

O TÚNEL S. DOMINGOS-MORGAVEL E A GEOTECNIA(*)

THE S. DOMINGOS-MORGAVEL TUNNEL AND GEOTECHNIQUE

por

*F. Mello Mendes(**)*

RESUMO — Após descrição sumária do túnel S. Domingos-Morgavel, enumeram-se as várias etapas da respectiva apreciação geotécnica, realizada durante as fases de estudo prévio, ante-projecto, projecto e execução da obra. Referem-se as diversas técnicas exploratórias e de controlo, a que se recorreu, bem como os principais resultados obtidos, expondo-se as conclusões mais importantes que estes permitiram inferir em relação à qualidade do maciço a atravessar.

Apresentam-se, também de modo abreviado, os processos tecnológicos até agora utilizados para a execução do túnel, realçando-se os desajustes entre tais processos e a informação geotécnica disponível. Citam-se alguns problemas verificados durante a progressão da obra e recorda-se o modo pelo qual foram ultrapassados.

Descrevem-se os mais significativos desvios constatados em relação aos planeamentos iniciais e apontam-se as alterações mais importantes introduzidas no desenvolvimento dos trabalhos. Termina-se indicando como uns e outras poderiam ter sido minimizados, se tivesse existido maior interesse na utilização das potencialidades oferecidas pela Geotecnia.

SUMMARY — After a brief description of the S. Domingos-Morgavel tunnel, the different steps in its geotechnical appreciation during the preliminary study, preliminary design, design and construction stages are enumerated. A description is made of the different survey and control techniques used, as well as of the main results achieved. The most important conclusions drawn as regards the quality of the rock mass to be driven through are presented.

In brief too, the technologic methods so far used to construct the tunnel are discussed, attention being called to the shortages of these methods in the light of the geotechnical information available. Some problems encountered as the construction progressed are reported, as well as the way in which they were overcome.

The most significant departures from the original planning were described together with the major changes introduced in the course of the work. Lastly it is shown that both departures and changes could have been minimized if greater interest had been put in profiting from the potentialities of Geotechnique.

(*) Texto apresentado em 22.1.81 no Paineil «O Empreendimento de Sines», do ciclo «A Geotecnia dos Grandes Empreendimentos» organizado pela Ordem dos Engenheiros.

(**) Professor do Instituto Superior Técnico.

1. O TROÇO EM TÚNEL DO ADUTOR SADO-MORGAVEL

O adutor Sado-Morgavel, integrado nas infra-estruturas do complexo industrial da Área de Sines, consta (Fig. 1) de uma tomada de água com estação elevatória, no rio Sado, junto a Ermidas, uma conduta metálica inicial de 3 km, em pressão, e um longo troço em superfície livre com uma primeira parte, com cerca de 23 km, em canal e uma parte final em túnel, com 13 159 m. O túnel desenvolve-se entre as imediações da aldeia de S. Domingos da Serra e a albufeira de regularização de Morgavel.

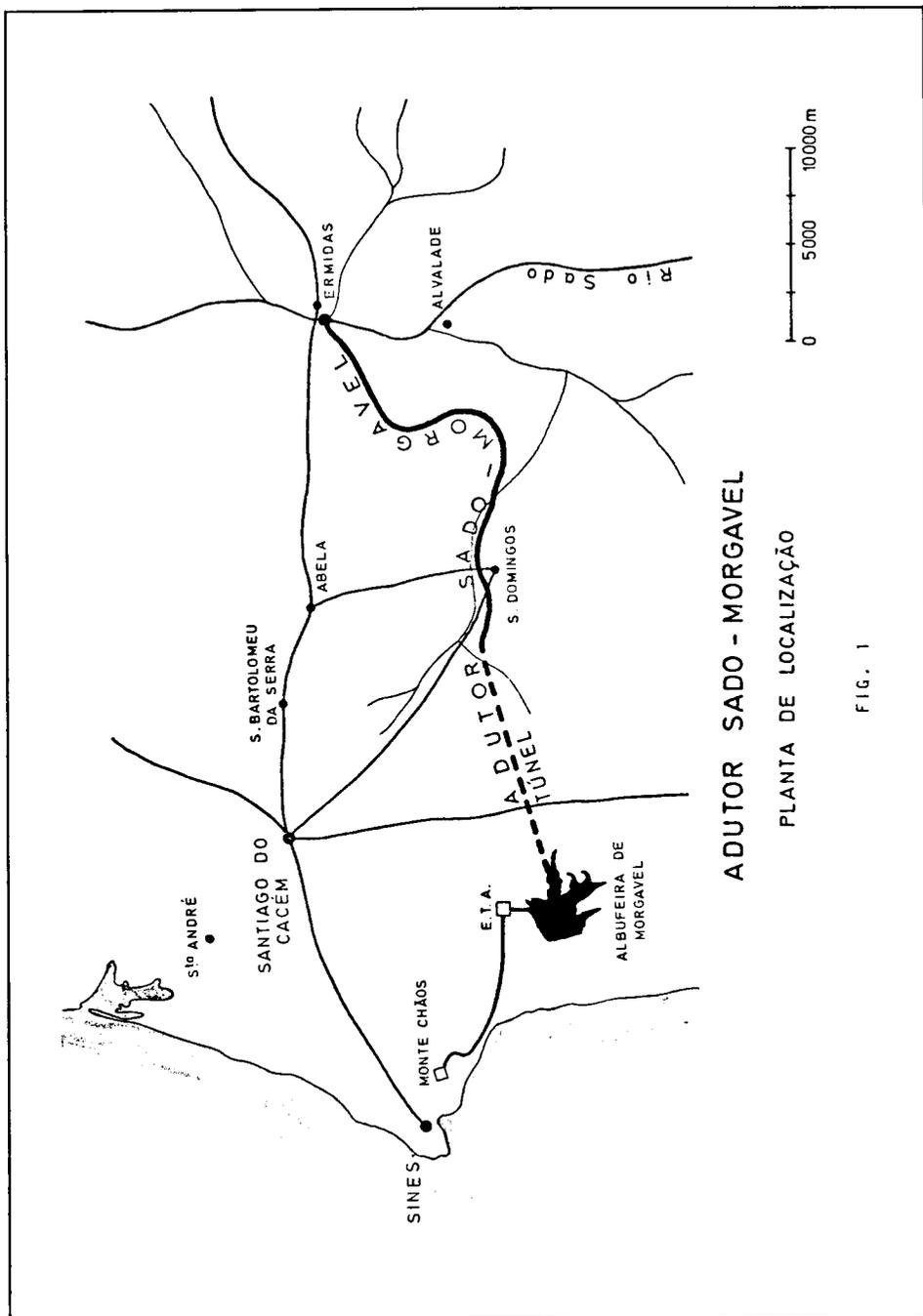
O recobrimento do túnel S. Domingos-Morgavel não é muito grande (Fig. 2); na maior parte do traçado situa-se abaixo dos 50 m, existindo apenas, no terço final, uma zona onde ocorrem altitudes maiores, que chegam a originar coberturas de 130 m. O maciço rochoso atravessado é essencialmente constituído por formações xisto-argilosas e grauvacóides, atribuídas ao Carbónico marinho na carta geológica de Portugal à escala 1/1 000 000 (1968).

O caudal máximo a assegurar pelo adutor foi fixado em 12 m³/s. Para um declive médio da ordem de 1^o/100, o transporte deste caudal no túnel, em superfície livre, com uma altura de lâmina líquida da ordem de, quando muito, 0,8 vezes a altura máxima disponível, levou à adopção de secções rectas interiores com áreas mínimas da ordem de 7 m² e formas resultantes da consideração dos processos tecnológicos previstos para a execução da obra.

2. APRECIACÃO GEOTÉCNICA DO MACIÇO ROCHOSO

Embora, dados a extensão, a importância da obra e os problemas técnicos nela encontrados, seja cómodo afirmar que o túnel S. Domingos-Morgavel foi pouco estudado do ponto de vista geotécnico, o facto é que sobre ele incidiu já um volume apreciável de investigação desta índole. Se os resultados obtidos foram sendo, ou não, convenientemente considerados, isso é outra questão, completamente diferente da de existir eventual carência de informação sobre o maciço a atravessar. Esta informação foi sendo sistematicamente coligida durante as fases de estudo prévio, de ante-projecto, de projecto e de execução do empreendimento, num acumular de dados que, sem surpresas, permitiram estabelecer e ir confirmando o panorama geotécnico de que hoje se dispõe sobre o maciço em causa.

Na fase de estudo prévio do adutor, e como é corrente em casos análogos, utilizou-se a informação geológica regional disponível para seleccionar o corres-



ADUTOR SADO - MORGAVEL
 PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

FIG. 1

pendente traçado mais adequado e estabelecer qual a fracção dele que deveria ser aberta em túnel. Estes trabalhos, iniciados em 1972, foram depois complementados por reconhecimentos geológicos de superfície, realizados em 1973 e, em relação ao traçado escolhido, por um levantamento, na escala 1/10 000, que permitiu esboçar um perfil geológico, a precisar posteriormente, quando da realização de sondagens mecânicas e de campanhas de prospecção geofísica. O troço em túnel inicialmente previsto foi, mais tarde, estabelecido em definitivo, em consequência de estudos mais pormenorizados que se efectuaram.

Na fase de ante-projecto do túnel, não muito claramente distinguível da referida fase de estudo prévio, foi realizada uma campanha sumária de refacção sísmica que forneceu, para a zona do maciço em apreço, grande variação da velocidade de propagação das ondas, desde menos de 1600 m/s a mais de 4000 m/s, fazendo prever a ocorrência de formações com resistência mecânica muito diversa. Por outro lado, 13 sondagens mecânicas, distribuídas ao longo do traçado, revelaram estados muito distintos de alteração do maciço xisto-grauvacóide às profundidades interessadas pelo túnel, com inúmeros filões quartzosos e possíveis zonas de esmagamento; as percentagens de testemunho recuperado foram também muito variáveis, sendo frequentes zonas de furo sem qualquer recuperação e apresentando-se anormalmente baixas, para algumas sondagens, as recuperações médias conseguidas; ensaios de permeabilidade, realizados nas sondagens, revelaram que o terreno, excepção feita das zonas atravessadas por filões de quartzo, se apresentava como praticamente impermeável, eventualmente devido à elevada percentagem de material argiloso ocorrente.

Simultaneamente com a realização das sondagens mecânicas, acabadas de referir, efectuaram-se estudos complementares de grande interesse para o conhecimento geotécnico do maciço rochoso. Consistiram em tentativas de colheita de amostras integrais, na realização de ensaios de deformabilidade com dilatómetro e, sobre amostras de laboratório, ensaios dinâmicos com ultra-sons e ensaios de compressão uniaxial para obtenção de módulos de deformabilidade e tensões de rotura, estes últimos destinados a eventuais correlações com as deformabilidades *in situ*, determinadas com o dilatómetro. Quanto à colheita de amostras integrais, o insucesso foi total, devido ao facto de a grande instabilidade das paredes dos furos não ter permitido a aplicação da técnica disponível. Nos ensaios com dilatómetro, efectuados em 6 furos, a diversas profundidades, ficou bem evidenciada a alta deformabilidade e a grande heterogeneidade do maciço, com módulos de deformabilidade dilatométricos desde $1,8 \times 10^3$ kgf/cm² a 102×10^3 kgf/cm²; verificaram-se, além disso, anisotropias bastante variáveis de ponto para ponto e chegaram a obter-se relações de 20/1 entre deformabilidades determinadas *in situ* e em laboratório. Este conjunto de

resultados foi, desde logo, interpretado como correspondendo a um maciço rochoso no qual a abertura de um túnel certamente seria rodeada de dificuldades, tanto no respeitante à perfuração como quanto ao sustimento.

Na fase de projecto do túnel, também sem fronteira bem marcada em relação à fase de ante-projecto, todos os resultados anteriormente obtidos foram analisados de maneira integrada, não ficando dúvidas quanto à elevada probabilidade de ocorrência, ao longo do traçado, de zonas de maciço muito fracturadas, de zonas de esmagamento, de falhas e ainda de zonas de intensa alteração, alternando com as zonas de rocha predominantemente sã ou pouco perturbada. Desde logo também se afirmou que qualquer juízo que então se apresentasse sobre o maciço apenas poderia ser considerado como de carácter preliminar, susceptível de vir a ser corrigido mediante a informação complementar que depois fosse sendo colhida durante o acompanhamento do avanço, como é normal em obras deste tipo.

Dentro desta óptica, não houve talvez, na altura, preocupação excessiva de insistir nas dificuldades que poderiam surgir durante a execução da obra. Mas logo, praticamente no arranque da perfuração, um bloqueamento da máquina tuneladora utilizada levou a realizar, para tornar mais consistentes os dados do projecto, estudos adicionais sobre o maciço rochoso, os quais não vieram acrescentar elementos que permitissem encarar com mais optimismo a informação global de que já se dispunha.

Estes estudos incluíram uma campanha de prospecção geofísica, tanto geoelectrica como sísmica de refração, e ainda sondagens mecânicas suplementares, junto das entradas de montante e de jusante do túnel. A prospecção geoelectrica foi depois ampliada a todo o desenvolvimento do túnel, elaborando-se perfis de resistividades e traçando-se linhas de iso-resistividade. Dela ressaltou a grande irregularidade de características do terreno, com contrastes que muito possivelmente corresponderiam a situações de dificuldade na progressão da obra; na realidade, tal veio a ser confirmado, em numerosos casos, durante o avanço do túnel.

Durante a execução da obra, o volume de informação geotécnica existente sobre o maciço rochoso foi substancialmente aumentado. A maior contribuição para tal foi fornecida pelo exame visual que se foi obtendo dos terrenos atravessados e pela consideração das dificuldades, maiores ou menores, que foram sendo encontradas na perfuração e no sustimento do maciço.

Os parâmetros operacionais dos equipamentos utilizados no avanço (velocidades médias e instantâneas de progressão, pressão longitudinal aplicada contra a frente, binário aplicado na rotação das cabeças de ataque em secção plena) e os tipos e densidades de aplicação dos sustimentos de 1.^a fase instalados passaram a poder

constituir índices de qualidade do terreno de inestimável valia que, infelizmente, não foram aproveitados no máximo das respectivas potencialidades.

Por outro lado, medições de convergência de secções da obra devidamente preparadas para tal, que começaram a ser feitas visando a obtenção de informações que permitissem minimizar a aplicação de revestimento final, acabaram por constituir, praticamente, o mais importante meio de controlo da segurança da escavação e, por isso, passaram a efectuar-se com um passo da ordem de 25 m, ou menor quando o terreno o justificava. Actualmente, possuem-se dados sobre convergências em perto de meio milhar de secções do túnel, o que contribuiu para reforçar de forma mais racional o sustimento de 1.ª fase aplicado e para distinguir, no maciço, categorias de terreno bem diferentes umas das outras quanto à tendência para expansão no sentido do vazio; verificaram-se desde casos em que os ritmos das convergências, inferiores a 1 mm/mês após a escavação, traduzem tendência para a estabilização por acção de auto-sustimento do maciço, até outros em que só é possível estabilizar o contorno escavado com o recurso a forte sustimento de 1.ª fase, seguido de aplicação de revestimento de betão.

Também, embora não de modo sistemático, procedeu-se a levantamentos geológicos de longos troços da superfície rochosa escavada. Em relação a alguns desses troços, o levantamento foi realizado tendo em vista classificar as diversas zonas do terreno, de acordo com as respectivas características geomecânicas. Mostrou-se, com efeito, possível definir, no maciço, cinco classes de terreno (3 classes bem distintas, mais 2 classes intermédias), segundo uma metodologia que considera, primeiro, o estado de alteração do material rochoso, depois, o grau de fracturação, seguidamente, a sensibilidade à água e, finalmente, o número de famílias de fracturas ocorrentes. Igualmente se provou que tais classes correspondiam a casos distintos de compartimentação do maciço e de deformação e instabilidade do contorno do túnel, o que permite sugerir, para as várias zonas atravessadas, determinados tipos e densidades de sustimentos de 1.ª fase. Esta constatação está de acordo, de resto, com o facto, anteriormente verificado, de ser possível, pelo menos duma maneira aproximada, estabelecer correlações entre as características geológicas do terreno, as suas propriedades geofísicas, as convergências e os parâmetros operacionais correspondentes ao avanço da obra e ao respectivo sustimento de 1.ª fase.

Durante a execução do túnel, realizaram-se ainda variados estudos complementares, principalmente de índole laboratorial, que contribuíram para um melhor conhecimento das características do material rochoso atravessado. Entre estes estudos, parte dos quais se encontra ainda em execução, são de realçar os referentes à detecção de

material argiloso expansivo que, com elevada probabilidade, é um dos responsáveis pela ocorrência das convergências mais elevadas.

3. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO MACIÇO ROCHOSO

No estado actual dos conhecimentos, resultante dos estudos referidos e da observação efectuada, pode dizer-se, dum modo abreviado que, sob os pontos de vista da perfurabilidade e da exigência de sustimento, o maciço rochoso atravessado pelo túnel se apresentou, nas zonas correspondentes aos troços já abertos, como constituído por uma alternância de três tipos de terreno:

— Tipo I — Aparentemente são ou pouco alterado, com compartimentação espaçada; apto a ser perfurado com utilização de métodos convencionais de furação e aplicação de explosivos ou, eventualmente, caso não ocorra rocha anormalmente dura, com máquinas desagregadoras de ataque pontual com picos de metal duro; com boas ou razoáveis características de auto-sustimento, embora susceptível de originar quedas de blocos isolados de dimensões decimétricas, individualizados por entrecruzamento desfavorável de diaclases;

— Tipo II — Pouco alterado ou medianamente alterado, com compartimentação apertada, susceptível de ser perfurado, consoante as situações, ou manualmente com martelos saneadores ou com recurso a alguma furação para aplicação de explosivo ou ainda com máquinas desagregadoras pontuais; exigindo sustimento imediatamente após a perfuração, para evitar a desagregação e a queda do terreno, compartimentado à escala centimétrica;

— Tipo III — Muito alterado ou decomposto, com comportamento mecânico dominado pelo do respectivo material de alteração, quer constituindo a globalidade do maciço quer preenchendo a compartimentação, geralmente apertada; perfurável com martelo saneador; requerendo quase sempre pré-cravação de enfilagens para evitar o escoamento do material constituinte do maciço e exigindo obrigatoriamente sustimento sistemático logo após a escavação e, por vezes, blindagem do contorno do túnel; susceptível de exercer acção sensível sobre o sustimento, eventualmente devida à presença de material argiloso expansível. Neste tipo pode incluir-se o material de enchimento de caixas de falha.

Pode estimar-se que estes três tipos de terreno ocorreram, no comprimento do túnel já aberto, nas seguintes percentagens (não necessariamente correspondentes às dos tipos de sustimento instalados): tipo I — 50%; tipo II — 35%; tipo III — 15%. Apresentaram-se, como frequentes, associações dos tipos I e II e, como mais

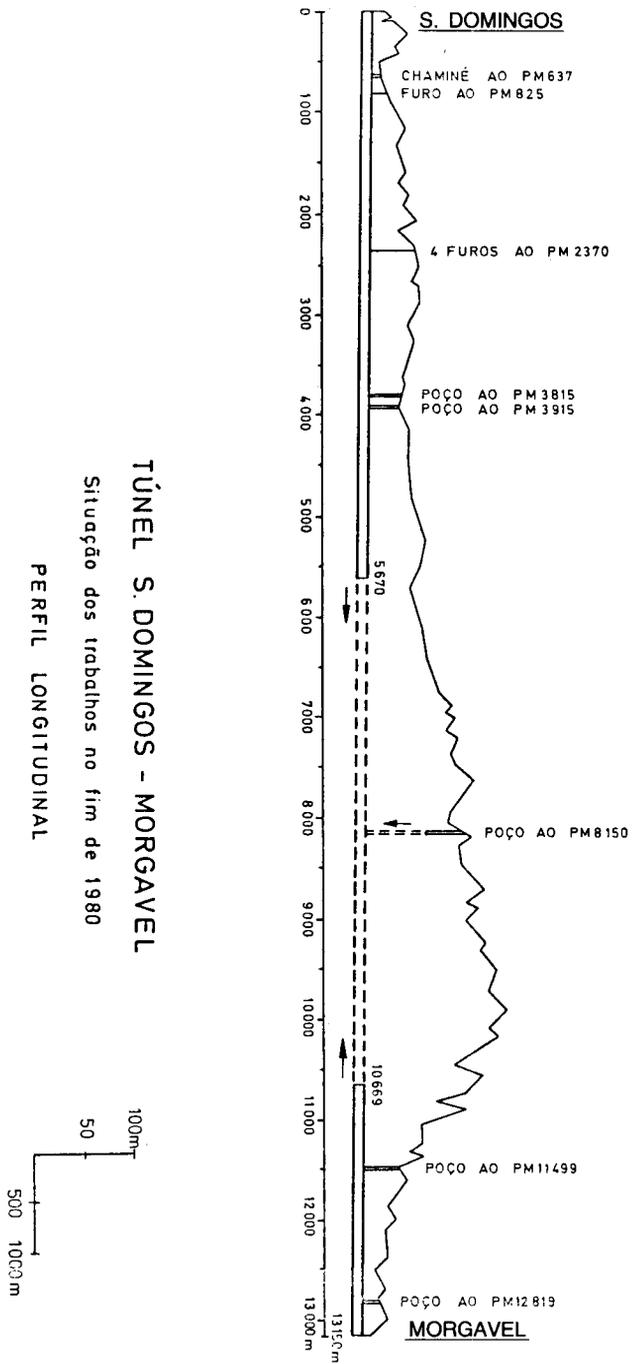


FIG. 2

frequentes ainda, dos tipos II e III. Por outro lado, nas zonas com maior recobrimento, menor alteração e mais desfavorável orientação, em relação ao eixo do túnel, das estruturas geológicas ocorrentes, pareceram manifestar-se fenómenos de descompressão provocadores de fracturação das formações rochosas mais frágeis, o que, em termos práticos e quanto a necessidades de sustimento, corresponde a dever considerar-se, em relação à distribuição indicada, uma percentagem um pouco menor de terreno tipo I e, conseqüentemente, percentagens um pouco superiores dos tipos de terreno II e III. Em relação ao troço de túnel que falta construir e a que correspondem os maiores recobrimentos, há que admitir uma eventual melhoria da qualidade do terreno, devida a menor meteorização mas, em contrapartida, possibilidade de intensificação dos desfavoráveis efeitos de descompressão, que se referiram.

4. A CONSTRUÇÃO DO TÚNEL

A perfuração do túnel (Fig. 2) iniciou-se, em fins de Novembro de 1976, por um ataque do lado de montante (S. Domingos), a que depois se seguiu um contra-ataque de jusante (Morgavel). Ao mesmo tempo, tendo-se reconhecido a dificuldade de atravessar com trabalho subterrâneo, dado o pequeno recobrimento aí existente, a linha de água de Barranco Queimado, foi a correspondente zona de túnel, numa extensão de 188 m, escavada a céu aberto, betonada e depois recoberta, por reposição dos terrenos. Desta zona de Barranco Queimado partiu um contra-ataque para montante, ao encontro do ataque vindo de S. Domingos, , que nele varou, e um novo ataque para jusante. Por outro lado, a 3815 m e a 3915 m da boca de S. Domingos foram abertos dois poços verticais, o primeiro para extracção e o segundo para serviço, os quais, a profundidades de cerca de 36 m, atingiram as cotas do túnel, cujo troço, entre eles, foi preparado, servindo para a criação de novas frentes, uma que avançou para jusante, no sentido de Morgavel, outra que seguiu para montante, ao encontro do ataque vindo do Barranco Queimado, ao qual varou.

Além dos poços referidos, o túnel tem ainda, como comunicações com o exterior, dois poços verticais auxiliares, aos perfis métricos PM 12819 e PM 11499, uma chaminé no PM 637, um furo ao PM 825 e mais um grupo de 4 furos cerca do PM 2370 m. Estas várias ligações têm sido utilizadas para ventilação, esgoto e, eventualmente (caso do poço ao PM 12819), para entrada de betão.

No fim do ano de 1980 encontrava-se escavado 62% do comprimento total do túnel, com um troço de montante e outro de jusante com cerca de, respectivamente, 5670 m e 2490 m, tal como se mostra na Fig. 2. Também se encontrava em cons-

trução, na vizinhança do perfil métrico PM 8150, um outro poço vertical destinado a atingir a cota do túnel a uma profundidade de cerca de 80 m e, aí, permitir a criação de mais duas frentes de escavação, uma para montante e outra para jusante.

Como tecnologia de escavação do túnel foi seleccionada a correspondente ao emprego de tuneladoras para ataque em secção plena e, mais tarde, admitida a que recorre à utilização de máquinas desagregadoras com cabeças armadas com picos de metal duro, para ataque pontual. Conforme as características do terreno, esperou-se conseguir velocidades de progressão variando, respectivamente, entre 2 m/24 h e 25 m/24 h, para as primeiras destas máquinas, e entre 4 m/24 h e 9 m/24 h, para as segundas. Em princípio, as máquinas de ataque pontual destinavam-se à perfuração nos locais onde se receasse, ou em que se constatasse, a existência de terreno não suficientemente auto-portante para permitir o emprego das tuneladoras de ataque em secção plena.

Até fins de 1980, exclusão feita do troço do Barranco Queimado, construído a céu aberto, e de troços de terreno excepcionalmente mau, em que o avanço teve que se processar manualmente, com o auxílio de martelos saneadores, todo o túnel tem sido escavado com o equipamento referido. Utilizaram-se tuneladoras de ataque em secção plena desde S. Domingos até cerca do perfil métrico PM 515, do poço ao PM 3915 para jusante e, no troço de Morgavel, desde o PM 12 800 ao PM 11 284; no restante, a escavação foi feita com máquinas de ataque pontual.

Com as tuneladoras, a secção escavada teórica é circular, com 3,40 m de diâmetro. Com as máquinas de ataque pontual tem-se pretendido, geralmente, a construção de secções *em ferradura*, com área praticamente equivalente à daquela secção circular; excepcionalmente, adoptaram-se também secções em ferradura alargada, nos casos em que, através delas, foi necessário fazer passar tuneladoras, que não conseguem transitar nas secções em ferradura normais.

Para a remoção dos escombros, têm sido utilizados locotractores e vagonetas com gabarito que apenas permite a instalação de rolagem em via simples, isto pelo facto de a respectiva capacidade de transporte ter sido planeada atendendo aos ritmos máximos de perfuração que se esperava conseguir com as tuneladoras.

Quanto a suporte do terreno, admitiu-se que o revestimento final do túnel, de betão, poderia ser instalado após terminada a perfuração e independentemente desta. Acompanhando a perfuração, instalar-se-ia, se necessário, um sustimento de 1.ª fase, cuja materialização tem sido constituída, conforme a configuração do túnel na zona em causa e consoante as características locais do maciço rochoso, por simples pregagens, por chapas aplicadas por pregagem, por rede metálica pregada, por cimbres metálicos mais ou menos espaçados, por cimbres metálicos e rede metálica ou

chapas metálicas de blindagem, por contraventamentos metálicos, por enfilagens de chapa, de varões ou de perfilados, por betão projectado e, ainda, por consolidação do terreno por injecções. Apenas em casos excepcionais se visualiza a possibilidade de alguns dos elementos deste sustimento de 1.^a fase poderem vir a ser retirados quando do revestimento final, exercendo assim as funções dum sustimento provisório; no caso geral, todo o sustimento de 1.^a fase ficará incluído, mais tarde, naquele revestimento final.

Este conjunto de procedimentos tecnológicos, se inicialmente admissível dentro duma óptica um tanto optimista quanto ao maciço a atravessar, cedo se mostrou desajustado em relação à realidade constituída por esse mesmo maciço e às correspondentes características geotécnicas, que sucessivamente foram sendo evidenciadas e que atrás se referiram.

Com efeito, a heterogeneidade do terreno não permite que, salvo em casos excepcionais, se obtenham elevadas velocidades médias de progressão com máquinas tuneladoras de ataque em secção plena. A utilização de tais máquinas, com difícil acesso à vizinhança da frente de ataque, não permite que, no caso geral, se aplique um sustimento de 1.^a fase pouco tempo depois de uma dada secção do túnel ter sido escavada; pode assim resultar que, quando as características de auto-sustimento do maciço são fracas, as tuneladoras fiquem bloqueadas, exigindo custosos e arriscados trabalhos de libertação.

Por outro lado, as máquinas desagregadoras com cabeça armada com picos de metal duro, para ataque pontual, acusam uma certa fragilidade mecânica quando a rocha é bastante dura (caso, por exemplo, dos grauvaques mais são ocorrentes); se a rocha se mostra desagregada ou decomposta, o que é frequente, constituem mecanização excessiva e injustificada. Estas máquinas apresentam-se, assim, como unidades só de aceitar se puderem ser facilmente substituídas, em qualquer momento, por outros sistemas alternativos de arranque (furação e explosivos, num caso, ou martelos saneadores, noutro, com carregamento de escombros, por exemplo, com simples pá carregadora ou com pá carregadora e transportadores portáteis associados).

As velocidades de avanço possíveis de obter no terreno em causa não justificam também o emprego, dadas as secções do túnel, de material rolante de grande gabarito, correspondente a vagões e a locotractores, respectivamente, de elevada capacidade e de grande potência, tornando aconselhável a utilização de equipamento de transporte aligeirado e com flexibilidade de manobra, que possa ser instalado em sistema de via dupla.

As características geológicas e geomecânicas do maciço rochoso, em especial a respectiva heterogeneidade e as variações apreciáveis de atitude da foliação, não

justificam, igualmente, a adopção duma secção recta em ferradura, mais difícil de escavar, de suster numa 1.^a fase e, depois, de revestir que uma secção em U invertido, a qual, em contrapartida, oferece maior largura na base e torna assim mais fácil a instalação de uma eventual rolagem em via dupla.

As características geológicas e geomecânicas do maciço, principalmente se o terreno é das piores qualidades, também exigem a aplicação dum sustimento de 1.^a fase tanto quanto possível logo depois da escavação e, após um tempo igualmente o menor possível, de um revestimento final que impeça a deterioração da rocha por efeito da exposição ao ar, à humidade e a variações térmicas. No maciço em consideração, apresenta-se como altamente vantajosa uma perfeita articulação da perfuração com o sustimento de 1.^a fase e com o revestimento final; se este for aplicado em devido tempo, o sustimento de 1.^a fase poderá ser mais aligeirado e, por seu turno, se o sustimento de 1.^a fase for aplicado logo a seguir à escavação, poderão aproveitar-se da melhor maneira as características de auto-sustimento do terreno.

Para que todas estas operações possam efectuar-se simultaneamente, tem que haver mobilidade operatória e, daí, o interesse em se poder dispor de transportes flexíveis, em sistema de via dupla, atrás sugeridos.

As tecnologias inicialmente seleccionadas para construção do túnel, as quais continuam a ser aplicadas, não se apresentam, pois, como as mais aconselháveis para um andamento conveniente da obra.

Desde o início dos trabalhos que as máquinas tuneladoras de ataque em secção plena, excepção feita a períodos relativamente curtos de actuação, apenas conseguem progredir graças a um inegável espírito de sacrifício do pessoal que com elas opera. Os bloqueamentos, por queda de terreno sobre as cabeças das máquinas, têm sido repetidos, obrigando a operações de libertação difíceis e arriscadas, que incluem reescavações sobre as tuneladoras, para acesso às frentes de trabalho, avanços em secção reduzida até se encontrar terreno coerente, alargamentos, em recuo, das mesmas secções, de modo a dar passagem às máquinas, enfim, toda uma série de trabalhos manuais difíceis, nomeadamente no que se refere ao sustimento do terreno, realizado por variados artifícios de entivação, muitas vezes após cravação de enfilagens, aplicação de betão projectado ou moldado, consolidações por injeção, etc. Por outro lado, fora destes bloqueamentos, as baixas velocidades médias de progressão devidas às precauções que é necessário ter para evitar ruínas do maciço, em condições de muito difícil acesso às vizinhanças das frentes, não permitem que sejam recuperados os tempos perdidos a ultrapassar as zonas de encravamento das máquinas.

Mesmo com as unidades de ataque pontual, as fracas qualidades de auto-sustimento do terreno obrigam, repetidas vezes, a progressão muito morosa das

frentes, com aplicação de técnicas especiais de avanço e de sustimento de 1.^a fase, por exemplo, com pré-escavação da coroa ou da coroa e hasteais da secção; como resultado, as velocidades médias de progressão conseguidas são também muito inferiores às previstas.

No que respeita ao suporte do terreno, a prática de apenas se considerar o revestimento final após a escavação dos vários troços do túnel permite que a rocha se vá degradando, exigindo frequentes trabalhos de conservação com reforço do sustimento de 1.^a fase e provocando desnecessária redução da contribuição auto-portante do maciço; em alguns locais, nomeadamente onde parece haver libertação importante de tensões instaladas no terreno, o revestimento de 1.^a fase já tem tido que ser refeito diversas vezes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os desajustamentos das tecnologias utilizadas em relação às características geotécnicas do maciço atravessado pelo túnel Sado-Morgavel têm tido como consequência grandes atrasos em relação aos prazos previstos para conclusão das várias fases da obra e, certamente, muito importantes aumentos dos correspondentes custos.

Algumas decisões, é certo, acabaram por ser tomadas no sentido de melhorar as condições de execução do túnel. Entre as mais importantes, podem enumerar-se: a introdução das máquinas de ataque pontual, para substituir as tuneladoras de ataque em secção plena nas zonas de terreno com pior qualidade, a retirada de uma destas máquinas, que operava na frente de jusante, a abertura dos poços aos perfis métricos PM 3815 e PM 3915, para criação de novas frentes de ataque e, recentemente, o início da abertura do novo poço junto ao PM 8150, com idêntica finalidade. Foram, porém, medidas aceites somente após muito tempo de constatação das respectivas vantagens, isto devido a uma inércia na tomada de decisões com que uma obra deste tipo não se compadece.

Um túnel, dadas as incertezas que a respectiva abertura sempre implica, deve progredir com permanente evolução e aperfeiçoamento das soluções parciais que exige e dos processos tecnológicos que utiliza. A flexibilidade no que respeita à alteração de processos e a possibilidade de tomadas de decisão rápidas, com base nos resultados duma colaboração estreita e contínua entre todas as entidades envolvidas no empreendimento, são, talvez, as facetas que actualmente se apresentam como mais importantes para se conseguirem melhorias de resultados em relação a obras deste tipo.

Para a adaptação optimizadora dos projectos às condições realmente existentes nos maciços rochosos, a consideração da informação geotécnica, que vai sendo colhida, apresenta-se como de primordial importância. O túnel S. Domingos-Morgavel pode contar-se como um bom exemplo de que, na verdade, assim é.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil — *Prospecção Geofísica do Túnel Adutor do Rio Sado* (Relatório). Lisboa, 1974.
- 2) Construções Técnicas, Lda. — *Prospecção Mecânica Relativa ao Túnel Adutor do Rio Sado* (Relatório). Lisboa, 1974.
- 3) Hidroprojecto — Consultores de Hidráulica e Salubridade, S.A.R.L. — *Abastecimento de Água à Área de Sines. Adução Sado-Morgavel. Estudo Geológico e Geotécnico* (Relatório). Lisboa, 1974.
- 4) Laboratório Nacional de Engenharia Civil — *Estudos Geotécnicos no Túnel de Adução do Rio Sado* (Relatório). Lisboa, 1974.
- 5) Geocontrolo — Gabinete de Geotecnia e Topografia, Lda. — *Túnel Adutor do Sado. Prospecção Geofísica* (Relatório). Lisboa, 1977.
- 6) Teixeira Duarte, Lda. — *Reconhecimento Geotécnico Complementar* (Relatório). Lisboa, 1977.
- 7) Aguasines — Empreitada de Adução Sado-Morgavel & C.^a, Lda. — *Proposta de Maio de 1977*.
- 8) Gabinete da Área de Sines — *Túnel S. Domingos-Morgavel. Contribuição para o Conhecimento Geológico e Geotécnico*. Relatório 32/78.
- 9) Gabinete da Área de Sines — *Mapeamento do Túnel S. Domingos-Morgavel*. Relatórios 15/78, 35/78, 12/79 e 16/79.
- 10) Laboratório Nacional de Engenharia Civil — *Observação do Túnel do Adutor Sado-Morgavel*. 1.º Relatório. Lisboa, 1979.
- 11) Hidroprojecto — Consultores de Hidráulica e Salubridade, S.A.R.L. — *Abastecimento de Água a Sines. Estudo Comparativo das Soluções Relativas à Adução de Água Bruta*. Lisboa, 1980.
- 12) Electricidade de Portugal, E.P. — *Parecer sobre a Condução dos Trabalhos do Túnel do Adutor Sado-Morgavel*. Porto, 1980.
- 13) Hidroprojecto — Consultores de Hidráulica e Salubridade, S.A.R.L. — *Adução Sado-Morgavel. Poço na Vizinhança do PM 8150 do Túnel* (Projecto para Concurso). Lisboa, 1980.
- 14) Hidroprojecto — Consultores de Hidráulica e Salubridade, S.A.R.L. — *Execução do Troço Inter-médio do Túnel do Adutor Sado-Morgavel*. Projecto para Concurso. Lisboa, 1980.
- 15) Laboratório Nacional de Engenharia Civil — *Caracterização e Classificação Geotécnica de Maciços Rochosos. Aplicação à Escavação do Túnel do Adutor Sado-Morgavel* (Estudo). Lisboa, 1980.
- 16) Laboratório Nacional de Engenharia Civil — *Classificação Geotécnica do Maciço Atravessado pelo Túnel do Adutor Sado-Morgavel. Troço Morgavel-Poço (Jusante)* (Relatório). Lisboa, 1980.