

O “INVISÍVEL” ESPAÇO SUBTERRÂNEO URBANO

GISLEINE COELHO DE CAMPOS
WILSON SHOJI IYOMASA
ADIR JANETE GODOY DOS SANTOS
JOSÉ RODOLFO SCARATI MARTINS
MARCELO MENEZES

Resumo: A cidade de São Paulo enfrenta uma crescente demanda por obras de infra-estrutura. Para ordenar essa ocupação, propõe-se que o Poder Público promova as regulamentações legais e um plano diretor, fundamentados nas características geológico-geotécnicas locais e no desenvolvimento de pesquisas geotecnológicas nas universidades e institutos de pesquisa, sob o conceito da sustentabilidade.

Palavras-chave: Subterrâneos. São Paulo. Espaço Urbano.

Abstract: Sao Paulo city demands lots of infrastructure urban constructions. To organize the new constructions, this paper recommends that the government creates specific laws, based on geotechnical characteristics of soils and universities research, to get a sustainable development of the city.

Key words: Underground. Sao Paulo city. Urban space.

A ocupação do espaço territorial urbano é dinâmica, passível de conflitos e sujeita à regulamentação, normalização e fiscalização efetivas. As definições técnicas que fazem parte do projeto, da implantação, manutenção e operação de um empreendimento subterrâneo são altamente complexas e decorrem não apenas das exigências específicas da obra, mas dependem, principalmente, de aspectos tais como ocupação do solo, preservação do meio ambiente e patrimônio histórico. Essas definições, condicionam-se às características geológicas, topográficas e geotécnicas, especificações do uso ao qual se destina, característica do sistema produtivo e, não por último, aos aspectos legais.

A interface do sistema subterrâneo com o meio urbano superficial é importantíssima e deve ser cuidadosamente planejada, dimensionada e inserida na funcionalidade do local. Esta exigência é evidente nos pátios de manutenção e nas áreas próximas às estações metroviárias, onde ocorre a integração com outros equipamentos de transporte, terminais, passarelas, acessos, além de instalações de utilidade pública como áreas comerciais, praças e jardins. Tais características influenciam no custo e licenciamento do empreendimento, o que exige um planejamento prévio minucioso.

Os subterrâneos das cidades foram inicialmente ocupados por canalizações, redes de água e esgotos, e pequenos túneis que possibilitassem a fuga ou acesso rápido. Atualmente, o espaço antes inexplorado e *invisível* à

maior parte da população, é ocupado por obras viárias, estacionamentos, sistemas de transporte de alta capacidade, como é o caso do trem metropolitano (metrô) e parte de edifícios comerciais e residenciais. Como complemento, o uso do espaço subterrâneo urbano constitui uma das formas mais promissoras de revitalização dos centros históricos das cidades e, conseqüentemente, da preservação do patrimônio, bem como de implantação de novas opções de lazer e de melhoria da qualidade de vida para o cidadão. Um dos melhores exemplos de revitalização na cidade de São Paulo é o da Estação da Luz, no qual o uso do espaço subterrâneo local permitiu a modernização da área, mantendo-se a arquitetura preservada.

Entretanto, a ocupação do subterrâneo vem sendo feita sem planejamento e controle específicos; sem a participação e mediação do poder público, os interesses privados estão prevalecendo, em detrimento de um crescimento organizado e pautado no conceito de sustentabilidade.

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 (capítulo II, título VII), atribuiu centralidade ao Plano Diretor Municipal, como instrumento básico da política urbana. Estabeleceu como competência do poder público municipal, a responsabilidade pela execução da política de desenvolvimento urbano, podendo contar, para tanto, com a cooperação das instituições representativas no desenvolvimento municipal (art. 29, inciso X), e, ao mesmo tempo, articulando-se às ações promovidas pelo governo federal (BRASIL, 1988).

O enfoque da constituição atual foi mantido no estatuto da cidade, Lei n. 10.257, publicada em 10 de julho de 2001, estabelecendo que a função social da propriedade é definida no âmbito do Plano Diretor. Dessa forma, reforça-se o plano como instrumento privilegiado da política urbana. Com bases legais, o processo de gestão democrática no município foi possibilitado pela articulação estratégica entre o poder público, seus cidadãos, a área acadêmica com seu setor de tecnologia, saúde e humanidades e o setor produtivo com suas indústrias, serviços, lazer e turismo (BRASIL, 2001).

A cidade de São Paulo dispõe de um Plano Diretor desde 1971, com a publicação da Lei n. 7.688 (SÃO PAULO, 1972), posteriormente atualizado por novas

leis de 1988 e 2003 (SÃO PAULO, 1988, 2002). Estas atualizações visam à articulação dos interesses da sociedade e do Poder Público, empregando projetos construtivos e urbanísticos para o território delimitado. O grande entrave na execução de tais projetos é a incerteza de continuidade e investimento financeiro, por implicações principalmente políticas e secundariamente técnicas, de gestão e monetárias.

De modo geral, a demanda crescente de obras urbanas subterrâneas é dificultada pela não previsão deste item no Plano Diretor, pela inexistência de um cadastro municipal atualizado de todas as instalações subterrâneas, pelas limitações dos métodos de investigação não-destrutivos do terreno, pela ocupação superficial da área, pelo custo e tipologia das obras e pelas interferências subterrâneas existentes (lençol freático, sistemas de drenagem). Nesse último caso, cabe lembrar os problemas recentes de recalques nas fundações de casas antigas no bairro de Moema, na cidade de São Paulo (IPT, 2000), que estão associados ao lençol freático raso e às novas formas de ocupação do solo, em especial pelos edifícios residenciais com garagens subterrâneas, que exigem o bombeamento constante da água.

Cadastros e legislações específicas para esse tipo de ocupação do solo certamente representariam um grande avanço para as áreas de engenharia e geologia, que contariam com subsídios para favorecer o uso e ocupação ordenada dos solos de uma área já ocupada. É nesse contexto que se enquadra o presente trabalho, apresentando a situação atual do Município de São Paulo, os estudos em desenvolvimento e as tendências futuras, sob a visão da chamada Geologia de Engenharia.

CENÁRIO ATUAL

Ao caminhar pelas ruas de uma grande cidade como São Paulo, não se imagina que, sob os pés, existe um gigantesco porão urbano, pelo qual circulam as estruturas e sistemas que permitem que a vida se desenvolva na superfície do terreno. Para exemplificar, atualmente encontram-se cerca de:

- 17.293 quilômetros de rede de água só na cidade de São Paulo (SÃO PAULO, 2001);

- 13.613 quilômetros de rede de esgotos, que significa um atendimento quase que total da população de São Paulo (PMSP, 2001);
- 57,6 quilômetros de linhas de metrô; com as obras de expansão em andamento, esse número chegará a 88 quilômetros (REVISTA ENGENHARIA, 2004); e
- 3.800 quilômetros de tubos de gás distribuídos por todo o Estado de São Paulo (COMGÁS, 2005).

Outras estruturas, tais como túneis viários, redes de fibras óticas e cabos de alta tensão também dividem o espaço subterrâneo de São Paulo, mas não existem informações seguras sobre os quantitativos já instalados.

A operação e manutenção desta extensão de cabos e dutos são feitas por um exército humano, que adentra no subterrâneo por diversos poços e galerias de acesso espalhadas por entre as estruturas superficiais. A vida se desenvolve simultaneamente na superfície e nos solos, aumentando cada vez mais a complexidade das obras de construção e ampliação da infraestrutura urbana.

O número crescente da população nas cidades brasileira, que passou de 25% para 75% na segunda metade do século XX, como mostram os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, e o aumento das edificações (*shopping centers*, condomínios verticais e megaempreendimentos imobiliários), evidenciam a grande demanda por obras urbanas (BITAR et al., 2000).

Com efeito, essa demanda requer o desenvolvimento de pesquisas para vencer os grandes desafios tecnológicos e promover o progresso, baseando-se no conceito da sustentabilidade e nas necessidades do conforto e bem-estar da população.

Além dos chamados usos tradicionais do espaço subterrâneo, o meio técnico brasileiro já discute as novas alternativas que vêm surgindo a cada dia. A literatura especializada tem dado destaque, por exemplo, à tendência mundial de construção de linhas subterrâneas de metrô e à incorporação de centros de compras associados às estações, que representam uma fonte de renda não operacional significativa para as empresas e, também, um volume gigantesco de escavação para as firmas responsáveis por suas construções (SALVADORI, 2004).

Outro enfoque atual sugere que o espaço subterrâneo seja também ocupado para a implantação de reservatórios naturais para a estocagem de água. No Brasil, por exemplo, em um estudo desenvolvido na cidade de Florianópolis, onde se encontram rochas graníticas, essa hipótese já foi aventada, destacando que isto melhoraria as condições de superfície (ALMEIDA, 2004). Projeto para armazenar água em cavernas escavadas, também já foi apresentado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp (IPT, 1995).

Dentro desta mesma linha de estudo, alguns pesquisadores brasileiros avaliaram a possibilidade de estocagem de gás natural em estruturas geológicas, próximo aos centros urbanos (IYOMASA et al., 2004). Trata-se de uma técnica muito empregada nos Estados Unidos, Alemanha, França, Rússia, entre outros países, e que certamente poderia sustentar a demanda da Região Metropolitana de São Paulo por longo período.

Também resultado de pesquisa nacional, a idéia das chamadas ruas subterrâneas resultaria na liberação da superfície do solo, para o uso exclusivo dos pedestres, e viabilizaria a reconstrução total da paisagem urbana (YOSHINAGA, 2004).

Verifica-se, portanto, que existem inúmeras possibilidades e alternativas para o melhor aproveitamento do espaço subterrâneo de uma grande cidade como São Paulo, com vistas à melhoria da qualidade do espaço superficial. Entretanto, limitações tecnológicas de procedimentos investigativos e a ausência de legislações representam, ainda no século XXI, empecilhos para o crescimento organizado deste setor.

O PAPEL DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NOS SUBTERRÂNEOS DAS CIDADES

O crescimento desordenado de São Paulo requer, cada vez mais, soluções tecnológicas tanto da Engenharia Civil como da Geologia de Engenharia para resolver problemas simples de interferências de obras. Mapas geológico-geotécnicos básicos podem auxiliar na tomada de decisões, sobretudo na elaboração de projetos; porém, muitas vezes, as informações contidas não são suficientemente detalhadas para permitir a adoção de soluções de engenharia.

Diante desta situação, fica evidente a importância das investigações geológico-geotécnicas e da aplicação de novos métodos construtivos para a ocupação do espaço subterrâneo. Para minimizar os impactos resultantes da construção de obras enterradas, há que se conhecer previamente as características dos maciços de solo e rocha a serem escavados, assim como as eventuais interferências existentes no local (redes anteriormente implantadas, fundações de edifícios, galerias já desativadas e até mesmo sítios arqueológicos).

O Município de São Paulo foi construída sobre uma bacia sedimentar, com solos de consistência e compacidade variáveis em função de sua localização (COZZOLINO et al., 1994; TAKIYA, 1991). Essa diversidade de materiais e da gênese das unidades geológicas condiciona a escolha dos métodos de escavação e construção a serem empregados. Entretanto, as informações disponíveis sobre o subsolo estão dispersas, sendo necessário consultar uma infinidade de documentos e mapas, para se obter uma possível descrição atualizada dos subterrâneos da cidade e, assim, planejar e projetar a implantação de novas obras.

Exemplo interessante, voltado ao planejamento de obras subterrâneas, é o estudo desenvolvido pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, na cidade de Curitiba. Um mapeamento, com dados apresentados em formato digital em três dimensões, foi feito e, em 2001, resultou na elaboração de um mapa geotécnico em escala municipal, destinado a subsidiar a tomada de decisões, quando os temas em foco estiverem relacionados à ocupação dos solos. Esta iniciativa poderia ser estendida para outras localidades, como São Paulo, por exemplo, cujo crescimento se deu de forma bem mais desordenada que Curitiba, considerada modelo para muitos urbanistas (EESC/USP, 2005).

Entretanto, promover a investigação geológico-geotécnica, visando à construção de obras civis, torna-se uma tarefa das mais difíceis ao se considerar a densidade da ocupação urbana de São Paulo. Acrescente-se a essa dificuldade, as modificações associadas aos processos promovidos pelo homem ao longo da história, como agente geológico (WILKINSON, 2005): retificações de córregos e rios, aterramentos, escavações, entre outras.

Os recentes problemas enfrentados pelos construtores da Linha 2 do metrô de São Paulo, no Jardim Aurélia, próximo à Rua Vergueiro, mostram exatamente esse tipo de desafio enfrentado por geólogos e engenheiros civis. Num determinado trecho, o túnel do metrô deverá passar sob um conjunto de residências antigas (edificações simples e construídas lado a lado), em profundidade variável entre 10 e 40 metros de profundidade, onde existem cacimbas e fossas negras desativadas e que podem interferir na estabilidade da obra. O grande desafio colocado é localizar essas cacimbas e fossas em área densamente ocupada e com muitas interferências, como rede de água e esgoto, ligações elétricas de subsuperfície, aterros com diferentes materiais, entre outras. Os resultados preliminares de ensaios com radar de penetração no solo (COLLINS; CUM; HANNINEN, 1994), realizados nesse local como parte de uma pesquisa em desenvolvimento por um dos autores desse artigo, mostraram as deficiências tecnológicas ainda existentes nas técnicas geofísicas para investigação do subterrâneo em áreas densamente ocupadas e com muitas redes de infra-estrutura enterradas.

Nesse sentido, o papel da Geologia de Engenharia na campanha de investigação e caracterização dos materiais requer conhecimento não apenas da geologia e geotecnia, ou das técnicas de investigação, mas também da história da ocupação local, que por vezes pode ser recuperada por meio de mapas e cadastros disponíveis em bibliotecas e prefeituras municipais. As técnicas de investigação direta, como trincheiras, poços de inspeção e mesmo as sondagens mecânicas, tornam-se obsoletas diante da complexidade da geologia, das interferências com outras obras existentes e das modificações antrópicas.

Resta aos profissionais recorrer aos métodos de investigação por meio indireto. Entretanto, salientam-se os grandes desafios tecnológicos que devem ser vencidos, pois os métodos de investigação não-destrutivos, como o radar de penetração no solo e a sísmica de reflexão rasa, ainda apresentam limitações significativas (PRADO, 2000), a despeito da evolução dessas técnicas, de forma expressiva na última década, e que acompanhou o desenvolvimento da tecnologia da informática.

A sísmica de reflexão é a técnica mais difundida na investigação de terrenos, sobretudo devido às suas aplicações nas áreas de pesquisa de hidrocarbonetos. A partir da década de 1980, essa técnica passou a ser aplicada nas áreas de engenharia e meio ambiente, com a finalidade de obter informações do subsolo, normalmente em profundidades inferiores a 50 metros. O princípio básico da técnica é o estudo do comportamento das ondas elásticas no terreno, no intervalo de tempo compreendido entre a geração, a propagação por diversas trajetórias possíveis e o registro de chegada em um receptor.

Tais estudos permitem determinar estruturas das camadas geológico-geotécnicas em subsuperfície e o conhecimento das propriedades físicas dos materiais, visto que as ondas sísmicas se propagam com velocidades determinadas pelos módulos de elasticidade e densidade dos materiais constituintes (PRADO, 2000). O conjunto de equipamentos é composto por uma fonte geradora de ondas (por exemplo, martelo), um sismógrafo registrador e geofones (receptores de ondas).

Por outro lado, o sistema do *Ground Penetrating Radar* – GPR (radar de penetração no solo) também pode ser utilizado para identificar dutos ou redes de galerias enterradas. O sistema é constituído por uma unidade de controle, uma antena transmissora e uma antena receptora. Uma onda de rádio, com frequência entre 50 e 1.000 MHz, é emitida por uma fonte e transmitida pela antena. Este pulso se propaga no solo e, ao atingir um meio com propriedades elétricas diferentes, é refletido, retornando à superfície onde é detectado pela antena receptora (FILLARD; DUBOIS, 1995). O tempo decorrido entre os pulsos transmitido e refletido pelo alvo investigado é registrado num *notebook* acoplado ao sistema.

O conjunto de antenas é deslocado na superfície e um novo pulso é enviado, repetindo o processo e, assim, uma seção dos registros da posição-tempo é gerada e exibida na tela do computador.

Novas tecnologias de investigação estão sendo desenvolvidas, como o da perfuração direcional, que, para aplicação adequada, requer conhecimento detalhado dos materiais de subsuperfície, sobretudo por meio de investigação com métodos não-destrutivos, quando se tratar de área urbanizada.

Em São Paulo, por exemplo, o uso de perfuração direcional não destrutiva para passagem de dutos elétricos vem se destacando como uma técnica viável e segura de instalação (TÉCHNE, 2005). Com o uso de bentonita e polímeros à base de água, pode-se evitar os desmoronamentos do solo, além dos bloqueios no trânsito e a construção de valas comumente empregadas nas técnicas tradicionais, circunstâncias que causam transtornos à vida urbana. Entretanto, o sucesso do uso dessa técnica depende do conhecimento das características geológico-geotécnicas do terreno e das redes de infra-estrutura.

Portanto, é necessário investir no desenvolvimento das técnicas não-destrutivas, como vêm ocorrendo em alguns países que já iniciaram a produção de equipamentos e *softwares* para investigação por meio de tomografia em três dimensões (3 D), à semelhança do que ocorreu na área da medicina. Deste modo, tecnologias inovadoras podem permitir o atendimento das demandas da população sem causar grandes impactos ao ambiente.

REGULAMENTAÇÕES PARA A OCUPAÇÃO DO ESPAÇO SUBTERRÂNEO

Segundo Silva e Machado (2001), o controle do subsolo constitui o componente central da gestão urbana democrática, pois ao mesmo associam-se a oferta de serviços e a segregação social. Dada sua importância, o uso do subsolo necessita de regulamentação específica e de legislações disciplinadoras para organização do espaço. Na cidade de São Paulo, existem algumas normas que, isoladamente, controlam seu uso; no entanto, não há uma agregação dessas normas, de forma que se tenha um conjunto organizado de regras que permitam gerir adequadamente o espaço subterrâneo.

Desde a década de 1970, observa-se a preocupação com a regulamentação do espaço subterrâneo, em particular para as obras e serviços executados nas vias e logradouros públicos. Algumas leis e decretos foram promulgados, como mostra o histórico apresentado por Silva e Machado (2001), mas sem uma articulação direta com os organismos diretamente ligados à aprovação das obras e, principalmente, ao

controle das mesmas. Esse controle pressupõe a realização de um cadastro detalhado de todas as interferências, posições, dimensões, etc. das redes implantadas, a fim de facilitar a realização de manutenções e expansões futuras.

A fim de disciplinar a ocupação subterrânea, há a necessidade de uma legislação específica e organizada, que limite e forneça as diretrizes básicas para obras enterradas e ainda estabeleça as responsabilidades e atribuições por eventuais acidentes ou impactos decorrentes destas intervenções. O não cumprimento deste requisito resulta na impossibilidade de uma gestão planejada, integrada e global sobre a ocupação do solo e subsolo.

O município de Porto Alegre pode ser considerado como exemplo a ser seguido quando o assunto é a ocupação do espaço subterrâneo, possuindo uma legislação específica para o licenciamento ambiental de redes de infra-estrutura urbana. Em 1998, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente da cidade finalizou a desorganização existente até então para a ocupação dos espaços do subsolo, criando uma lei que organiza a ocupação dos espaços aéreos e subterrâneos. Por meio desta lei, a prefeitura local recebe um pagamento das empresas que desejem usar o espaço subterrâneo para instalação de seus sistemas e disciplina a realização de escavações no solo urbano.

Além disso, a lei estabelece que é de responsabilidade do governo municipal o planejamento das redes de infra-estrutura, devendo estimular o compartilhamento por empresas diversas, a fim de evitar a multiplicação desordenada de cabos e dutos de diferentes sistemas, e minimizar os impactos decorrentes de suas instalações (PPA, 2005).

Paralelamente à criação dessa lei, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS juntamente com a Prefeitura Municipal, elaborou o Atlas Ambiental de Porto Alegre, que apresenta a história da evolução das unidades geológicas presentes na cidade, dados organizados das características geotécnicas, avaliação de possíveis impactos ambientais decorrentes de construções civis, entre outras informações básicas relacionadas ao meio físico (MENEGAT et al., 1998).

Este caso representa um mecanismo disciplinador do uso do espaço subterrâneo, minimizando a probabilidade de, num futuro próximo, a população deparar-se com um nível de congestionamento insustentável dos solos urbanos.

IMPACTOS DECORRENTES DA OCUPAÇÃO DO ESPAÇO SUBTERRÂNEO

À construção de quaisquer estruturas estão associados alguns impactos ao meio ambiente, cujo risco é decorrente do porte, do tipo da obra e das características da vizinhança. Em especial nos casos de obras subterrâneas, a análise dos riscos envolvidos deve ser muito mais detalhada, visto que muitas vezes estão sendo atravessados maciços de solo ou rocha sob altos edifícios, vias de tráfego intenso e até mesmo rios e córregos. Nestes casos, acidentes provocam sérios transtornos à população, além de representar risco à vida humana.

Em relação aos impactos no meio físico, decorrentes da ocupação subterrânea de áreas urbanas, sobretudo se esta ocorrer de forma desordenada, é importante destacar pelo menos dois deles: a possibilidade de se provocar alterações danosas no sistema de aquíferos naturais, com rebaixamento do seu nível ou até mesmo promovendo contaminações, e a dificuldade em se encontrar áreas adequadas para a deposição do material escavado.

A despeito da necessidade de se promover o desenvolvimento sustentável, a construção de obras civis, principalmente as subterrâneas, contribuíram de forma significativa para a produção de enormes quantidades de sedimentos. A quantidade de solo e rocha removidos *per capita* no mundo é de seis toneladas por ano, em média; o homem ultrapassou, pois, a natureza, na capacidade de remover solos e rochas (WILKINSON, 2005).

Um dos principais problemas envolvendo obras subterrâneas é a instabilidade das escavações, que pode provocar rupturas abruptas ou recalques de elevada magnitude para as estruturas de superfície. Analisando-se a bibliografia disponível (BITAR et al., 2000), encontram-se relatos de vários acidentes com túneis e passagens subterrâneas viárias, cujas conse-

qüências são de conhecimento de toda a população, mas cujos custos sociais e impactos não são usualmente quantificados. Cabe lembrar que muitos acidentes nem sequer são relatados e publicados.

Atualmente, parte das despesas (consumo extra de combustível, tempo no trânsito, os quais aumentam o custo médio previsto na atividade) decorrentes de acidentes com obras subterrâneas, é estimada por meio de cálculos estatísticos, como faz a Companhia de Engenharia de Tráfego da Prefeitura Municipal de São Paulo. Essa emprega o sistema computacional canadense EMME/2 e abrange toda a Região Metropolitana de São Paulo. O estudo de estimativa tem como base de simulação a matriz de viagens origem/destino, da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, de 1997 (AZEVEDO, 2002).

Entretanto, existem outros custos indiretos aos cidadãos, como a elevação do nível de estresse, maior desconforto, perdas e danos morais, entre outros, que merecem consideração especial porque, em geral, nesses itens o cidadão não é ressarcido, embora isso afete diretamente a sua qualidade de vida. Estas e muitas outras questões precisariam ser respondidas e quantificadas para que fosse possível mensurar efetivamente os impactos de uma obra subterrânea, e de eventual acidente na fase construtiva, sob uma análise multiobjetivo, que considere o custo social do empreendimento.

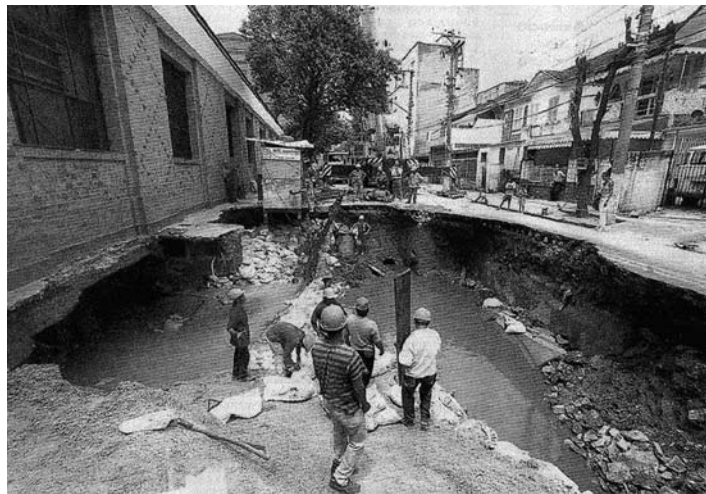
Para exemplificar o impacto que um acidente pode causar na população de uma cidade, cita-se a ruptura que ocorreu na frente de escavação de um túnel (CAMPOS et al., 2000) da antiga Empresa Paulista de Transmissão de Energia Elétrica S.A. – EPTE. Na tarde do dia 4 de março de 1998, ocorreu a interrupção no fornecimento de energia na região do bairro do Cambucí, provocando a paralisação dos sistemas de rebaixamento d'água para a escavação do túnel. Uma forte chuva, com duração superior a uma hora,

provocou a inundação das ruas circunvizinhas aos poços de acesso ao túnel e, aproximadamente uma hora e meia depois, pôde-se verificar a entrada de água para o interior do mesmo. Em seguida, um forte estrondo e a formação de dois vórtices resultaram da ruptura do túnel. Em superfície, na rua Luís Gama, próximo à Avenida do Estado, abriu-se uma cratera com diâmetro equivalente a cerca de 10 metros e 19 metros de profundidade (Foto 1).

Outro exemplo recente de impacto na cidade de São Paulo, já citado no item 1, é o afundamen-

Foto 1

Cratera aberta devido à ruptura de um túnel na rua Luís Gama
Município de São Paulo – Mar. 1998



Fonte: OESP.

to que vem sendo observado no bairro de Moema (AFUNDAMENTO..., 2005; IPT, 2000). Esse caso vem chamando a atenção dos gestores públicos para a implantação de legislação específica para regular obras subterrâneas. Associado às intervenções no lençol freático, esses afundamentos (Foto 2) não são os primeiros registrados na cidade e, certamente, não serão os últimos, dadas as características geológico-geotécnicas do subsolo local e, principalmente, à crescente instalação de sistemas de rebaixamento do nível d'água para a construção de garagens no subsolo. Problemas desse tipo não são desejáveis, mas cer-

tamente contribuem para o despertar da consciência sobre a necessidade urgente de se regulamentar o uso do solo e, mais especificamente, do subsolo de uma grande cidade como São Paulo.

TENDÊNCIAS E DESAFIOS FUTUROS

Com apoio da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, no âmbito do Programa de Apoio ao De-

- metodologias para avaliações geotécnicas voltadas ao planejamento ambiental e territorial;
- monitoramento de perfurações (sondagens, etc.);
- propriedades geotécnicas de solos;
- novos métodos de investigação de maciços, em especial os não-destrutivos;
- disposição de rejeitos e resíduos; e
- desenvolvimento de *softwares* e uso de Sistema de Informações Geográficas.

Apesar desse estudo não estar focado nas obras subterrâneas urbanas, ele mostrou que no Municí-

pio de São Paulo há uma crescente demanda por obras de infra-estrutura que, aliada aos conflitos e disputas pelo uso do solo, tem induzido e intensificado a ocupação do subterrâneo da cidade. Contribuem, ainda, para a ocupação subterrânea, os altos custos associados a desapropriações de terrenos. Contudo, o mesmo processo histórico de ocupação desordenada do solo presenciado na cidade, sobretudo nas últimas décadas, começa a ser reproduzido também no subsolo, dando origem a problemas diversos na construção de obras, os quais muitas vezes resultam em acidentes e danos à própria infra-estrutura já instalada, além de impactos ambientais que poderiam ser evitados.

Essa ocupação crescente do subterrâneo, seus impactos no meio ambiente e implicações na qualidade de vida da população são desafios que devem ser enfrentados pela engenharia brasileira. Para o ordenamento dessa ocupação, na cidade de São Paulo, é necessário que o Poder Público estabeleça o Plano Diretor de obras subterrâneas, como já implementado em outras cidades, principalmente de países desenvolvidos. Para isso, é preciso formular estratégias e diretrizes técnicas que visem a orientar e ordenar o uso e a ocupação do subsolo no o Município de São Paulo, à semelhança do zoneamento de su-

Foto 2

Afundamento em Moema
Município de São Paulo – Set. 2005



envolvimento Científico e Tecnológico – PADCT, desenvolveu-se amplo estudo para identificar desafios tecnológicos de Geologia de Engenharia, requeridos pelas obras civis (ZUQUETTE, 1996). O estudo, fundamentado em consultas a profissionais e em publicações nacionais e internacionais, indicou a necessidade em investir na formação de recursos humanos (cursos de pós-graduação e de atualização), no desenvolvimento de laboratórios básicos fora do eixo Rio-São Paulo e em linhas de pesquisas tecnológicas. Dentre essas linhas, destacam-se:

perfície, considerando-se em especial a análise da interação entre os diferentes tipos de obras subterrâneas (túneis, passagens, garagens, redes, cabos, entre outras), instaladas e planejadas, e as características geológico-geotécnicas e hidráulicas presentes no subsolo paulistano.

Também é necessário levantar informações sobre a infra-estrutura urbana subterrânea e propor instrumentos técnico-legais que propiciem à prefeitura de São Paulo gerenciar adequadamente os problemas e conflitos decorrentes, corrigindo as situações críticas existentes e prevenindo as potenciais. Deve-se objetivar a elaboração de um sistema de planejamento e gestão destinado a assegurar a melhoria e o monitoramento das ações previstas no Plano Diretor. Dentre as ações necessárias destacam-se:

- estabelecimento de legislação especial para disciplinar o uso do espaço subterrâneo dos grandes centros urbanos;
- estabelecimento de incentivos, por parte do governo e de agências de fomento, para o desenvolvimento de novos programas e linhas de pesquisa que permitam a exploração e o uso ambientalmente corretos do subsolo;
- investimento em programas de pesquisa ligados à Geologia de Engenharia, Hidrogeologia e Engenharia Civil, cujos resultados podem oferecer subsídios para a escolha das melhores alternativas de ocupação dos subterrâneos; e
- desenvolvimento de metodologias para investigação do subsolo com técnicas não-destrutivas, como o radar de penetração em solo, a eletrorresistividade, a reflexão rasa, ou a composição entre essas técnicas.

CONCLUSÕES

São grandes os desafios geotecnológicos relacionados às construções e ocupação dos espaços subterrâneos, sobretudo na cidade de São Paulo. Tais desafios iniciam-se nas necessidades das questões legais e do Plano Diretor, passam pelos problemas de investigação do terreno e vão até o estabelecimento de novos métodos de construção de obras subterrâneas.

Os poderes municipais (câmara e prefeitura), responsáveis pelas questões legais, devem fomentar as discussões necessárias para elaborar diretrizes que disciplinem o uso do espaço subterrâneo, buscando apoio na geologia e geotecnia para que o Plano Diretor, ou as legislações específicas para o licenciamento de obras de infra-estrutura urbana, sejam fundamentadas e adequadas às características técnicas dos terrenos.

As empresas construtoras, projetistas e concessionárias de serviços públicos podem auxiliar na elaboração do cadastro das redes subterrâneas, fornecendo aos órgãos municipais ou estaduais competentes os arquivos digitais das plantas e seções dos seus projetos.

Às universidades e aos institutos de pesquisas, em especial aos que trabalham com temas relacionados ao meio físico, cabe promover o desenvolvimento geotecnológico por meio da adoção de programas de pesquisas que priorizem o estudo e o aprimoramento das ferramentas de investigação; a inserção de novos métodos construtivos, sobretudo os relacionados com as obras subterrâneas; e o desenvolvimento de novos materiais para uso nas obras civis.

Tais programas de desenvolvimento geotecnológico devem ter como princípio a sustentabilidade, favorecendo o conforto, reduzindo os impactos ao ambiente e melhorando as condições de vida da população.

Referências Bibliográficas

- AFUNDAMENTO em Moema faz SP discutir o uso de seu subsolo. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 12 out. 2005. Caderno Cotidiano, p. 8.
- ALMEIDA, E.S. *Geóloga propõe obras no subsolo*. Notícias, Florianópolis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina. 2004. Disponível em: <http://www.mic.ufsc.br/index.php?url=primeira_edicao/conteudo/int_geografa.htm>. Acesso em: 11 mar. 2005.
- AZEVEDO, A.A. *A incorporação de incerteza de natureza geológica no projeto e construção de túneis urbanos* – proposta metodológica baseada na teoria da decisão. 2002, 181 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- BITAR, O.Y.; IYOMASA, W.S.; CABRAL JÚNIOR., M. Geotecnologia: tendências e desafios. *São Paulo em Perspectiva*. São Paulo, Fundação Seade, v. 14, n. 3, p.78-90, jul./set. 2000.
- BRASIL. Lei n. 10.257. Estatuto da Cidade. Regulamenta os artigos 182 e 183 da constituição federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 11 jul. 2001.
- _____. Congresso. Senado. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 out. 1988.
- CAMPOS, G.C.; IYOMASA, W.S. e HAMASSAKI, L.T. Ruptura da frente de escavação de um túnel urbano. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS, 4., 2000, São Paulo. *Atas...* São Paulo, ABEP/ABMS, 2000. v. 2. p. 496-505.
- COLLINS, M.E.; CUM, M.; HANNINEN, P. Using ground-penetrating radar to investigate a subsurface karst landscape in north-central Florida. *Geoderma*, n. 61, p. 1-15, 1994.
- COMGÁS. *Rede*. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2005.
- COZZOLINO, V.M.; MARTINATI, L.R.; BUONO, A.V.D. Contribuição ao estudo dos movimentos tectônicos sin e pós-sedimentar na bacia de São Paulo a partir de evidências observadas nas escavações do túnel da Eletropaulo. *Solos e Rochas*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 13-29, 1994.
- EESC/USP – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. *Mapeamento de subsolo possibilita planejar obras subterrâneas*. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/bols/2002/rede1112.htm>>. Acesso em: 11 mar. 05.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Visita técnica a condomínio situado à Av. Jamaris, n. 571, em São Paulo – SP*. São Paulo, Parecer técnico IPT n. 7.761, 2000. 11p.
- _____. *Verificação da qualidade de registros sismográficos provenientes do desmonte com explosivos em gnaisses alterados do emboque da janela do túnel-reservatório do Guaraú, Serra da Cantareira, Município de São Paulo, SP*. São Paulo, Relatório técnico IPT n. 33.298, 1995. 45p.
- IYOMASA, W.S. et al. Estocagem subterrânea de gás natural (ESGN) em meios porosos para uso em termelétricas: estudo geológico e de pré-viabilidade econômica no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA: RECURSOS MINERAIS E DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO, 42., 2004, Araxá.
- MENEGAT, R.; PORTO, M.L.; FERNANDES, L.A.D. *Atlas ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS; Prefeitura de Porto Alegre, 1998. 228 p. Disponível em: <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/dmlh/default.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2005
- PRADO, L.R. *A sísmica de reflexão rasa e o radar de penetração no solo na investigação geológico-geotécnica em ambientes urbanos: um estudo na cidade de São Paulo-SP, Brasil*. 2000, 174 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – Unesp, São Paulo, 2000.
- REVISTA ENGENHARIA, São Paulo, Engenho Editora Técnica, ano 62, n. 568, 31 mar. 2005. ISSN 00013-7707.
- _____. *O metrô de São Paulo*. São Paulo, Engenho Editora Técnica, ano 61, n. 564, p. 35, 2004. ISSN 00013-7707.
- SALVADORI, S.E.F. As obras subterrâneas urbanas: por que são diferenciadas? In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS, 5., 2004, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2004. v. 1. p.315-321.
- SÃO PAULO (Município). Lei n. 13.430. Institui o Plano Diretor Estratégico e o Sistema de Planejamento e Gestão do Desenvolvimento Urbano do Município de São Paulo. *Diário Oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, 7 nov. 2002 e 9 nov. 2002. Retificação.
- _____. *Números da cidade – 2001*. São Paulo, Prefeitura de São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 11 out. 2005.
- _____. Lei n. 10.676. Dispõe sobre a instituição do plano diretor do Município de São Paulo. Câmara Municipal São Paulo. *Diário Oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, 7 nov. 1988.
- _____. Lei n. 7.688. Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de São Paulo - PDDI-SP, e dá outras providências. *Diário Oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, 16 jan. 1972. Retificação.
- SILVA, R.T.; MACHADO, L. Serviços urbanos em rede e controle público do subsolo – Novos desafios à gestão urbana. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, Fundação Seade, v. 15, n. 1, p. 102-111, jan./mar. 2001.

TAKYIA, H. *Aplicação de métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da bacia de São Paulo*. 1991. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

TÉCHNE. Perfuração não destrutiva. *Revista Técnica*, São Paulo, n. 96, p. 20, mar. 2005.

TILLARD, S.; DUBOIS, D.C. Analysis of GPR data: wave propagation velocity determination. *Journal of Applied Geophysics*, n. 33, p. 77-91, 1995.

WILKINSON, B.H. Humans as geologic agents: A deep-time perspective. The Geological Society of America. *Geology*, v. 33, n.

3, p. 161-164, 2005. Disponível em: <<http://www.gsjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1130%2FG21108.1>>. Acesso em: 11 mar. 2005.

YOSHINAGA, M. Infra-estrutura urbana: ruas subterrâneas. *Revista Eletrônica Vitruvius*, Portal de Arquitetura da Universidade de São Paulo, abr. 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/minhacidade/mc095/mc095.asp>>. Acesso em: 11 mar. 2005.

ZUQUETTE, L.V. *Relatório final sobre o diagnóstico da subárea de Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, Projeto PADCT-CNPq. 1996. p. 1-19.

GISLEINE COELHO DE CAMPOS

Doutora em Engenharia Civil, Professora e Coordenadora de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, Pesquisadora do IPT.
(gisleine@anhembi.br)

WILSON SHOJI IYOMASA

Doutor em Geotecnia, Professor de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, Pesquisador do IPT.
(wsi@ipt.br)

ADIR JANETE GODOY DOS SANTOS

Doutora em Química, Professora de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, Pesquisadora do IPEN.
(ajgodoy@anhembi.br)

JOSÉ RODOLFO SCARATI MARTINS:

Doutor em Engenharia Civil, Professor de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, Pesquisador da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.
(rodolfo@anhembi.br)

MARCELO MENEZES

Doutor em Engenharia de Produção, Professor da Universidade Anhembi Morumbi.
(marcelomenezes@anhembi.br)

Artigo recebido em 20 de dezembro de 2005.

Aprovado em 5 março de 2006.

Como citar o artigo:

CAMPOS, G.C. et al. O "invisível" espaço subterrâneo urbano. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 2, p. 147-157, abr./jun. 2006. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>; <<http://www.scielo.br>>.