

TÚNEIS. PROSPECÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA

Tunnels. Engineering Geological Investigations

por
RICARDO OLIVEIRA*

RESUMO – O trabalho pretende constituir um relato actualizado dos métodos de estudo geológico e geotécnico considerados adequados para o estudo de túneis. A par com a referência a esses métodos, são apresentados alguns exemplos de aplicação.

SYNOPSIS – This paper is an up to date report on the methods which seem more adequate for the engineering geological study of tunnels. Together with the reference of those methods some examples of application are included.

1 – INTRODUÇÃO

O grande incremento verificado na construção de túneis tem conduzido a um desenvolvimento apreciável na metodologia de estudo geológico e geotécnico e, o que é mais importante, ao reconhecimento da economia que pode representar para a obra a condução de estudos prévios adequados, seguida de um acompanhamento, em fase de obra, por técnicos especializados.

Neste trabalho são feitas considerações relativas aos estudos geológicos e geotécnicos de túneis, procurando contemplar as situações mais frequentes tais como túneis rodoviários e ferroviários, para fins hidráulicos e de acesso a cavernas subterrâneas, fazendo-se referência, sobretudo, às tarefas correspondentes, em regra, às fases de estudo prévio, ante-projecto e projecto das obras.

O estudo geológico e geotécnico de um maciço interessado pela construção de um túnel deve ter como finalidade a definição dos parâmetros geotécnicos que poderão influenciar a estabilidade da obra. Dentre aqueles parâmetros,

* Especialista, Chefe da Divisão de Prospeção do LNEC. Professor da Universidade Nova de Lisboa
GEOTECNIA 15

contam-se sempre a deformabilidade e a resistência das formações, com frequência a permeabilidade dos terrenos (sobretudo em túneis hidráulicos) e por vezes o estado de tensão virgem ou inicial.

Para se obter a desejada caracterização destes parâmetros geotécnicos torna-se necessário seguir uma metodologia de estudo adequada às dimensões da obra, ao tipo das formações geológicas, e à espessura dos terrenos de cobertura. De um modo geral, contudo, pode dizer-se que o estudo deverá sempre iniciar-se pela caracterização geológica das formações, primeiro à custa de técnicas simples de reconhecimento geológico e só em fase subsequente à custa do recurso a técnicas mais sofisticadas.

Do ponto de vista geológico, os aspectos em geral mais importantes são a caracterização litológica dos terrenos, a respectiva caracterização tectónica (sobretudo no que se refere às descontinuidades que afectam o maciço) e as condições hidrogeológicas. Todos estes aspectos têm importância fundamental quer na escolha do método de furação mais indicado quer na definição da necessidade e do tipo de revestimento ou de suporte.

Após a definição das características geológicas das formações que, em certos casos, poderá ser suficiente para o estabelecimento dos critérios mencionados no projecto da obra, segue-se na maior parte dos casos, a caracterização geotécnica dos terrenos visando o seu zonamento geotécnico. Essa caracterização é feita quer à custa da realização de ensaios *in situ* quer de ensaios simples de laboratório.

Seria pois desejável que após se obterem as informações de natureza geológica e a caracterização geotécnica correspondente à fase de prospecção geotécnica, se dispusesse de um sistema de classificação que relacionasse os resultados obtidos com o tipo de revestimento, em face das características geométricas da obra. Vários autores têm vindo a procurar estabelecer, com universalidade, tal sistema de classificação. Já após a apresentação oral deste trabalho, em Novembro passado, na reunião Sobre Túneis, surgiu mais uma classificação, da autoria de Barton, N. *et al*, que tem suscitado interessantes discussões. A importância da classificação geotécnica de maciços rochosos é internacionalmente reconhecida, existindo no âmbito da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas e na Associação Internacional de Geologia de Engenharia comissões de trabalho visando o estabelecimento de critérios de classificação universalmente aceites.

As considerações que se seguem foram ordenadas de acordo com a cronologia que as diversas operações que constituem o estudo geológico e geotécnico de um maciço interessado na construção de um túnel em geral obedecem.

2 – RECONHECIMENTO

A anteceder qualquer estudo mais pormenorizado, há que proceder ao reconhecimento geológico dos terrenos interessados pela construção da obra subterrânea.

Em muitas situações este primeiro reconhecimento permite já tomar decisões importantes, por exemplo, no que se refere às orientações mais adequadas para as obras em função da estrutura geológica das formações.

Além disso, só após um reconhecimento adequado que permita definir contactos, alinhamentos tectónicos, tipo de terrenos, etc., é possível preparar um programa de trabalhos de prospecção ajustado ao problema.

Dentre as técnicas utilizadas nos trabalhos de reconhecimento geológico têm papel destacado as que se podem incluir na designação geral de sensores remotos, sendo de utilização mais comum a da fotointerpretação geológica; na interpretação fotogeológica começa a utilizar-se fotografias coloridas e obtidas com raios infravermelhos. Além da fotointerpretação, utiliza-se outras técnicas, embora muito menos frequentemente, tais como radar, medições gravimétricas e medições magnéticas, cujo desenvolvimento para aplicação em problemas de geologia de engenharia exige ainda muita investigação.

3 – PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA

No seguimento de uma primeira análise das condições geotécnicas, com base no reconhecimento geológico das formações interessadas, procede-se, na maior parte dos casos, à elaboração de um programa de prospecção que conduza à definição das características geológicas e geotécnicas mencionadas na introdução. Estes trabalhos de prospecção incluem muitas vezes prospecção geofísica (nos casos de espessuras de cobertura não superior à centena de metros) e sempre trabalhos de prospecção mecânica. Referem-se, para cada caso, as técnicas mais adequadas.

3.1 – *Prospecção geofísica*

A prospecção sísmica por refração e a medição da revestividade eléctrica aparente dos terrenos são as técnicas mais frequentemente utilizadas nos problemas de túneis e, de uma maneira geral, em obras de engenharia civil. Estes métodos podem ser aplicados à superfície do terreno visando atingir as profundidades

previstas para as obras, ou a diferentes profundidades nos maciços, aproveitando sondagens, poços e galerias.

Quando aplicados à superfície, têm a limitação da profundidade que se pretende atingir, sobretudo atendendo ao seu carácter de métodos indirectos. Os resultados obtidos mostram que, na maior parte das situações, quando essa profundidade ultrapasse a meia centena de metros o seu interesse é já muito reduzido.

O método da refração de ondas sísmicas longitudinais e transversais é utilizado em regra para definição da espessura de um nível de solo sobre uma formação rochosa ou da zona de alteração de um maciço rochoso onde se pretende construir um túnel. Muitas vezes é fácil verificar os resultados obtidos com a realização de sondagens geoeléctricas. Esta situação é muito frequente em túneis, pelo menos nas zonas das bocas de entrada e de saída, onde a espessura de terrenos de cobertura é menor. Nos casos de túneis pouco profundos, mas muito longos, a criteriosa aplicação destes métodos vai fazer diminuir muito a necessidade de prospecção mecânica e assim permitir fazer economias apreciáveis no estudo das formações. Além disso, como o custo destes trabalhos é em geral pouco significativo e pouco demorada a sua realização, estes métodos utilizam-se com sucesso numa fase preliminar dos estudos, permitindo logo obter informações da maior importância no que respeita à escolha de soluções, por exemplo, do ponto de vista hidráulico.

Como exemplo refere-se o caso do túnel de adução de água à Área de Sines, a partir do rio Sado, que tem extensão superior a 20 Km e diâmetro de cerca de 3 m. O túnel será construído em terrenos do maciço xistoso datado do Carbónico marinho, recobertos em cerca de metade do trajecto por sedimentos areno-argiloso plio-pleistocénicos. Neste complexo sedimentar, o nível freático ocorre relativamente próximo da superfície e a espessura dos terrenos de cobertura, em relação às soluções previstas, não ultrapassa a meia centena de metros.

Do ponto de vista hidráulico foram encaradas duas soluções, sendo, a mais simples, a de um túnel em superfície livre escavado aproximadamente à cota (90) e a outra, um túnel em pressão, em princípio menos interessante, escavado aproximadamente à cota (75). Na primeira solução, seria de prever que, sensivelmente um terço do comprimento do túnel, seria escavado nas formações sedimentares plio-pleistocénicas ou na zona muito meteorizada do maciço xistoso. Na segunda solução, já o traçado interessaria a formação xistosa sã a medianamente alterada, idêntica à que, seria de esperar, ocorreria nos restantes dois terços do traçado.

Assim, embora menos interessante do ponto de vista hidráulico, a segunda solução poderia ser a mais adequada se se verificassem as condições geológicas antecipadas e acima referidas, isto é, se o contacto entre a formação xistosa pouco alterada e as formações sobrejacentes (sedimentares ou xistosas muito alteradas a decompostas) ocorresse entre as cotas das duas soluções.

Os perfis sísmicos de refração realizados ao longo do traçado mostraram que o contacto correspondente a velocidades inferiores e inferiores a 2000 m/s se localiza de facto entre os níveis previstos para as duas soluções e que, pouco abaixo dele, foram medidas velocidades superiores a 3000 m/s (Fig. 1). A confirmação destes resultados foi obtida com a realização de sondagens de furação acompanhadas da realização de alguns ensaios *in situ*, que permitiu o traçado do perfil geotécnico reproduzido na Fig. 2. Com efeito, às velocidades superiores a 2000 m/s corresponde o complexo terroso constituído pelos sedimentos areno-argilosos plio-pleistocénicos e pelos terrenos xistosos muito alterados a decompostos (facilmente furáveis à percussão).

Em alguns túneis curtos, e com pouca espessura de terrenos de cobertura, situação frequente, por exemplo, em túneis de desvio de aproveitamento hidro-eléctricos, onde se receia a ocorrência de acidentes tectónicos com importância geotécnica, ou onde se preveja intensa alteração nas zonas das bocas de entrada e de saída, a elaboração de cartas de resistividades aparentes abrangendo parte ou a totalidade do traçado, poderá fornecer resultados de muito interesse sobretudo numa fase de estudo prévio do aproveitamento. Cita-se o exemplo do aproveitamento do Torrão, no rio Tâmega (Fig. 3) onde a realização de uma carta de resistividades na zona do túnel de desvio levou a sugerir o deslocamento do túnel e consequentemente do aproveitamento 150 m para jusante, de modo a evitar-se a zona decomposta do maciço, onde estava previsto iniciar-se a sua construção.

A associação de técnicas de prospecção geofísica com métodos directos (nomeadamente furos de sondagem e galerias) embora ainda pouco utilizada entre nós, mostra-se de grande utilidade quer na fase de projecto (sísmica directa, por exemplo) quer na fase da construção, sobretudo quando o estudo geotécnico na fase do projecto foi deficiente. Quando a escavação é feita com explosivos, pode utilizar-se os próprios furos para colocação dos explosivos, quer para fazer diagrfias quer para fazer medições de velocidades de propagação entre furos. No caso de túneis abertos com máquinas de furação contínua, tal não é possível, pelo que a abertura de túneis com estes equipamentos exige um estudo geotécnico elaborado a preceder os trabalhos.

TUNEL DE ERMIDAS

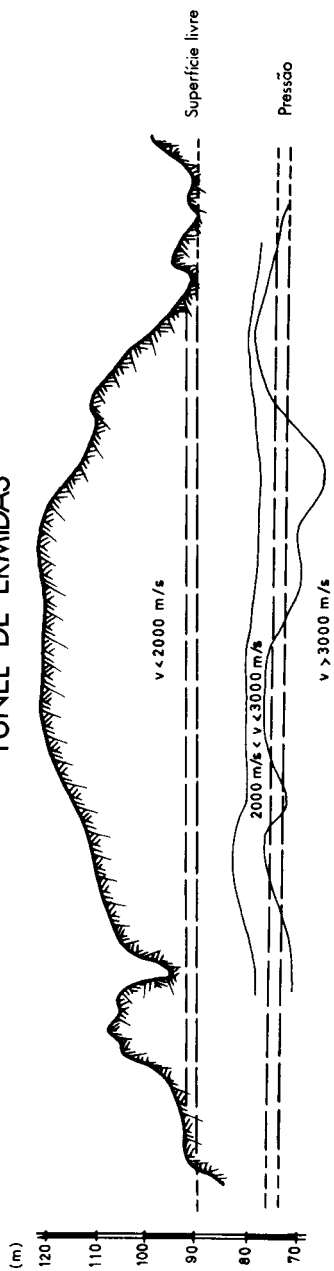


FIG.1-Prospeção por refração sísmica

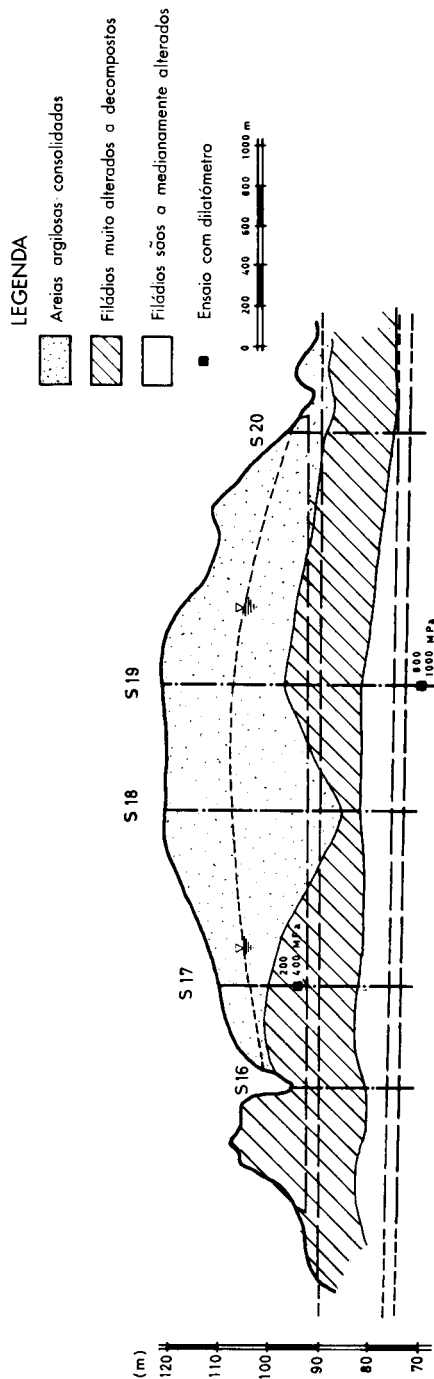


FIG.2-Interpretação geológica e geotécnica esquemática

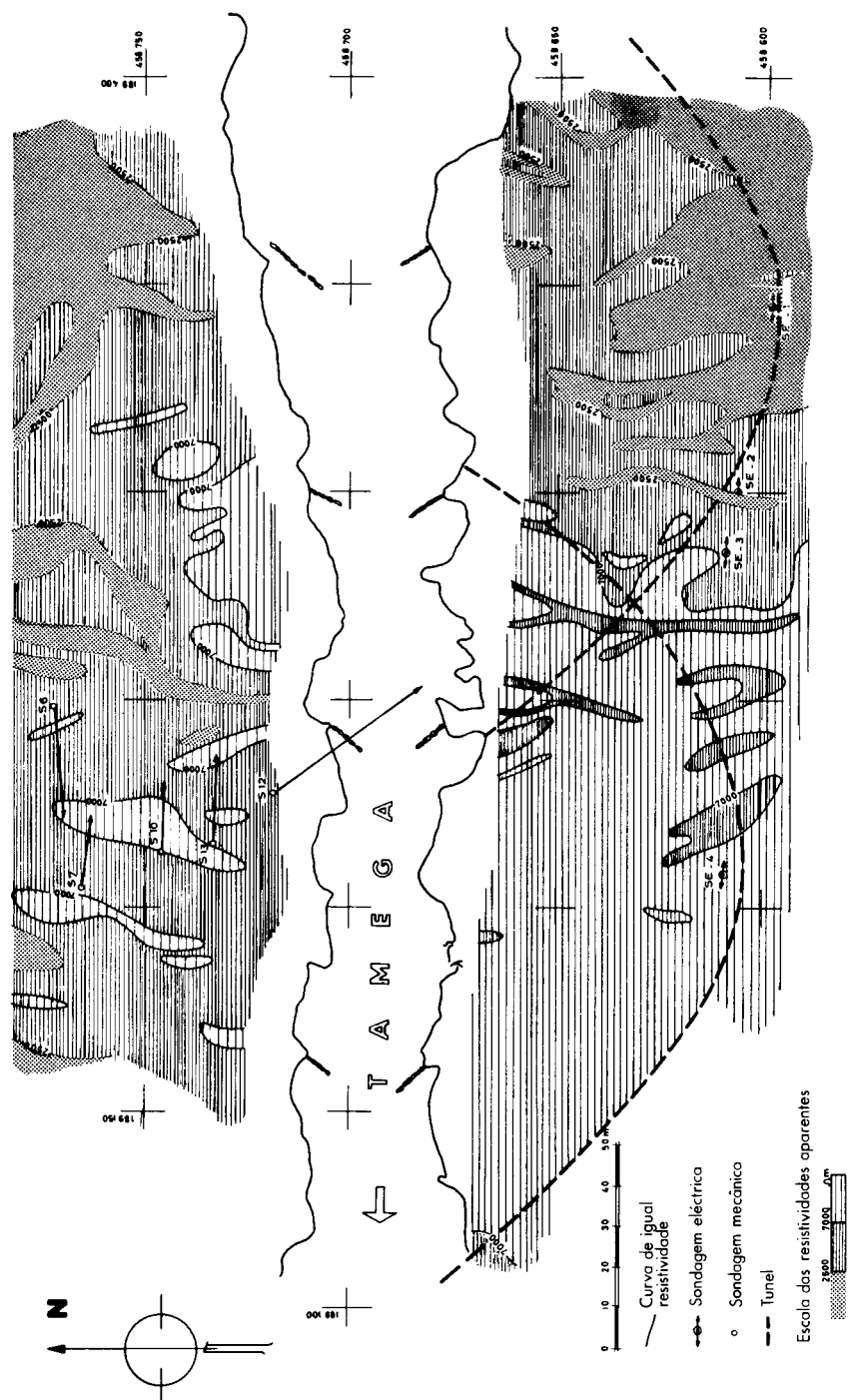


FIG. 3. Barragem do Torrão. Carta de resistividades aparentes

Em fase do desenvolvimento crescente da construção de túneis, torna-se necessário desenvolver novos métodos de estudo ou aperfeiçoar os já existentes. No que se refere à prospecção geofísica, sobretudo aplicada a túneis muito profundos, poderá vir a ter o maior interesse a utilização do método sísmico de reflexão, numa fase de estudos preliminares, já hoje utilizado sistematicamente na prospecção de petróleo. Outro campo de investigação que se afigura do maior interesse é o das medições, entre furos, de características dinâmicas, através do aperfeiçoamento e da aplicação a estes problemas das técnicas microssísmicas e de absorção de ondas sísmicas que até ao presente têm sido ensaiadas apenas em problemas de escavações para minas.

3.2 – *Prospecção mecânica*

A escolha do tipo de trabalho de prospecção mecânica – sondagem, poço ou galeria – a utilizar no estudo geotécnico de um maciço interessado pelo atravessamento de um túnel depende de vários factores, nomeadamente do tipo de formação geológica, da fase do estudo em que tal prospecção se insere, da espessura dos terrenos de cobertura e do tipo de ensaios *in situ* que se pretenda realizar no maciço.

A metodologia que se afigura mais indicada, aliás aplicável a qualquer tipo de obra, consiste em utilizar métodos mais económicos para obter informação adequada às fases de estudo prévio e ante-projecto das obras e só depois da definição exacta da sua localização, utilizar técnicas mais precisas, e simultaneamente mais dispendiosas, para se obter os elementos geotécnicos necessários ao respectivo projecto.

Contudo, as sondagens de furação são, para este tipo de obras, os trabalhos de prospecção mecânica mais utilizados, quer porque com elas se penetra facilmente, e em princípio com qualquer orientação, no interior de maciços terrosos e rochosos, quer porque permitem amostragem contínua em maciços rochosos e a colheita de amostras intactas em maciços terrosos; além disso, os furos de sondagem permitem a utilização de diversos equipamentos de medida no seu interior. A qualidade da furação, contudo, depende muito dos equipamentos de furação e da perícia dos respectivos operadores.

Quando se pretende fazer o estudo geológico e geotécnico de um maciço interessado pela construção de um túnel, um dos aspectos mais importantes, nomeadamente nos maciços rochosos, é o da respectiva estrutura geológica, sobretudo no que se prende com as características físicas e geométricas das

descontinuidades presentes. Os furos de sondagem tradicionais, mesmo quando bem realizados, dão muito pouca informação a este respeito. No que se refere à atitude das descontinuidades é satisfatória a técnica da orientação dos tarolos através da sua marcação a partir da superfície. Já no que se refere a outras características tais como abertura das descontinuidades e caracterização do material de enchimento, é necessário utilizar técnicas mais sofisticadas e consequentemente mais dispendiosas. A técnica de amostragem integral desenvolvida no LNEC permite em grande parte dos casos obter bons resultados desde que todas as operações sejam cuidadosamente realizadas. Outro tipo de solução consiste na utilização, ao longo dos furos de sondagem, de equipamento que permite analisar as suas paredes, quer através de fotografias, quer através de imagem televisada. Estes métodos, contudo, a par do interesse da sua aplicação em certas situações, têm muitas limitações, de onde resulta a sua limitada aplicação.

A necessidade de acesso directo às formações geológicas interessadas pela construção de túneis, quer para observação geológica directa detalhada, quer para, em fase posterior, proceder à realização de ensaios *in situ* para determinação de características mecânicas dos terrenos, leva, em certas situações, à abertura de poços e galerias apesar do seu custo em regra bastante elevado.

Os poços são sobretudo utilizados ao longo do alinhamento de túneis, nos pontos de menor espessura de recobrimento (caso frequente de túneis urbanos) sendo aproveitados, em regra, na fase de obra, como zonas de acesso, de arejamento e de extracção de escombros.

Quanto às galerias de prospecção, elas são sobretudo realizadas para funcionarem como galerias-piloto ao longo dos alinhamentos de túneis. A sua abertura, contudo, implica, de um modo geral, uma série de pressupostos nomeadamente que a localização definitiva esteja definida com grande probabilidade a partir de outros métodos de estudos mais expeditos e que a secção dos túneis seja suficientemente grande para justificar a realização de uma galeria-piloto que não terá, por princípio, secção inferior a cerca de 3 m². Além de permitirem a observação detalhada das paredes e tecto, incluindo os aspectos hidrogeológicos dos maciços, elemento muito importante para este tipo de obras, e de servirem para a realização de ensaios *in situ* de caracterização geotécnica das formações, as galerias-piloto têm a vantagem de poderem ser incorporadas no túnel a construir diminuindo o volume de escavação em fase de obra e facilitando o desmonte dos respectivos terrenos. Em certas situações, em que a topografia permite que à custa de uma galeria de pequena extensão se atinja o maciço que será interessado por um

túnel, é frequente proceder-se à sua abertura, ficando a galeria a ter também, em fase de obra, funções de arejamento e de saída de escombros idênticas às referidas para os poços.

O que torna especialmente caro a escavação de poços e galerias de prospecção, sobretudo em maciços rochosos, são as operações de escavação, pelo que se afigura de maior interesse o desenvolvimento de equipamentos expeditos de escavação para pequenos diâmetros.

4 – ENSAIOS *IN SITU*

Neste trabalho far-se-á apenas referência aos ensaios *in situ* usualmente realizados na fase de prospecção mecânica aproveitando os trabalhos de furação, nomeadamente sondagens. Deixa-se assim de fora o conjunto de ensaios, habitualmente realizados apenas na fase do projecto, após se ter obtido já o zonamento geotécnico do maciço que permitiu a escolha da localização definitiva do túnel. Embora, de um modo geral, seja muito difícil fazer a separação entre as actividades tipicamente de Geologia de Engenharia e de Mecânica dos Solos ou das Rochas, esta é uma situação em que o critério acima referido parece permitir fazer uma separação razoável.

Assim far-se-á referência neste trabalho apenas aos ensaios de permeabilidade, de penetração dinâmica (em maciços terrosos) e de deformabilidade. Em certos casos, em que há uma boa probabilidade de se conhecer a localização do túnel numa fase preliminar, há toda a conveniência em incluir no programa de prospecção geotécnica e de ensaios a realização de ensaios de determinação do estado de tensão virgem em algumas zonas do maciço. Essa conveniência resulta, essencialmente, de, para a sua realização, ser necessário o concurso de uma empresa de sondagens que, neste caso, incluirá os trabalhos necessários na empreitada geral dos trabalhos de prospecção. Em grandes obras, contudo, é frequente a prospecção mecânica decorrer em duas fases, uma antecedendo o estudo preliminar ou o anteprojecto e a outra a fase de projecto sendo os ensaios de determinação do estado de tensão incluídos apenas nesta última.

Ensaio de permeabilidade. Estes ensaios são realizados em regra ao longo de furos de sondagem, quer por injeção quer por bombagem de água nos respectivos furos. Normalmente os ensaios são feitos em trechos de comprimento reduzido, devendo esse comprimento ser escolhido em face das características das formações geológicas, nomeadamente estado de fracturação e variação litológica. Estes ensaios,

associados à medição cuidadosa de níveis aquíferos, são realizados no caso de túneis hidráulicos, dispensando-se, em regra, no estudo de túneis rodoviários e ferroviários. Atendendo a que as características de permeabilidade das formações são sobretudo relevantes nas zonas envolventes do túnel é frequente restringir a zona a ensaiar a uma extensão que não ultrapassa 3 a 5 vezes o diâmetro previsto para o túnel, considerando-se o eixo do túnel a meia distância dos extremos dessa zona.

A medição dos níveis aquíferos é feita na maior parte dos casos à custa de piezómetros de tubo aberto instalados no interior dos furos de sondagem que permite seguir a evolução sazonal desses níveis.

A determinação das características hidrogeológicas de maciços terrosos e rochosos com suficiente rigor, nomeadamente coeficiente de permeabilidade, é tema objecto de investigação por muitos autores.

Ensaio de deformabilidade. Estes ensaios, durante muito tempo apenas realizados com placas e com macacos, necessitavam de um acesso ao maciço, com grandes dimensões, nomeadamente poços ou galerias. A necessidade de, numa fase de estudo pouco avançada, se proceder ao zonamento geotécnico dos maciços interessados na construção de túneis (e outras obras) levou ao desenvolvimento de equipamentos que, utilizando os furos de sondagem realizados como trabalhos de prospecção geotécnica, permitissem obter um índice das características de deformabilidade das formações. Nestas condições, os ensaios são pouco dispendiosos e podem ser realizados, em princípio, a qualquer profundidade e rapidamente. Em maciços terrosos o pressiómetro é utilizado com frequência, embora entre nós sejam raras as suas aplicações. Com esta finalidade e nestes maciços utiliza-se frequentemente o ensaio de penetração dinâmica SPT cujos valores são por vezes correlacionáveis com as características mecânicas das formações ensaiadas. Em maciços rochosos são utilizados dilatómetros, existindo vários tipos em funcionamento, entre os quais se destaca o desenvolvido no LNEC, cuja referência pormenorizada será objecto de outro relato desta Reunião. Refere-se apenas que uma das vantagens do dilatómetro do LNEC é o de utilizar furos de diâmetro de cerca de 76 mm (NX). que é um diâmetro corrente em trabalhos de prospecção geotécnica.

O critério para a definição da zona do maciço a ensaiar com o dilatómetro é idêntico ao referido para os ensaios de permeabilidade, podendo ambos os ensaios ser realizados no mesmo furo e à mesma profundidade sem influenciarem os resultados um do outro.

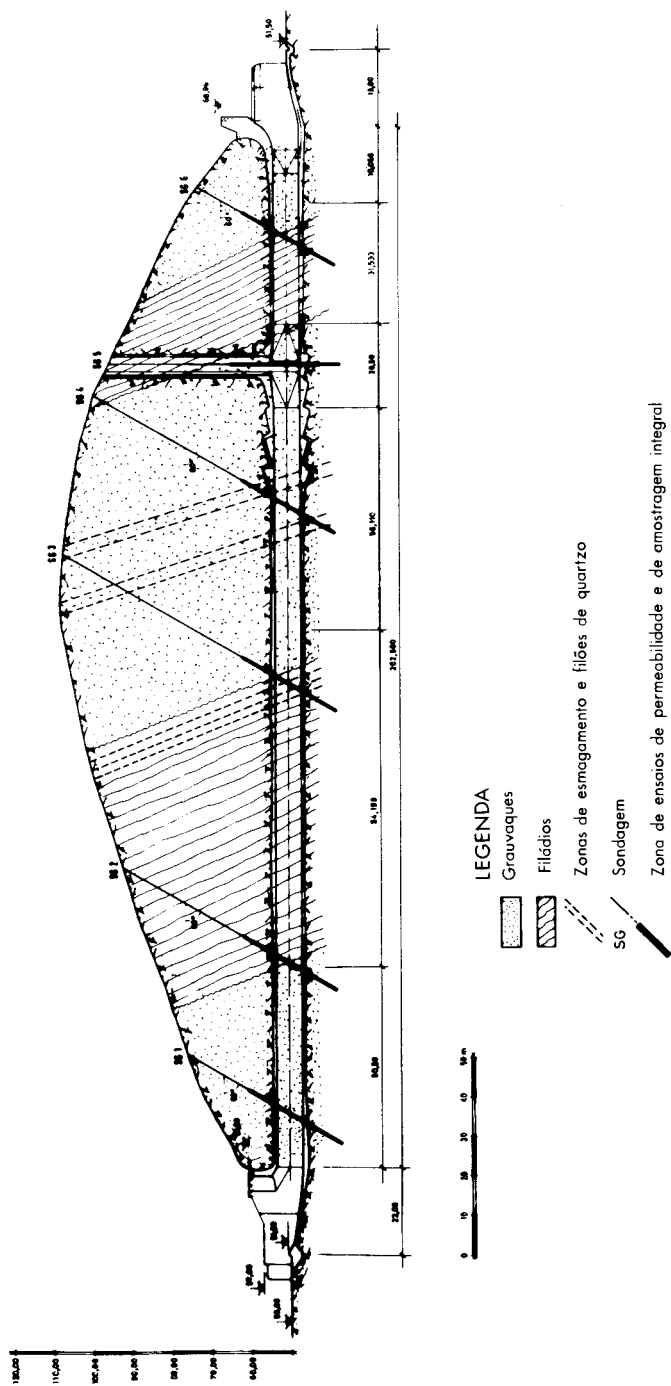


FIG.4_ Barragem da Aguierra. Tunnel de desvio-Prospeção geotécnica e ensaios «in situ»

Na Fig. 4 apresenta-se um exemplo de um programa de prospecção mecânica e de ensaios *in situ* que foi recomendado para a galeria de desvio da barragem da Aguieira, no rio Dão. O programa não chegou a ser realizado, tendo o túnel sido escavado apenas com base no conhecimento sumário das características das formações, daí resultando acidentes e demoras na sua construção.

Para terminar a referência a métodos de estudo utilizados na definição das características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas de maciços interessados pela construção de túneis, falta fazer algumas considerações relativas às diagrfias (logging of boreboles) em furos de sondagens.

Embora se procure que as técnicas de furação sejam as mais adequadas, o que em princípio se reflectiria numa boa qualidade dos tarolos recolhidos, na prática o que acontece é que muitas vezes a recuperação é muito deficiente mesmo utilizando-se técnicas mais sofisticadas, como é o caso da amostragem integral.

Nestas condições, resta ainda a possibilidade de recorrer a métodos de “observação indirecta” que foram inicialmente desenvolvidos no âmbito da prospecção de petróleos e que hoje são já alguns utilizados em hidrogeologia e geotecnia. Destes, têm sido aplicados com sucesso em problemas de túneis, sobretudo, os métodos que utilizam raios gama e os que medem resistividades eléctricas e velocidades de propagação de ondas elásticas nas paredes dos furos de sondagem. A simplicidade de utilização destas técnicas e os bons resultados que podem ser obtidos em certas situações, quando escolhidas as mais adequadas, leva a que seja cada vez mais frequente a sua aplicação e a que se insista na comercialização de certos equipamentos ainda em fase de utilização experimental.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foram feitas referências às técnicas mais correntemente utilizadas no estudo geológico e geotécnico de terrenos interessados pela construção de túneis. Procurou-se ainda definir, embora em traços largos, uma metodologia de estudo, mencionando quais as fases do projecto em que cada um dos métodos referidos deve ser aplicado.

Com os elementos obtidos ao longo das várias fases de estudo, antes do início da obra, deverá ser elaborado um relatório onde entre outros elementos figure um perfil longitudinal geológico-geotécnico e considerações relativas aos métodos de escavação, às dificuldades que serão de antecipar e à eventual necessidade de revestimento para garantir o bom funcionamento da obra.

Como nota final, que se considera muito importante, refere-se que o

estudo geológico e geotécnico de formações geológicas visando a construção de túneis, antes da sua abertura, deve ser sempre visto como uma primeira fase dos estudos, constituindo a segunda fase o acompanhamento permanente da obra durante o qual se deverá ir ajustando a informação que se possui às evidências que vão ocorrendo, sendo então possível a caracterização geotécnica adequada dos respectivos terrenos interessados. A informação recolhida nesta fase deve igualmente ser objecto de um relatório complementar com descrição pormenorizada das características mais relevantes observadas e suas consequências para a obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. – “Engineering Classification of Rock Masses for the design of tunnel support”. *Rock Mechanics*. Vol. 6. N.º 6, 1974.
- BIENIAWSKI, Z. T. – “Engineering Classification of Jointed Rock Masses”. *The Civil Engineer in South Africa*, December 1973.
- BREKKE, T. – “A Survey of Large Permanent Underground Openings in Norway”. *Proceedings of the International Symposium on Rock Mechanics*. September 1969.
- CALEMBERT, L.; MONJOIE, A.; UGEN, N. – “Nature et Influence des Facteurs Géologiques intervenant à la centrale souterraine de COO (Belgique)”. *Proceedings of the International Symposium on Rock Mechanics*. September 1969.
- DEERE, D. – “Geologic Considerations”. Chapter 1 in “*Rock Mechanics in Engineering Practice*” ed. by Stagg and Zienkiewicz, John Wiley and Sons 1969.
- FRANKLIN, J. – “Observations and tests for engineering description and mapping of rocks”. *Proceedings II International Congress on Rock Mechanics*. Vol. I. Belgrad 1970.
- HAMSON, B. – “A simple method for estimating *in situ* stress at crust depths”. *ASTM Symposium on field testing and instrumentation of rock*. Philadelphia 1973.
- IKEDA, K. – “A classification of rock conditions for tunneling”. *Proceedings I International Congress of the International Association of Engineering Geology*. Paris 1970.
- KNIGHTS, M. – “Exploration shafts for in-town surveys”. *Ground Engineering* vol. 7 N.º 1. 1974.
- LAKSHMANAN, J. – “Methodes d'auscultation sismique”. *Cahier 5 du Comité Français de Mechanique des Roches. Revue de l'Industrie Minérale*. Juillet 1973.
- LANG, T. – “Underground Rock Structures Challenge the Engineer”. *Proceedings Symposium on Underground Rock Chambers*. ASCE. Arizona 1971.
- La PORTE, M.; J. LAKSHMANAN; M. Lavergue; C. WILLM – “Mesures Sismiques par transmission-application au Génie Civil”. *Geophysical Prospecting*. Vol. 21 N.º 1. March 1973.

- LOUIS, C. – “Rock Hydraulics”. Bureau de Recherches Geologiques et Minières. Orleans (France) 1974.
- MAINI, Y. – “In situ hydraulic parameters in jointed rock.” Their measurement and interpretation. Thesis. Imperial College. London University. 1971.
- MOURA ESTEVES, J. – “Prospecção geofísica no local da Barragem de Torrão. 1.º Relatório. LNEC 1970.
- OBERT, L.; MUNSON, R.; RICH, Ch. – “Caving Properties of the Climax Ore Body”. U. S. Bureau of Mines Internal Report. 1973.
- OBERT, L. and W. DUVAL – “Rock Mechanics and the design of structures in rock”. John Wiley and Sons. New York 1967.
- O.C.D.E. – “Advisory Conference on Tunnelling”. Washington (USA) 1970.
- OLIVEIRA, R. – “Nature of Stress”. Proceedings International Symposium on Determination of Stress in Rock Masses. Lisbon 1969.
- OLIVEIRA, R. – “Curso de Geologia de Engenharia (Curso de Especialização 126). LNEC. Lisboa 1973.
- OLIVEIRA, R. – “Underground construction – Engineering geological investigation and *in situ* testing”. Panel report. Proceedings 2nd International Congress of the IAEG. São Paulo 1974.
- PANET, M. – “La Stabilité des Ouvrages Souterraines”. Soutènement et Revêtement. Laboratoire Central de Ponts et Chaussées. Rapport de Recherche N.º 28. Septembre 1973.
- ROBERTS, R. – “Atlantic-Pacific Interoceanic Canal Studies – Evaluation of In-hole Geophysical Logs”. Department of the Army. Jacksonville, Florida (USA) 1969.
- ROCHA, M. and SILVÉRIO, A. – “A new method for the complete determination of the state of stress in rock masses”. Geotechnique p. 116. London 1969.
- ROCHA, M. – “New techniques in deformability testing of *in situ* rock masses”. LNEC (Memória 368) Lisbon 1970.
- ROCHA, M. – “A method of Integral Sampling of Rock Masses”. LNEC (Memória 382) Lisbon 1971.
- SAMBUCY, M. – “Traversée en galerie du massif granitique de la Croix-Rousse (Métro de Lyon)”. Bulletin de Liaison des Laboratoires de Ponts et Chaussées N.º 69 (France) Jan-Fev 1974.
- SILVEIRA, A. F. – “Stress measurements”. Proceedings International Symposium on the determination of stresses in rock masses. Lisbon 1969.
- SZECHY, K. – “The art of Tunneling”. Akadémiai Kiadó. Budapest 1967.
- WAHLSTROM, E. – “Tunneling in Rock”. Elsevier Scientific Publishing Company. New York. 1973.