



INVESTIGAÇÕES PARA OBRAS COMPLEXAS



REVISTA
GC
GRANDES CONSTRUÇÕES

Voltadas para projetos de alta complexidade, as investigações geotécnicas contribuem de forma efetiva para que obras como a abertura de túneis ocorram sem imprevistos

A construção de túneis é uma obra complexa, que exige tecnologias e estudos específicos do solo para que seja executada sem intervenções ou acidentes. Para isso, o papel das investigações geotécnicas é essencial. Segundo André Assis, professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UNB), esse tipo de obra é extremamente dependente da geologia, pois a escavação promove redistribuição de tensões e, consequentemente, cria um campo de deslocamentos induzidos.

Portanto, definir um modelo geológico adequado é essencial para o sucesso da obra, diz ele, lembrando que o modelo geológico nunca será 100% definitivo, dada a variabilidade geológica natural. Quanto mais bem-investigado, mais assertivo será o modelo geológico, evitando riscos que podem afetar a se-

gurança, os prazos e os custos da obra. “Porém, dada a dificuldade de se definir o modelo geológico por investigações, ainda se defende que a melhor investigação é a própria escavação do túnel, admitindo todas as incertezas possíveis durante a obra”, aponta o especialista, que também é consultor independente e ex-presidente do Comitê Brasileiro de Túneis (CBT), da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS) e da Associação Internacional de Túneis (ITA).

Segundo Jean Pierre Ciriades, presidente do CBT, as investigações geológico-geotécnicas devem ser realizadas em etapas evolutivas, compatíveis com a fase do projeto. O ponto de partida é a análise de cartas geológicas, para avaliar as características do maciço onde se pretende inserir uma obra subterrânea (tipo de rocha, composição, estrutura, efeitos tectônicos etc.), seguida por uma



▲ Assis, da UNB: tipo de obra extremamente dependente da geologia

análise do relevo (identificando feições, falhas, zonas de cisalhamento) e visitas em campo (capazes de identificar afloramentos e outras características, nas quais a presença do geólogo é fundamental). “A partir desses estudos iniciais e munidos de possibilidades de traçado, o geólogo e o engenheiro geotécnico irão prescrever uma série de investigações em profundidade a fim de avaliar a estratigrafia e a estrutura, obtendo amostras dos materiais que compõem o maciço”, complementa.

PARÂMETROS

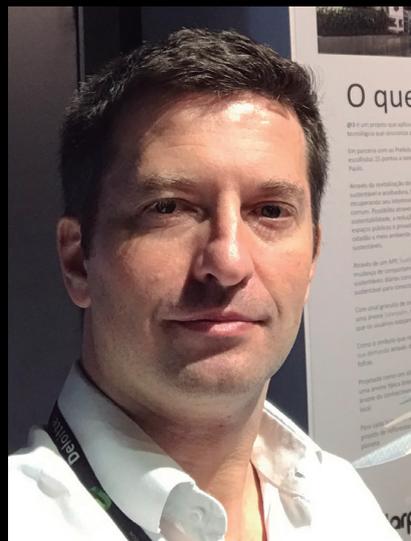
O presidente e diretor técnico da GeoCompany, Roberto Kochen, comenta que são utilizados vários tipos de ensaios, tanto na fase de projeto quanto na de obra. Na fase de projeto, por exemplo, é essencial realizar sondagens do solo e obter amostras de rochas.

Vários tipos de ensaios podem ser necessários para determinar as propriedades do solo, ele afirma, como cisalhamento direto e triaxiais. Para rochas, são realizados ensaios sísmicos (propagação de ondas de choque a partir da superfície), caminhamento elétrico e outros. “Tudo depende das características geológico-geotécnicas ao longo do traçado e das características de cada túnel, considerando dimensões, profundidade e outros fatores”, complementa Kochen.

A sondagem, por sua vez, é um dos métodos diretos mais utilizados para

a coleta de informações do subsolo e avaliação da capacidade de suporte para obras. De acordo com Hugo Cássio Rocha, especialista da diretoria de engenharia do Metrô de São Paulo, isso pode ser feito por meio de perfuração em solo (sondagem a percussão ou de simples reconhecimento) ou rocha (sondagem rotativa).

A técnica é capaz de descrever o tipo de solo e/ou rocha e fazer a interpretação geológica até a profundidade prevista em projeto, seja por meio de amostragem a cada metro, variação de camada ou amostragem integral da rocha em testemunhos cilíndricos. Também avalia as diversas camadas, medidas por índice de resistência a penetração do amostrador (Standard Penetration Test – SPT), as condições do maciço rochoso, considerando a recuperação dos testemunhos, RQD (Rock Quality Designation), grau de alteração, fraturamento e características das discontinuidades, e o nível do lençol freático (nível d’água estático e



▲ Ciriades, do CBT: etapas evolutivas e investigações em profundidade

dinâmico). “Em toda obra de engenharia, há sempre um item ao qual o projeto tem de se adaptar às condições impostas pela natureza do subsolo”, observa Rocha. “Assim, é obrigado a aceitá-lo, com suas qualidades e defeitos.”

No monitoramento, utiliza-se instrumentação interna ao túnel (por exemplo, por convergência) e externa (mar-



▲ Kochen, da GeoCompany: conhecer as propriedades do solo exige vários tipos de ensaios

cos de recalque superficial, tassômetros, piezômetros, indicadores de nível d’água e outros instrumentos, conforme as características de cada túnel). Segundo Kochen, quando há estabilidade insuficiente pode-se empregar enfilagens com injeção de calda de cimento, colunas de solo-cimento (JG – Jet Grouting) horizontal ou vertical (caso haja acesso pela superfície), DHPs (Drenos Horizontais Profundos) e pregagem da frente de escavação, entre outras técnicas. “Para túneis em rocha, basicamente se utilizam chumbadores na abóbada e paredes laterais e, eventualmente, tirantes”, explica.

De acordo com Rocha, o principal objetivo dos ensaios, tanto em laboratório quanto in situ, é a obtenção de parâmetros geotécnicos representativos dos maciços. “Os parâmetros geotécnicos são obtidos basicamente através de ensaios de campo e laboratório, mas também por meio de relações empíricas e semiempíricas, que se baseiam no conhecimento do desempenho, em outras obras e em condições geotécnicas semelhantes, além de retroanálises de comportamento de obras em contexto geológico similar”, detalha.

PROBLEMÁTICAS

Os principais problemas que surgem na construção de túneis em solo, retoma Kochen, são rupturas de frente ou de teto na face de escavação, além de



▲ Rocha, do Metrô: condições impostas pela natureza do subsolo

recalques excessivos, fluxo de água, convergências excessivas e comportamento inadequado da escavação. “Para túneis em rocha, o mais frequente é queda de blocos ou ruptura de tirantes e chumbadores”, acrescenta.

Segundo o diretor da GeoCompany, deve-se destacar a dificuldade em caracterizar o maciço, mesmo com a aplicação das boas práticas de investigação, pois há uma diferença básica entre obras subterrâneas e de superfície, nas quais os materiais e suas propriedades de resistência e deformabilidade são bem-conhecidos. “Em obras subterrâneas, há um nível de complexidade elevado, incluindo problemas com muitas variáveis e de difícil modelagem”, comenta o especialista.

Para ele, há uma diferença sensível entre características imprevistas e não prognosticadas. “As imprevistas realmente são surpresas, que podem ocorrer devido à variabilidade da natureza”, ressalta. “Já a não prognosticada poderia ter sido prevista, mas por qualquer razão não foi.”

► A sondagem coleta informações do subsolo e avalia a capacidade de suporte para obras

É importante destacar que um modelo geológico bem-definido não garante a competência do maciço. Pelo contrário, pode confirmar que se trata de um material débil. “Com base nesse modelo, a engenharia tem todos os elementos para projetar o túnel de forma adequada, sem ficar sujeita a ocorrências críticas durante a escavação”, assevera Assis.

Tão importante quanto definir os litotipos (ou seja, as camadas de diferentes materiais geotécnicos e estruturas geológicas) é atentar-se à caracterização adequada das águas subterrâneas, tanto em termos de vazão quanto de pressão, além de sua composição química. “É o caso de, por exemplo, pH ácidos, que podem reagir negativamente com materiais do sistema de suporte como o próprio concreto, chumbadores, tirantes e

cambotas metálicas”, prossegue.

Outro ponto relevante, que pode gerar problemas durante a escavação, é o estado de tensões in situ, interpretado como o estado original de tensões com que a escavação do túnel vai interagir e redistribuir, gerando um novo estado. “Portanto, se for mal avaliado ou subestimado, todo o cálculo de tensões estará comprometido”, diz ele.

Segundo Ciriades, do CBT, identificar esses riscos de forma prévia é o principal objetivo do processo de investigação. “No entanto, os desafios são grandes”, ele admite, destacando que os métodos de investigação ainda fornecem informações espacialmente limitadas, sujeitas a interferências e carentes de interpretações precisas. “Ou seja, surpresas continuarão a existir”, complementa.





DIVULGAÇÃO

▲ Acidentes como este ocorrido em Luxemburgo decorrem do desconhecimento das condições do subsolo e ausência de critérios técnicos

ACIDENTES

Segundo Rocha, do Metrô de São Paulo, a pressa em construir e a ausência de técnicas e profissionais qualificados muitas vezes levam a atrasos em obras, quando não a desastres. “Projetos de fundações baseados em condições desconhecidas do subsolo são desenvolvidos com coeficientes de segurança extremamente elevados ou sem critério técnico, acarretando custos maiores e falta de segurança”, diz.

Invariavelmente, os acidentes têm uma linha causal complexa, nota o professor, ou seja, não ocorrem por um simples e único deflagrador, mas sim por uma série de fatores que ocorrem conjunta ou sequencialmente. “Os acidentes em túneis são bem mais raros do que na engenharia de obras corriqueiras, mas causam uma repercussão maior por ocorrerem no subterrâneo, com um aspecto psicológico de maior sensibilidade”, aponta Assis.

Embora seja comum atribuir os acidentes a problemas geológicos ou de força maior (eventos naturais extremos como chuvas intensas, sismos etc.), estatísticas demonstram que apenas 20% das ocorrências se devem a fatores

causais, enquanto 80% estão ligados a engenharia deficiente e a problemas de projeto e de construção. “Isso é bem realista, pois expõe a complexidade que é a construção de um túnel”, diz Assis. “Ainda mais em meio urbano, onde as consequências de uma eventual ruptura podem abranger edificações e infraestrutura lindeiras.”

Portanto, a minimização de acidentes passa pelo entendimento do processo, no qual todas as componentes e agentes participantes são importantes. Por parte do agente contratante, explica o especialista, espera-se documentos de licitação claros e bem-especificados, com destaque para a disponibilização de todas as investigações e ensaios executados, bem como documentos como o modelo geológico e o Relatório de Base Geotécnica (GBR). “Do projetista, espera-se competência, dedicação e experiência, inclusive durante a obra, fazendo análise da instrumentação, ajustes do modelo geológico e do projeto em si, em função das novas informações advindas do comportamento do túnel durante a obra”, afirma. Para o especialista, a engenharia competente tem um preço, de modo que na contra-

tação não deve prevalecer a ideia de preço mínimo. “Competência, dedicação e experiência devem ser remuneradas adequadamente”, diz Assis.

Outro fator frequente em incidentes é a pressa em construir, adotando-se vieses otimistas quanto ao comportamento do maciço. “Avanços excessivos, não observar a aplicação da espessura correta do concreto projetado, não aguardar o ganho de resistência e não respeitar a distância entre a calota e o rebaixo, ultrapassando a capacidade de fundação do maciço, são alguns exemplos de falha cuja responsabilidade é do executante”, complementa Ciriades.

Por fim, Assis destaca que também é preciso contar com um sistema de gestão de riscos que antecipe os cenários de incertezas e contemple soluções. “Isso vai desde ações de contingência até ações emergenciais, caso não se consiga estancar o problema”, observa.

Saiba mais:

CBT: www.tuneis.org.br

GeoCompany: www.geocompany.com.br

Metrô SP: www.metro.sp.gov.br

UNB: www.unb.br