rebaixamento do nível freático, dependendo do sistema de contenção escolhido. Seus efeitos devem ser bem avaliados para não causarem danos a estruturas vizinhas devido ao rebaixamento ou ao adensamento de solos argilosos saturados existentes no local. Em certas circunstâncias, poços de captação são suficientes para permitir a implantação da obra. Dependendo das condições de subsolo e de vizinhança, a recarga do lençol pode ser necessária para evitar efeitos muito significativos nas estruturas vizinhas mais frágeis.

A presença de nível de água pode ser resolvida, do ponto de vista dos efeitos de subpressão, com a parede de contenção levada até uma profundidade em que seus efeitos sejam mínimos; por meio de laje de supressão; com elementos tracionados (fundações ou tirantes); com drenagem permanente (também com seus efeitos a serem avaliados quanto às estruturas vizinhas); ou pelo tratamento do solo abaixo da cota de implantação dos subsolos.

A Fig. 3.10 apresenta um solo tratado abaixo do subsolo, muito mole no nível de escavação e com problema de estabilidade de fundo.

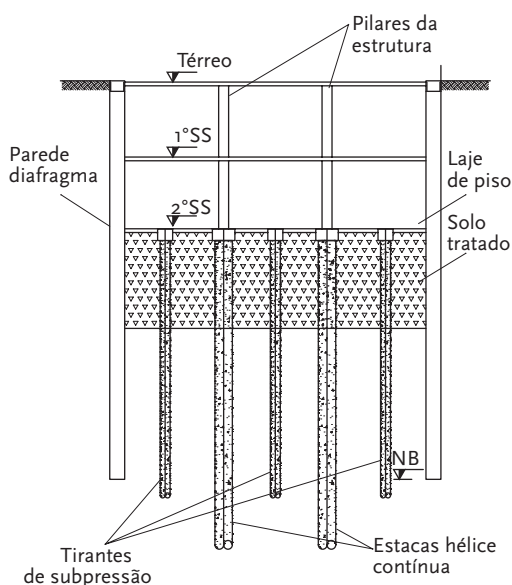


Fig. 3.10 Solo tratado abaixo do subsolo (corte da solução da obra com 2 SS). Presença de solos muito moles no nível de escavação e problema de estabilidade de fundo

4

Projeto: obtenção de dados e análise

A elaboração do projeto envolve a determinação das solicitações e da segurança referente aos estados-limite, ou seja, quanto a todos os mecanismos possíveis de colapso, como mostrado de forma esquemática na Fig. 4.1. Segurança nos estados-limite, na definição dada por Simpson e Driscoll (1998), é aquela situação na qual a atenção fica focada em afastar a estrutura dessa condição, ou seja, além da situação onde a estrutura de contenção não mais satisfaz aos requisitos de desempenho do projeto. Isso se refere a danos, perda econômica ou situações inseguras. No projeto referente aos estados-limite, é dedicada atenção ao inesperado, ao indesejável e a condições improváveis em

(A) Rupturas gerais



(B) Rupturas estruturais

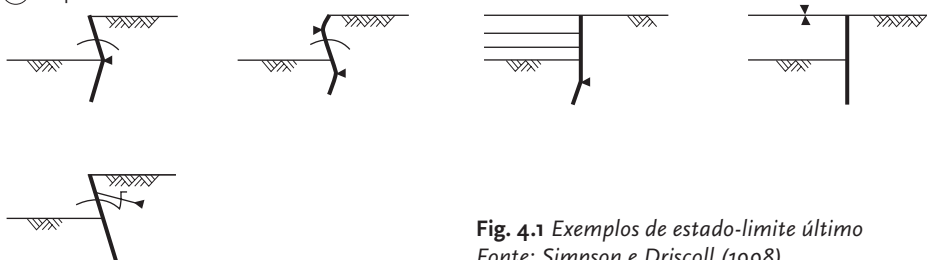


Fig. 4.1 Exemplos de estado-limite último
Fonte: Simpson e Driscoll (1998).

Apenas como indicativo de ordem de grandeza, Lunne, Lacase e Rad (1989) e Hryciw (1990) sugerem, para argilas, a seguinte correlação entre o módulo de cisalhamento a pequenas deformações (G_o) e E_D :

$$G_o = E_D 7.5$$

A atual disponibilidade do ensaio de dilatômetro sísmico faz com que esse tipo de correlações seja obsoleto.

4.5.5 Ensaio pressiométrico

O ensaio pressiométrico mede de forma direta o comportamento tensão × deformação do solo, diminuindo assim o grau de empirismo das correlações com parâmetros de rigidez do solo.

Townsend, Anderson e Rahelison (2001) apresentam diretrizes e comentários a respeito do uso de resultados de ensaios de campo como subsídio para a previsão do comportamento de estruturas de contenção por meio do método de elementos finitos.

Genericamente, com base nos resultados do ensaio, é possível obter módulos de elasticidade (E) para diferentes amplitudes de deformação (E_o ou EM , E_{uo} e E_{ro}).

A Fig. 4.14 ilustra a curva típica de um ensaio pressiométrico Ménard.

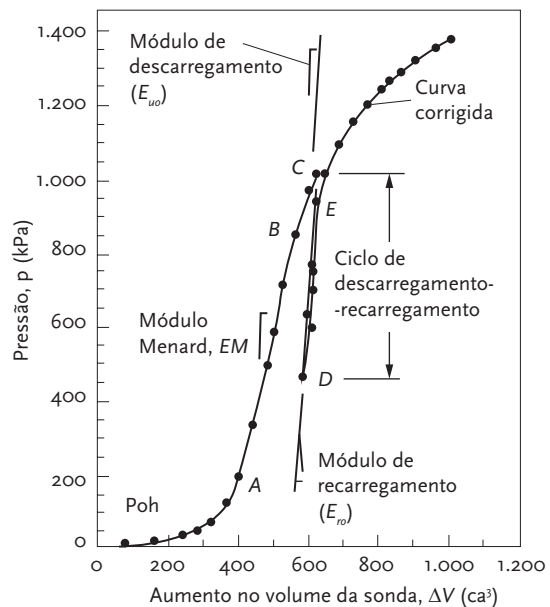


Fig. 4.14 Curva típica de ensaio pressiométrico Ménard

Fonte: Baguelin et al. (1978).

Com base nos dados corrigidos pela rigidez do sistema, o valor do módulo Ménard, EM , pode ser calculado como:

No caso solo duro-parede rígida (Fig. 4.22), o diagrama de pressões sobre a parede segue o diagrama clássico de pressões ativas, da mesma forma que no caso solo fofo-parede flexível.

No caso solo fofo-parede rígida (Fig. 4.20), aparentemente a deformabilidade da parede não permite a redução do estado de pressões horizontais até chegar ao diagrama clássico de pressões ativas. Em decorrência disso, os momentos fletores na parede são superiores em comparação aos outros casos analisados.

Finalmente, essas figuras apresentam a mobilização de resistência ao cisalhamento na massa do solo para cada combinação de rigidez. Maiores deformações implicitamente estão associadas a maiores mobilizações da resistência ao cisalhamento e, consequentemente, a uma maior proximidade do modelo clássico.

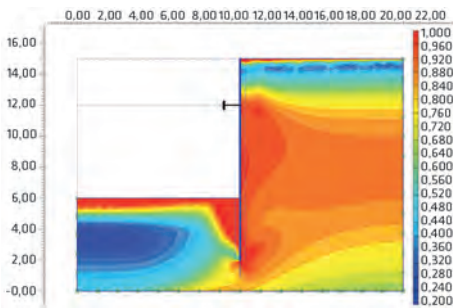


Fig. 4.19 Padrão de plastificação no caso solo fofo-parede flexível

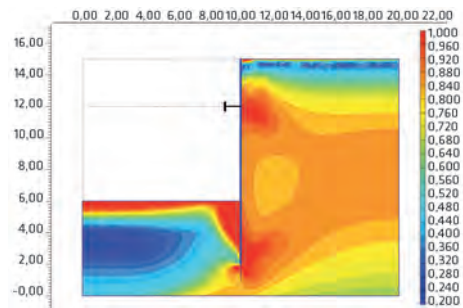


Fig. 4.20 Padrão de plastificação no caso solo fofo-parede rígida

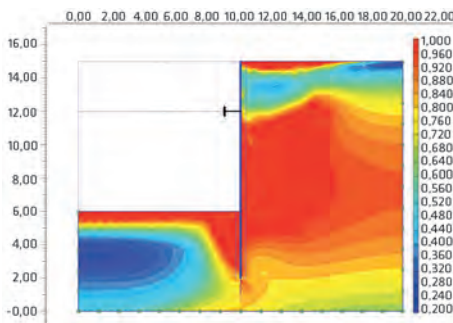


Fig. 4.21 Padrão de plastificação no caso solo duro-parede flexível

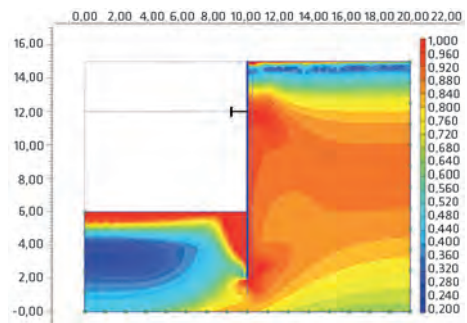


Fig. 4.22 Padrão de plastificação no caso solo duro-parede rígida

A localização dos escoramentos e a sua influência nos deslocamentos da parede e do solo adjacente são também um assunto de relevante interesse. As Figs. 4.23 a 4.27 apresentam outro modelo numérico que serve como base de referência.

Apresentam-se a seguir as etapas e considerações sobre a elaboração do projeto propriamente dito.

5.1 Reações no escoramento – sequência construtiva

Para a determinação das reações no escoramento, a sequência construtiva deve ser simulada passo a passo. Normalmente, os carregamentos máximos em algumas escoras ou tirantes podem ocorrer na condição intermediária de implantação, em que as condições de geometria de escavação e atuação das reações sejam simuladas de acordo com o especificado em projeto.

Podem ser utilizados modelos de empuxos de solo simplificados oriundos de proposições tais como as de Terzaghi e Peck (1967), Peck (1969) e Tschebotarioff (1973), ou a da Fig. 5.1 (CIRIA, 2003), para a condição final, com as sobrecargas dos prédios vizinhos eventuais e do equipamento pesado com previsão de uso durante a obra.

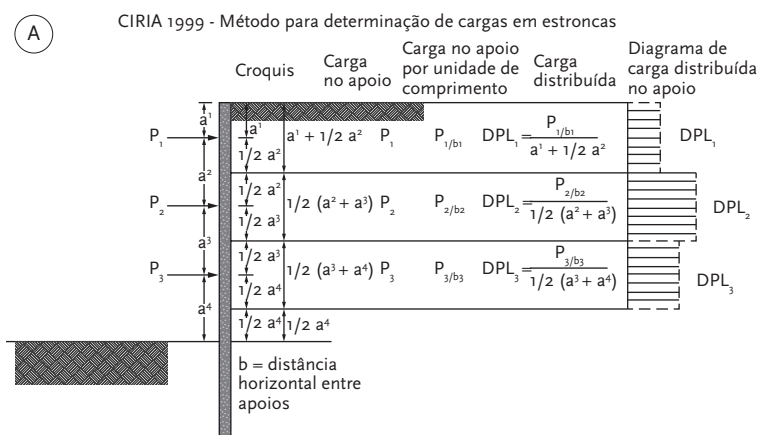


Fig. 5.1
Modelos de empuxos de solo simplificados: (A) Recomendações CIRIA 1999;
Fonte: (A) CIRIA (1999) e (B) CIRIA (2003).

horizontal é suficiente para a transmissão dos empuxos que se contrapõem, mas deverá ser verificada caso a caso.

Cuidado especial deve ser tomado quando ocorre assimetria de escavação, ou seja, quando um dos lados da contenção é significativamente diferente daquele oposto, provocando um desequilíbrio (Fig. 5.5). Nesses casos, a estrutura da edificação ficará submetida a solicitações assimétricas e deverá ser convenientemente dimensionada, ou, alternativamente, deverão ser providos tirantes permanentes quando possível.

Um caso especial, cada vez mais presente, é a vizinhança com prédio com subsolos já implantados, resultando em condição de alteração do equilíbrio no prédio preexistente (Fig. 5.6). Nessa condição, o uso de solução *top-down* seria recomendável.

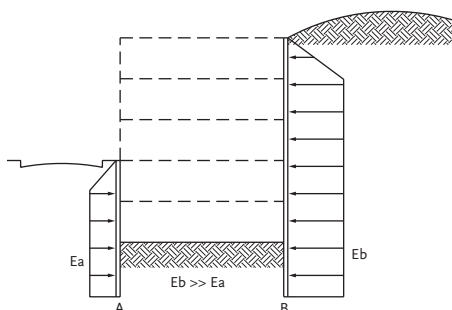


Fig. 5.5 Escavação assimétrica, resultando em solicitações na estrutura interna da edificação

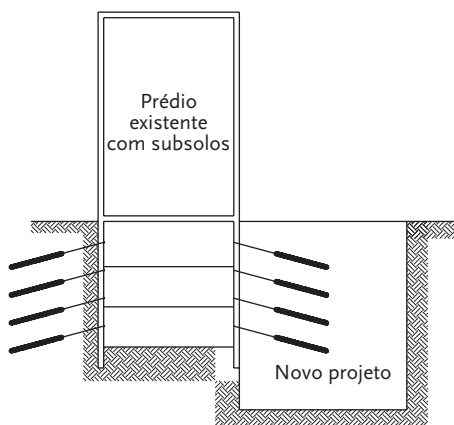


Fig. 5.6 Escavação junto a um prédio com subsolos

Os elementos da contenção devem ser verificados para as condições de apoio específicas na estrutura. Elementos presentes junto às rampas nas divisas, reservatórios ocupando mais de um pé-direito e caixas de elevadores, entre outros, devem ser objeto de verificação e ter seu dimensionamento específico.

Em condições usuais de ocorrência de lajes horizontais de estacionamentos ou pé-direito convencionais, a resultante de solicitações sobre as cortinas é menos crítica nessa situação do que durante o processo construtivo.

O dimensionamento da contenção (parede ou estacas) implica decisões de projeto, em geral resultantes do cálculo, tais como:

- Espessura e natureza da parede = $f(\text{rigidez} + \text{solicitações})$, incluindo equipamentos disponíveis.
- Característica do concreto = $f(\text{cálculo} + \text{durabilidade} + \text{impermeabilidade})$.
- Armaduras = $f(\text{cálculo} + \text{execução})$, com posicionamento conveniente para facilitar a concretagem via tubo *tremie*.
- Posicionamento (afastamento) dos suportes no período construtivo, do escoramento ou dos tirantes = $f(\text{cálculo} + \text{deslocamentos provocados})$. É

A Fig. 5.13 apresenta recalques máximos superficiais e deflexão lateral da parede, enquanto a Fig. 5.14 exibe o método de Bowles (1997) para a estimativa de recalques superficiais.

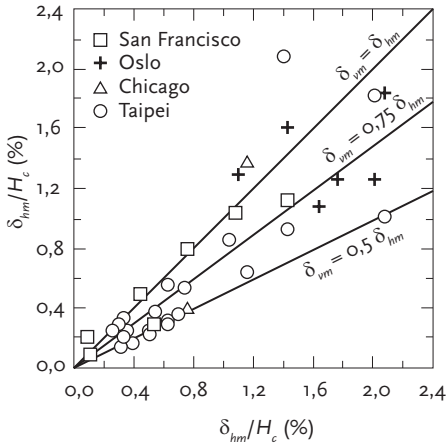


Fig. 5.13 Recalques máximos superficiais e deflexão lateral da parede
Fonte: Ou, Hsieh e Chiou (1993).

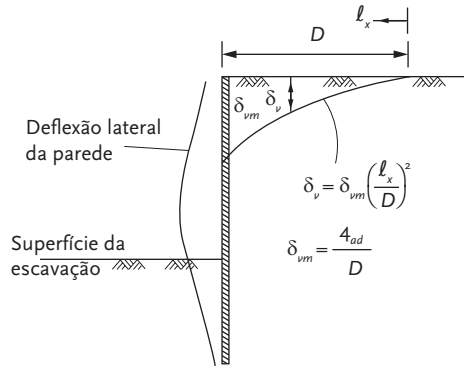


Fig. 5.14 Método de Bowles (1997) para a estimativa de recalques superficiais

A Fig. 5.15 mostra um caso em que foi feito o acompanhamento de recalques das diversas etapas de implantação de uma escavação com 17,5 m, contida por parede diafragma atirantada, junto a prédios assentes em fundações diretas e profundas em Porto Alegre.

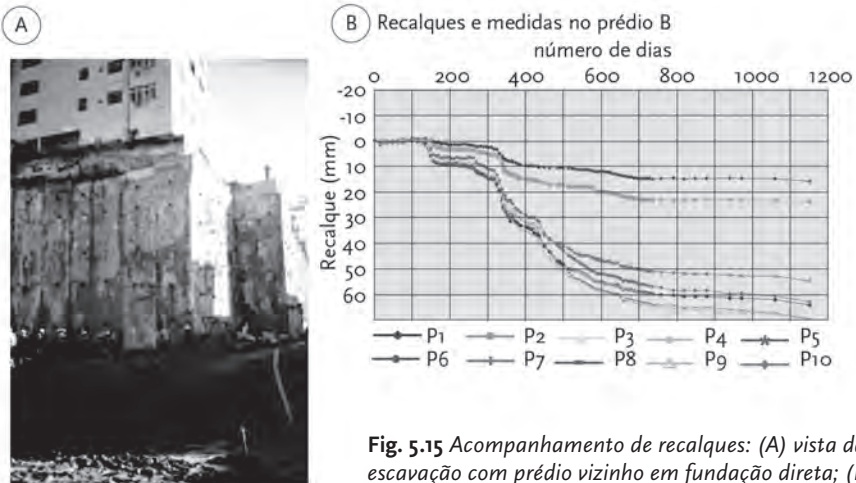


Fig. 5.15 Acompanhamento de recalques: (A) vista da escavação com prédio vizinho em fundação direta; (B) resultados do controle de recalques
Fonte: Milititsky (2000).

Construção: cuidados e suas implicações (caso de parede diafragma e estacas secantes)

Características gerais e detalhes construtivos dos vários sistemas de contenção podem ser encontrados em Puller (2003), nos anais dos eventos do DFI referidos nas referências bibliográficas (DFI, 2005; EFFC/DFI, 2016), em Saes, Stucchi e Milititsky (1998) e em Xanthakos (1979, 1991).

A execução de paredes diafragma, opção corrente em obras urbanas brasileiras, apresenta uma série de características e cuidados que devem ser observados para a obtenção de bons resultados no processo construtivo (DFI, 2005). Nos casos em que ocorram problemas e dificuldades construtivas, existem procedimentos já estabelecidos que podem identificar as origens e orientar sua solução (Poletto; Tamaro, 2011).

6.1 Planejamento da implantação – vários serviços

O planejamento das várias atividades que concorrem para a implantação de subsolo, usualmente envolvendo contratantes diferentes, é essencial ao bom desenvolvimento das atividades. A escavação e a remoção do solo, sua sequência sincronizada com a execução dos tirantes ou apoios, as diversas atividades de execução de tirantes e sua protensão e teste, com prazos definidos, caracterizarão um bom ou mau andamento dos serviços. Atrasos e interferências nas etapas de efetiva ativação do escoramento conduzem a um aumento nos efeitos sobre deslocamentos permitidos. A questão da definição e do planejamento dos trechos a escavar e de sua cota para a implantação dos escoramentos é fundamental para o bom andamento da implantação da obra, devendo fazer parte do projeto.

A questão da rampa para a retirada do solo a ser escavado à medida que prossegue a implantação dos escoramentos deve ser objeto de planejamento, bem como sua remoção no final da escavação (Figs. 6.1 a 6.4).

A perda de material através de discontinuidades nas contenções é apresentada de forma esquemática, com seu efeito de provocar recalques, nas Figs. 6.12 e 6.13.

Nas Figs. 6.14 e 6.15 são exibidos problemas correntes provocados pela drenagem e pelo bombeamento da água no subsolo.

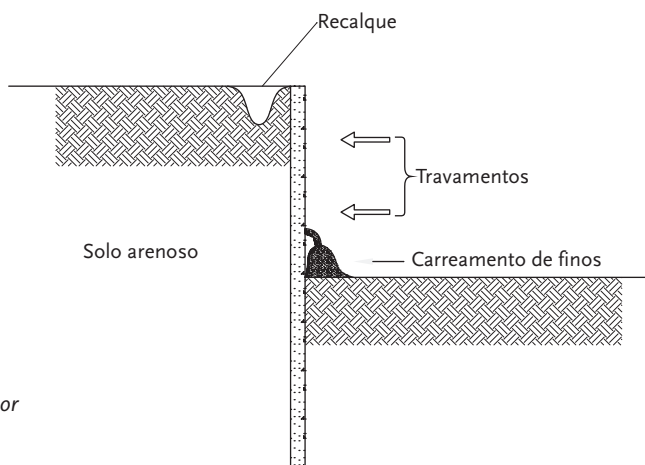


Fig. 6.12 Recalques induzidos por carreamento de solo através da parede de contenção



Fig. 6.13 Problemas de juntas entre as lamelas (falta de limpeza e elementos de junta não adequados), provocando carreamento de solo e instabilidade geral



Fig. 6.14 Problemas de drenagem do subsolo em virtude da ausência de tratamento das juntas entre as lamelas e na posição dos tirantes

marcante nos deslocamentos provocados. Quanto maior o tempo até efetivamente conter a cortina, maior o deslocamento. Eventuais tirantes escavados com problemas de obstruções ou impossibilidade de uso devem ser imediatamente injetados para evitar perda de solo, fluxo de água e recalques resultantes indesejáveis.

Os tirantes permanentes, quando utilizados, devem ter tratamento especial de proteção (NBR 5629 – ABNT, 2006), devem ser deixados comprimentos disponíveis desses tirantes para reensaio, a ser programado ao longo de sua vida útil, e deve ser deixada documentação para que tais ensaios sejam objeto dos procedimentos regulares de manutenção.

As Figs. 6.23 a 6.39 apresentam vários casos de problemas em escavações.



Fig. 6.23 *Lamela com ficha pequena tombada em virtude da remoção da bermagem*

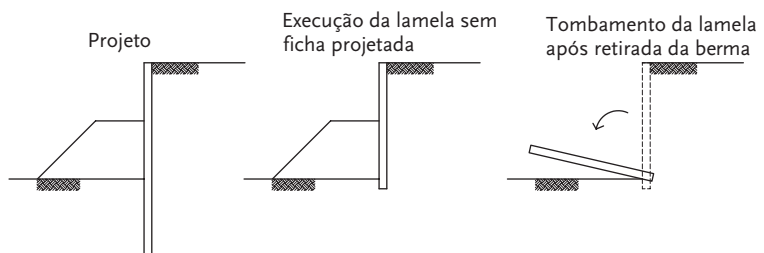


Fig. 6.24 *Croquis do problema*



Monitoramento: controle

O controle dos efeitos das escavações é item essencial para a garantia da segurança de escavações e deve constar dos projetos que envolvam possíveis danos em vizinhos e/ou apresentem características distintas daquelas corriqueiras de pequena dimensão.

De forma geral, os objetivos de monitoramento de uma escavação em perímetro urbano são os a seguir descritos:

- *Assegurar a segurança global da escavação:* essa é a função mais relevante de qualquer programa de monitoramento. Quando devidamente acompanhado, o monitoramento revela sinais de mau desempenho ou evidência de efeitos diferentes dos previstos em aspectos como deslocamentos e tensões, permitindo a adoção de medidas cautelares que evitem o colapso.
- *Assegurar a segurança da vizinhança:* em grandes escavações em meio urbano é praticamente impossível evitar os efeitos nas edificações e serviços próximos. Um dos aspectos a serem considerados no projeto e nas especificações da obra é o estabelecimento de limites para as variáveis sendo monitoradas, com a finalidade de corrigir o andamento dos trabalhos ou mesmo alterar procedimentos quando da evidência de efeitos indesejáveis (recalques excessivos, altas velocidades de recalques).
- *Confirmar as condições de projeto:* na medida em que a análise e o cálculo são feitos com base em modelos de comportamento e simplificações e/ou experiência anterior, a monitoração fornece os dados que confirmam a adequação das premissas de projeto, permitindo melhorar o conhecimento sobre as propriedades dos solos, os sistemas construtivos, os cuidados necessários, melhorando a evolução da obra (aceleração dos trabalhos), quando possível, e colhendo dados para futuros projetos.



Deslocamentos dos vizinhos: acompanhamento × danos

Os movimentos ocasionados pelas escavações e pelos procedimentos de implantação dos apoios das contenções podem causar deslocamentos das estruturas existentes na região afetada, tais como translações, rotações e distorções, e possivelmente resultar em danos. Movimentos rígidos de translação vertical e horizontal ou recalque uniforme influem pouco na sua distorção e trincamento, porém podem afetar conexões ou serviços vinculados à própria estrutura ou a elementos adjacentes. O uso ou o funcionamento das edificações pode ser afetado, especialmente se os usuários tiverem percepção negativa do fenômeno ou se ele afetar instalações, elevadores e equipamentos em geral.

O acompanhamento de deslocamentos dos vizinhos pode ser realizado de forma simples por meio do controle de recalques, do controle de verticalidade e do controle de fissuras.

8.1 Controle de recalques

Quando é necessário o acompanhamento do desempenho de estruturas existentes em virtude de uma escavação de grande porte próxima, realiza-se o controle de recalques.

O procedimento consiste na medida, com equipamento topográfico de precisão, referenciado a um *bench mark* ou marco de referência, de forma regular, da evolução dos recalques com o tempo ou com os estágios de carregamento. A instalação de controle (NBR 9061 – ABNT, 1985) com o detalhe de um marco de referência e dos pinos usualmente utilizados, nos quais é apoiada a uma régua Invar, por ocasião de cada leitura.

As Figs. 8.1 a 8.5 apresentam a instrumentação a ser implantada para o monitoramento, enquanto a Fig. 8.6 exhibe um exemplo de apresentação de relatório com resultados.

Recomendações

Para a realização segura de escavação de porte em perímetro urbano em todas as suas etapas, é oportuno indicar as seguintes condições e cuidados a serem observados. A adoção ou não das recomendações estará vinculada à complexidade do desafio a ser enfrentado, mas acreditamos que o simples conhecimento desses aspectos pode servir de guia para a adoção de práticas e técnicas boas e seguras:

- A condição de complexidade envolvida na solução de problemas de grandes escavações em perímetro urbano implica a necessidade do envolvimento de profissionais com várias especialidades (equipe incluindo projetista geotécnico, projetista estrutural, executantes dos serviços especializados projetados, empreiteiro de escavação, empresa de instrumentação e controle, fiscalização, entre outros).
- A sintonia e a permanente comunicação entre os integrantes da equipe são essenciais para o sucesso em face dos desafios a serem enfrentados.
- É altamente desejável a realização de encontro prévio envolvendo o proprietário, projetistas, contratantes e fiscalização, com a finalidade de sintonizar todos os envolvidos com o partido geral da solução e identificar os aspectos relevantes de segurança, bem como os procedimentos de fluxo de informações, especialmente as referentes à instrumentação e ao controle.
- Entre as variáveis desconhecidas na solução do problema condicionantes de qualquer solução, incluem-se o solo a ser escavado, as eventuais interferências, as condições das edificações e serviços vizinhos, a presença de água e a contaminação do solo, que devem ser objeto de investigação preliminar à elaboração da solução.

A construção de escavações cada vez mais profundas em grandes centros urbanos, para dotar os edifícios de múltiplos níveis de garagem, exige um profundo conhecimento de todas as variáveis envolvidas a fim de identificar as melhores soluções de projeto, prever e prevenir possíveis efeitos em construções vizinhas e garantir a estabilidade da escavação e a segurança da obra e seu entorno.

Grandes escavações em perímetro urbano explica quais as condicionantes a serem consideradas no projeto, como características do solo, nível freático, condições das edificações vizinhas e contaminação do solo, indicando as técnicas e procedimentos recomendados para a obtenção e análise de dados, cálculo das estruturas de contenção e acompanhamento de deslocamentos. O livro apresenta as estruturas de contenção mais utilizadas, as decisões de projeto e construtivas e o monitoramento.

Destacam-se as importantes recomendações e cuidados para a realização segura de escavações, fruto de 35 anos de atividade acadêmica e 48 anos de prática profissional do autor. O livro utiliza diversos exemplos reais para ilustrar a execução da obra, possíveis problemas e como evitá-los, representando um manual muito bem ilustrado para a aplicação da boa engenharia em grandes escavações.

Citando o autor: "Esta publicação terá cumprido com sua finalidade maior se a sensação que tive ao terminar a produção do livro for repetida entre os leitores. Sentimento do enorme benefício se tivesse lido algo desta natureza quando, na condição de jovem engenheiro, iniciei minhas atividades geotécnicas, para nortear projetos e orientar decisões, facilitando a atuação como projetista."

ISBN 978-85-7975-252-0



9788579752520