

ELEMENTOS PARA UMA HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO DE GALERIAS

Elements for a History of Gallery Construction

por

J. M. OLIVEIRA NUNES*

RESUMO – Neste trabalho referem-se vários aspectos da tecnologia da construção de túneis em rocha. Apontam-se particularidades da construção das galerias de derivação provisória dos aproveitamentos hidroeléctricos de Picote, Miranda e Bemposta (Douro Internacional), dum túnel numa estrada em Picote, e das galerias de ataque às obras subterrâneas de Bemposta.

Apresentam-se ainda observações à construção das galerias para as condutas forçadas da central de Bemposta, e das galerias de derivação de carga e de fuga do Távora, bem como o tratamento numa zona do túnel de acesso à central deste último aproveitamento, onde se deu um desmoronamento.

Faz-se ainda uma referência à condução dos trabalhos numa zona perturbada por uma falha na galeria de caminho de ferro da Régua (Douro).

Finalmente referem-se aspectos singulares da construção das centrais em caverna de Picote e Miranda (Douro Internacional).

SYNOPSIS – This paper deals with some aspects of gallery in rock construction technology. We mention here the particularities of the temporary diversion tunnels construction at Picote, Miranda and Bemposta (Douro River), of a road gallery at Picote and tunnels to carry out the underground works at Bemposta.

We also present some observations on the construction of Bemposta penstocks, of the in charge diversion tunnel and tail race gallery at Távora. This report also informs about the works in a part of the tunnel that connects with Távora power-house, where we had to face a ruin.

References are also made to the works in part disturbed by a fault on Régua railway tunnel. Finally, it points out some remarks on the construction of Picote and Miranda underground power-houses.

1 – INTRODUÇÃO

A parte que directamente pode observar-se de qualquer coisa, da sua evolução no tempo, isto é, da sua história, depende do ponto onde o observador

* Engenheiro Civil da Companhia Portuguesa de Electricidade

está colocado. É a integração dos testemunhos de diversos observadores colocados em vários e suficientes pontos de vista que constituirá a história do acontecimento, no caso presente a história da construção de algumas galerias.

Para definir a posição do observador neste caso, do autor destas notas, refere-se que ele fez parte duma equipa de fiscalização (pela H.E.D.) activa e cooperante. Essa equipa discutiu com os vários empreiteiros os processos, os métodos de execução, acompanhou intimamente a evolução dos trabalhos, cooperou na forma de corrigir os desvios verificados relativamente aos programas e participou na resolução dos problemas que apareceram.

No Douro Internacional, a que se referem a maioria das notas aqui apresentadas, cumpriram-se sempre os programas de construção dos elementos considerados essenciais. Nesta observação está implícita uma homenagem aos empreiteiros e aos elementos (de todos os níveis) da equipa que o autor chefiou, e que tão devotadamente acompanharam os trabalhos.

Nos aproveitamentos hidroeléctricos de Picote, Miranda e Bemposta, no Douro Internacional, os tipos dos principais túneis que se construíram foram:

- 1) – galerias para derivação provisória das águas do rio durante a construção da barragem (extensão da ordem dos 300 m, dimensões transversais elevadas – cerca de 10 m de diâmetro)
- 2) – galerias para condutas forçadas de adução da água às centrais, que eram subterrâneas
- 3) – galerias para canais de fuga, com parte em dois deles, de elevadíssima secção e com delicadas zonas de intercepção dos difusores
- 4) – galeria de acesso às cavernas das centrais durante a sua construção (de grande extensão, a maioria permitindo o trânsito de camions basculantes pesados – tipo Euclid 13 ton.)
- 5) – uma galeria na estrada de acesso à Central de Picote

No aproveitamento hidroeléctrico do Távora as principais galerias foram:

- 6) – uma galeria de derivação em pressão das águas para a central, com 15 km de extensão e secção de 8,6 m²
- 7) – uma galeria de acesso permanente à central subterrânea (26 m²)
- 8) – canal de fuga, com a extensão de 2 km

No aproveitamento hidroeléctrico da Régua, no Douro Nacional, construiu-se:

- 9) – um túnel para desvio do caminho de ferro do local das obras

Além destas galerias, construíram-se ainda outros elementos subterrâneos tais como:

10) – as cavernas das centrais hidroeléctricas de Picote, Miranda e Bemposta.

Foi já no decorrer da reunião que percebemos que o termo “túneis” englobava este último tipo de trabalhos. Procurámos, por isso, sem alongar muito estas notas, referir alguma coisa da sua história.

Os tipos de rocha com que contactámos, isto é, que constituíram os maciços onde se abriram os túneis foram granito e xistos, estes de vários tipos (micaxistos, gneissicos, grauvacoides), grauvaques e filádios, etc.

Passados já alguns anos sobre a execução desses trabalhos tentaremos lembrar os principais aspectos sobre que incidiu a nossa preocupação e a preocupação de outros que testemunhamos. Tentaremos dar prova da experiência colhida com a consciência da sua limitação em certas áreas.

Começaremos por tratar de aspectos gerais e depois de um ou outro pormenor da execução de algumas das galerias referidas.

2 – ASPECTOS GERAIS RELATIVOS À CONSTRUÇÃO DAS GALERIAS

2.1 – *Estudos geológicos e outros*

A execução das galerias foi sempre precedida pelo estudo por técnicos especializados (alguns deles geólogos) da formação rochosa onde ia ser aberta a galeria, da sua constituição mineralógica, da sua estrutura geral (orientação dos seus planos de descontinuidade ou compartimentação – planos de estratificação ou xistosidade, planos das diaclases), da existência de falhas, sua orientação e importância, de zonas de rocha alterada ou decomposta, etc. (pareceres de geólogos). No estudo consideraram-se normalmente algumas sondagens e galerias de prospecção, estas em geral, até não precisamente no local dos túneis mas no da barragem, locais, em certos casos, não muito afastados. Temos ideia, no entanto, do estudo geológico não ter sido exaustivo.

2.2 – *Preocupações tidas nos processos de ataque*

Nos processos de ataque foram sempre tidos os seguintes aspectos ou objectivos em vista:

2.2.1 – Ter assegurado o controle sobre o trabalho, isto é, proceder-se na abertura do túnel de modo a evitar-se, tanto quanto possível, derrocadas ou desmoronamentos ou mesmo a rocha entrar em movimento sensível.

Quando a rocha pelo tipo e o túnel pelas funções não exigiam revestimento

de betão, para túneis de grande secção tais como os das galerias de derivação provisória (10 a 11 m de diâmetro), empregou-se o processo clássico que comporta as seguintes fases:

- a) – abertura de uma galeria de avanço junto ao tecto da galeria (fase 1, Fig. 1.1).
- b) – alargamento da escavação à parte da secção acima da soleira da galeria de avanço ou um pouco abaixo (fase 2, Fig. 1.1) – desanche.
- c) – escavação da parte inferior da secção (fase 3, Fig. 1.1) – destroça.

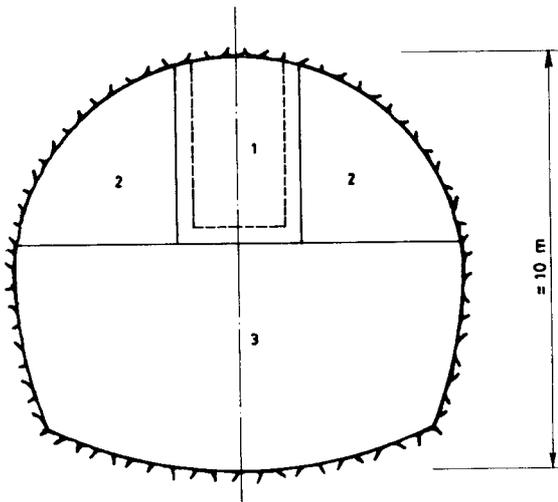


Fig. 1.1 – Fases da execução de galerias sem revestimento

Em locais em que a rocha o exigia, por sua alteração ou decomposição ou abertura e disposição desfavorável das diaclases (segundo a horizontal e a vertical na zona da calote), em intercalação ou em sobreposição com as escavações procedia-se a entivações com madeira, com tubos ou com costelas de aço, à aplicação de ancoragens (de diversos tipos), a betonagens confortativas (contrafortes, arcos) à aplicação das redes e, em certos casos, a gunitagem.

Em zonas suspeitas, em que a modificação do estado da rocha o aconselhava faziam-se furos compridos de avanço, para prospecção e reduzia-se, assim, a probabilidade de surpresas, de acidentes. Lembra-nos um caso (Bemposta) em que numa zona de rocha má se abriu, com os devidos cuidados, uma galeria de avanço para prospecção. A correspondente zona foi alargada mais tarde. Entretanto, o trabalho foi prosseguindo normalmente para lá dessa galeria, quando se atingiu rocha boa.

De uma maneira geral, todo o material necessário para consolidação, para “conforto”, existia em reserva no estaleiro (em “stand by”). Não me lembro de paragem de trabalhos à espera de meios desse tipo.

No caso das galerias, também de grandes dimensões, em que o tipo e o estado da rocha exigiam ou a função o implicava (exemplo: a galeria de desvio provisório de Miranda veio a fazer parte de uma descarga auxiliar) empregou-se um revestimento de betão e, então, as fases de trabalho intercalavam-se da maneira seguinte:

- a) – abertura duma galeria de avanço (fase 1, Fig. 1.2).
- b) – alargamento da escavação à zona da abóbada (fase 2, Fig. 1.2), talhando apoios para o revestimento.
- c) – betonagem e revestimento da abóbada (fase 3, Fig. 1.2).
- d) – escavação da parte inferior da secção deixando, em geral, contrafortes para suporte da abóbada (fase 4, Fig. 1.2).
- e) – betonagem das paredes alternadamente com a desmontagem de contrafortes de rocha (fase 5, Fig. 1.2).
- f) – betonagem da soleira (fase 6, Fig. 1.2).
- g) – injecções generalizadas a toda a secção para tratamento da rocha abalada pelo fogo mas com especial incidência na zona da abóbada para preenchimento do vazio (praticamente impossível de evitar) entre o revestimento de betão e a rocha no fecho (fase 7, Fig. 1.2).

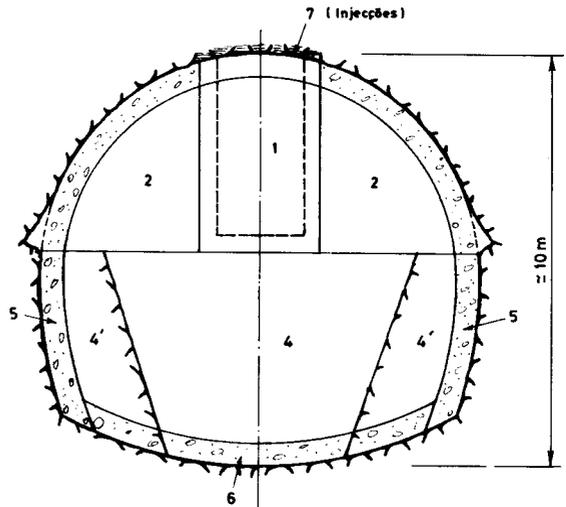


Fig. 1.2 – Fases da execução de túneis com revestimento

Da mesma forma que no caso anterior aplicaram-se, quando necessárias, as medidas confortativas já referidas.

Numa zona suspeita das galerias dos difusores de Picote, vizinha da parede de montante da caverna, onde o granito apresentava um sistema de fracturas paralelas a essa parede, procedeu-se conforme o indicado nas Figs. 1.3 e 1.4.

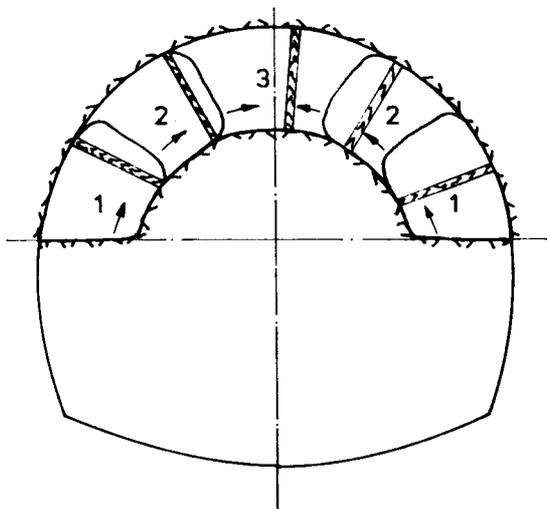


Fig. 1.3

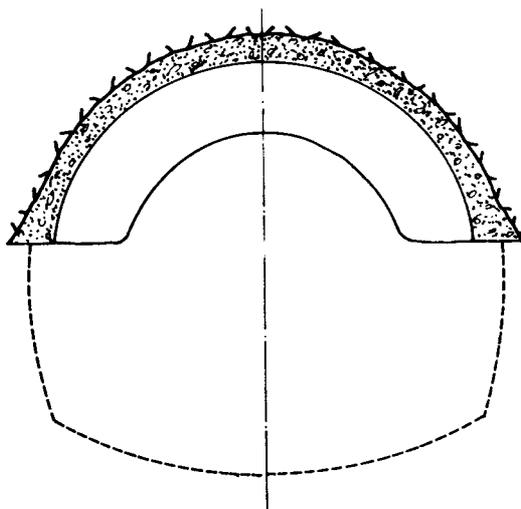


Fig. 1.4

Figs. 1.3 e 1.4 – Fases de construção das galerias para os difusores da central do Picote

Iniciou-se a escavação a partir das nascentes da abóbada dum e outro lado deixando-se por desmontar, na parte central, um maciço contra o qual se apoiaram os elementos de entivação. Escavada a coroa-circular superior betonou-se o revestimento da abóbada. Depois o trabalho prosseguiu normalmente.

Relativamente às galerias de derivação provisória há a assinalar que, dado o condicionamento do regímen do rio sobre a programação geral, um atraso no funcionamento das galerias poderia repercutir-se num atraso de muitos meses na construção do aproveitamento.

2.2.2 – Um outro objectivo tido em conta na execução das galerias foi garantir rendimentos ou avanços com vista à execução da galeria nos prazos convenientes, condicionados pela estratégia geral da obra em que as galerias se inseriam.

Nesse sentido havia que escolher o equipamento de perfuração – martelos, seu tipo, bem como o das barrenas (estas já desde o início em Picote com pastilhas do tipo “coromant” – isto é, de aço-tungsténio), suporte dos martelos (colunas, “jack lags”, “jumbos”), etc., escolher o plano de fogo (número e distribuição de furos para explosivos, tipos de detonadores (eléctricos, temporizados), cordão detonante, fio eléctrico, equipamento de ventilação, equipamentos de carga e remoção de escombros, tipos de cofragens, equipamento de fabrico e colocação de betão (tapetes, bombas de êmbolo, “placys” a ar comprimido), equipamentos de gunitagem e de betão projectado, equipamento de bombagem, etc.

E havia, ainda, de definir a composição de equipas de pessoal, o número de turnos, etc.

De alguns destes aspectos, que figuram aqui por memória, se fará à frente uma referência concreta.

2.2.3 – Simultaneamente houve que aplicar processos que assegurassem a protecção do pessoal nos aspectos:

- a) – acidentes no desmonte da rocha a fogo – aplicando adequada tecnologia (respeitante a manipulação dos explosivos, carregamento dos furos, sistema dos disparos, sinalizações).
- b) – acidentes por desmoronamentos ou quedas de pedras – procedendo a saneamentos, aplicando convenientemente entivações de madeira ou de aço ou outras, ancoragens, redes (muito úteis contra a queda de pedras).
- c) – evitar doenças, sendo especialmente de recear nas escavações – a silicose – removendo a rocha pulverizada na furação empregando martelos com limpeza por água, utilizando uma ventilação eficaz (aspiração), contro-

lando as medidas tomadas em face da medição (com aparelhos apropriados) do teor de poeiras na atmosfera das frentes de trabalho, bem como as suas dimensões e composição química, etc. Prestar assistência médica especial aos trabalhadores das escavações e fornecer-lhes um suplemento de alimentação-leite (*) (Miranda).

2.2.4 – Ter assegurada a economia, no que há sobreposição com medidas tomadas com outras intenções, especificadamente no que se refere a manutenção da obra sob controle e a bons rendimentos.

3 – OBSERVAÇÕES DIVERSAS RELATIVAS À TECNOLOGIA DA ABERTURA DE TÚNEIS

3.1 – *Prospecção geológica*

Embora a prospecção geológica do terreno atravessado pelos túneis não tivesse sido exaustiva como se disse no que se refere a sondagens pelo exagerado comprimento que elas teriam de ter (na maioria dos casos praticadas da superfície do terreno), com os prudentes processos de execução utilizados, não houve, de uma maneira geral, situações de falha no controle das obras em que colaborámos desde início, isto é, as situações estiveram sempre perfeitamente dominadas. No entanto a nossa opinião é a de que quanto mais perfeito conhecimento se tiver do maciço rochoso, do seu provável comportamento, mais facilitada e menos contingente será a execução.

3.2 – *Emboquilhamento de galerias*

Na maioria dos casos uma fase com certa delicadeza, sob o ponto de vista de estabilização do maciço rochoso na zona das extremidades das galerias (bocas) e de segurança do pessoal, é o chamado emboquilhamento. A rocha, nas testas das galerias, apresenta-se, em geral, muito fracturada, isto é, com as diaclases e planos de estratificação muito abertos e decomposta ou pelo menos alterada.

A aplicação de ancoragens na zona circundando a boca da galeria, de redes e revestimentos de betão (alternados com a escavação) podem auxiliar eficazmente, bem como o uso de tiros de recorte – “line drilling” ou “smoth blasting”, e galerias de avanço.

* O leite tem uma certa acção de antídoto relativa a certos tipos de envenenamentos.

3.3 – Meios confortativos, entivações, etc.

3.3.1 – Como se referiu e se sabe, são frequentemente utilizados em entivações madeiras em toros e em pranchas, tubos metálicos, costelas metálicas formadas por perfis, pranchas de betão, ancoragens, etc.

As ancoragens empregaram-se de vários tipos: simples, de cunha que permitem uma boa pré-tensão quando colocadas com martelos pneumáticos apropriados, ancoragens com cabeça (RAWL “bolts”, por exemplo), ancoragens Perfo, que se selam nos furos com argamassa contida com o auxílio de duas meias canas em chapa metálica furada, etc. As ancoragens revelaram-se extremamente úteis, quer em estabilizações de grandes zonas, quer até sob o ponto de vista de segurança evitando a queda de pedras que apesar do saneamento se vão deslocando por descompressão da rocha. Na escavação do núcleo da central de Miranda tiveram um papel extremamente relevante.

3.3.2 – As redes também se revelaram utilíssimas na retenção das pedras que se vão soltando das testas das abóbadas e hasteais. Prendem-se à rocha com ancoragens e ficam, em geral, incorporadas no revestimento de betão ou gunite.

3.3.3 – A gunite, que se utilizou como revestimento com carácter definitivo em casos que à frente referimos (galeria de desvio de Bemposta, canal de fuga do Távora), pode servir também de meio confortativo.

3.4 – Revestimentos

Há casos (estado da rocha, funções da galeria) que se torna necessário o revestimento da zona escavada com betão. A execução do revestimento foi, numa maneira geral, intercalada com as escavações, como se referiu, começando-se pela betonagem da abóbada (calote).

Para se assegurar a estabilidade do revestimento, quando da escavação da secção inferior dos túneis (destroça) criaram-se, a certa altura, apoios para as abóbadas, aprofundando as escavações nas nascentes de forma a penetrar no maciço rochoso, e deixaram-se contrafortes de rocha (paredes descontínuas) que se desmontavam após a betonagem da parte dos hasteais entre eles.

Na colocação do betão no revestimento de galerias revelaram-se como equipamentos mais apropriados as bombas de êmbolo e os “placys” a ar comprimido. Em certos casos, ou em certas fases, só se podem aplicar estes últimos.

3.5 – Injecções

Como se referiu, é impossível preencher completamente de betão o espaço entre a cofragem e a rocha na zona da abóbada, do que resulta um vazio. Para o preencher, operação necessária até para limitar descompressões da rocha nessas zonas, injectava-se primeiramente uma argamassa (areia, cimento e água) e depois calda de cimento quando os vazios se iam reduzindo e a argamassa não podia penetrar.

As injecções interessam também, ao tratamento da rocha abalada pelo fogo, isto é, ao preenchimento de vazios criados ou aumentados pela descompressão ou fracturação da rocha.

3.6 – Equipamento de remoção de escombros

Na execução das galerias de derivação provisória de Picote, Miranda (parte) e Bemposta revelou-se muito conveniente e até mesmo necessário na remoção de escombros o emprego de camions basculantes pesados (tipos “Euclid” de 13 ton. ou “Aveling Barford” de 11 ton.) entrando nas galerias em períodos extensos das obras. Para isso deixavam-se aberturas nas ensecadeiras das bocas das galerias que se tapavam em época de cheias. Gruas instaladas nas proximidades das bocas das galerias, em poços, oferecem melhores condições de defesa contra cheias mas o seu rendimento suficiente, em algumas fases da obra, não se revelou bastante na fase mais intensa. Ainda a ligação das galerias com o exterior por rampas transitáveis por camions diminui a probabilidade de interrupção dos trabalhos por avaria dos meios de transporte e melhora as condições de ventilação e as condições psíquicas do trabalho (eliminação ou redução de claustrofobia).

QUADRO I

ELEMENTOS ESTATÍSTICOS RELATIVOS À ABERTURA DE GALERIAS EM ROCHA DURA

Secção m ²	Número de furos por pega	Explosivos kg/m ³	Avanço por pega m	Tempo completo dum ciclo (furação, carga, ventilação, etc.)	Observações
3	23	4	1,80	6	Picote. 1957. 1958. Granito
4	29	3,8	1,10	8	Picote. 1957. 1958. Granito
4,7	32	3,6	1,90	5	Vilarinho Furnas. Brufe-Gemesura. 1973. Granito

No Quadro I indicam-se alguns dados sobre abertura de túneis, alguns comprovados, outros resultantes de estudos (*).

4 – ALGUNS EXEMPLOS DE CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS

Duma maneira geral, nos exemplos que se apresentam seguidamente, referem-se alguns aspectos especiais da construção de algumas galerias. Não houve intenção de se fazer um relato completo de cada caso.

4.1 – *Galeria de derivação provisória de Picote* (*)

A construção da galeria de derivação provisória de Picote iniciou-se em Junho de 1954 e entrou em serviço em fins de Maio do ano seguinte, a tempo de permitir a construção da ensecadeira de montante.

O seu programa de construção teve de se enquadrar, evidentemente, no programa geral de construção do aproveitamento hidroeléctrico, sendo por ele, portanto, influenciado.

A galeria (Fig. 3) tinha o comprimento de 280 m e uma secção com a área de 114 m² e diâmetro característico de 12 m.

O maciço rochoso onde se abriu a galeria, era, duma forma geral, constituído por granito são. Uma família de diaclases dispunha-se sub-horizontalmente e os blocos definidos pelas diaclases eram grandes, características favoráveis à estabilização da rocha sem necessidade de revestimento. Apenas como aspecto desfavorável de importância havia, cortando a galeria, uma falha em correspondência com uma linha de água profunda, por ela certamente originada.

A galeria teve a particularidade, que influenciou no programa inicial de execução e processo de ataque, da comporta de obturação se situar, não a montante, como geralmente sucede, mas a 80 m da boca da entrada, aproveitando-se a já referida linha de água, que permitia com um poço relativamente baixo (30 m) atingir-se a galeria. Ficar-se-ia, deste modo, com uma frente independentemente das bocas e com a possibilidade de executar, com um certo à-vontade, a estrutura da zona das comportas, onde o volume de betão era bastante elevado. (***)

* Estes elementos foram-me comunicados pelo Eng.º Tec. Cerqueira Bastos.

** “A Barragem de Picote” – Comunicação apresentada por J. M. Oliveira Nunes e outros técnicos da H. E. D. nas 1.^{as} Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil. Empreiteiro: OPCA, Lda.

***O projecto teve, sem dúvida, a intenção de reduzir o volume de betão da estrutura da comporta – em relação à situação desta a montante.

A partir das bocas começou a escavação pela semi-secção superior precedida a curta distância da galeria de avanço.

Vieram a encontrar-se dificuldades na abertura do poço devido à falha referida e ao facto da rocha encaixante se encontrar, em várias zonas, muito alterada e com enchimento argiloso nas diaclases e, noutras zonas, milonitizada, como é habitual. Esse facto, atrasando o programa de execução dessa zona, obrigou a uma adaptação da estratégia de ataque que consistiu em vir auxiliar esta frente por dentro da galeria a partir da boca de montante. Daí orientaram-se os trabalhos de modo a chegar-se, o mais rapidamente possível, ao local do poço, pelo que a escavação da galeria, que incidia na metade superior da secção, progrediu em rampa a partir de certa altura até se atingir a galeria da zona da comporta (Fig. 3).

Os acessos dentro de um estaleiro influenciam grandemente o tempo de execução das obras pelo tipo de equipamento que permitem utilizar. Em galerias de curta extensão e de reduzida secção, em que é ainda possível a utilização de vagonetas na remoção do escombro proveniente de escavações, e em que este pode ser depositado junto do leito do rio, o acesso directo por estrada às entradas de uma galeria de derivação já não é essencial pois se consegue, sem grande dificuldade, fazer chegar até elas as vagonetas ou outro qualquer material pouco pesado, fazendo-o deslizar pelas encostas.

Numa obra como a desta galeria, para se poder realizar em curto prazo, é essencial o emprego de camions na remoção de escombro, sendo por isso necessário o estabelecimento de acessos directos às bocas e ao interior da galeria. Em Picote o escombro tinha aplicação no fabrico de inertes. Para a elevação do escombro da galeria utilizou-se a montante um blondim de 10 toneladas que serviu depois à construção de uma ensecadeira. Desse lado (não era possível os camions transitarem facilmente na pista rudimentar de acesso), o escombro era elevado até uma certa cota onde era transferido para camions que o levavam aos depósitos definitivos. A jusante o escombro era transportado por camionetas de 6 toneladas munidas de redutora, circulando pelas pistas (*) até aos depósitos a cotas altas. A certa altura, tendo-se verificado que com este processo o rendimento era muito baixo (cada camioneta transportava apenas 1,4 m³ de rocha "in situ") não permitindo cumprir o programa, foi decidido depositar provisoriamente o

(*) - Estas pistas, um pouco rudimentares e de difícil construção, obrigaram à construção de um túnel, mas tiveram um papel decisivo na estratégia geral da obra.

escombros na margem, a cotas baixas, e retirá-lo mais tarde, em momento oportuno, como efectivamente sucedeu, tendo-se, para esse efeito, aproveitado um plano inclinado para a extracção do escombros das obras principais (barragem e central).

Como se disse, o granito do maciço onde se abriu a galeria apresentava-se em bom estado, não oferecendo, a sua escavação, dificuldades notáveis e não obrigando a precauções especiais a não ser a parte correspondente ao poço da comporta onde em virtude da falha aí existente se foi obrigado ao emprego de entivações e pré-revestimentos. Mas mesmo em zonas em que o granito era sã, a rocha apresentava grandes tensões internas que originavam o desprendimento brusco ou mesmo projecção de blocos. Este fenómeno, designado por “déclatement”, é muito corrente e obrigou a uma grande vigilância e a saneamentos frequentes para se evitarem acidentes. Junto à boca de saída a rocha encontrava-se um pouco fracturada sendo necessário, para a aguentar, revesti-la interiormente com um arco de betão. Perto dessa boca de saída e em correspondência com a zona da parede direita, o granito apresentava também bastante fracturação – as diaclases estavam um pouco abertas e apresentavam uma orientação tal (sistema de diaclases horizontais e verticais) que juntamente com a pequena espessura dos blocos a tornava muito instável. Na parte final dos trabalhos verificou-se aí o desprendimento de blocos que vitimou dois trabalhadores.

Alguns anos mais tarde verificaram-se infiltrações na galeria, então já fora de serviço, fenómeno explicável pela pequena espessura da parede rochosa do lado do rio. Dada a pequena distância da galeria a que se encontrava a caverna da central (subterrânea) foi-se obrigado a revestir esta com betão. Esse trabalho foi penoso, especialmente pelas dificuldades do acesso – um poço bastante estreito.

4.2 – Galeria de derivação de Miranda (*)

4.2.1 – A galeria de derivação provisória do aproveitamento hidroeléctrico de Miranda foi aberta em xistos metamórficos gneissicos com filões de granito que exigiram, pela sua natureza, cuidados especiais para se conseguir manter a obra permanentemente sob controle durante a construção. A constituição da rocha exigia um revestimento. De qualquer modo a utilização de grande parte da galeria como órgão permanente de descarga levaria a revesti-la com betão.

A galeria ficou com o comprimento (em túnel) de 332 m e a secção de escavação com a área de 120 m².

(*) – Dum relatório do Eng.º Téc. J. C. Cerqueira Bastos. – Empreiteiro: Moniz da Maia e Vaz Guedes.

4.2.2 – *Frentes de ataque*

A galeria foi atacada, na fase inicial, a partir de dois poços (abertos junto às bocas) e dum local intermédio (a cerca de 177 m da boca de montante) que ligava com o exterior por uma rampa com a inclinação de 70%, rampa que veio a servir também para a execução da central, que era subterrânea.

A abertura da galeria foi precedida, evidentemente, pela abertura dos dois poços de acesso e da galeria em rampa. As bocas da galeria protegeram-se com ensecadeiras de betão. Na de montante deixou-se uma abertura durante algum tempo para a passagem de camions na fase final.

4.2.3 – *Fases de trabalho*

O progresso dos trabalhos vai indicado nas Figs. 4.1 e 4.2. As principais fases dos trabalhos foram:

- 1) – *Galeria de avanço junto à abóbada* (15 m²) Fig. 4.1. Avanço geral médio (4 frentes, 3 turnos de 8 h) – 5,62 m/dia. Número de pegas 155. Avanço por pega 1,99 m. Furação específica 3,68 m/m³. Mão-de-obra 3,68 h/m³. Consumo específico de explosivos 1,8 kg/m³.
- 2) – *Alargamento (desanche) da semi-secção superior* (26,5 m³) Fig. 4.1. Avanço geral médio 11,1 m/dia (4 frentes, 3 turnos de 8 h). Número de pegas 180. Avanço por pega 1,85 m. Furação específica 2,77 m/m³. Mão-de-obra específica 8,35 h/m³. Consumo específico de explosivos 1,1 kg/m³.
- 3) – *Betonagem da abóbada*. Levou cerca de 7 semanas. As cofragens permitiam a betonagem de troços de 6 m, de cada vez. Por frente utilizaram-se 3 jogos de cofragens (de madeira, desmontáveis). A fase 4 sobrepôs-se, em parte, a esta.
- 4) – *Desmontagem da semi-secção inferior* – destroça (78,5 m²) Fig. 4.1. Avanço médio 4 m. Número de pegas 325. Avanço médio por pega 2,24. Perfuração específica 1,22 m/m³. Mão-de-obra específica 3,68 h/m³. Consumo específico de explosivos 0,61 kg/m³.
- 5) – *Betonagem dos hasteais* – as betonagens dos hasteais foram feitas simultaneamente nos dois hasteais, em troços de 6 m de comprimento contraventando-se as cofragens entre si.
Figs. 4.2 e 4.3. Utilizaram-se 9 moldes de madeira (3 para cada frente). Rendimento médio de colocação de betão 4 m³/h. Duração do

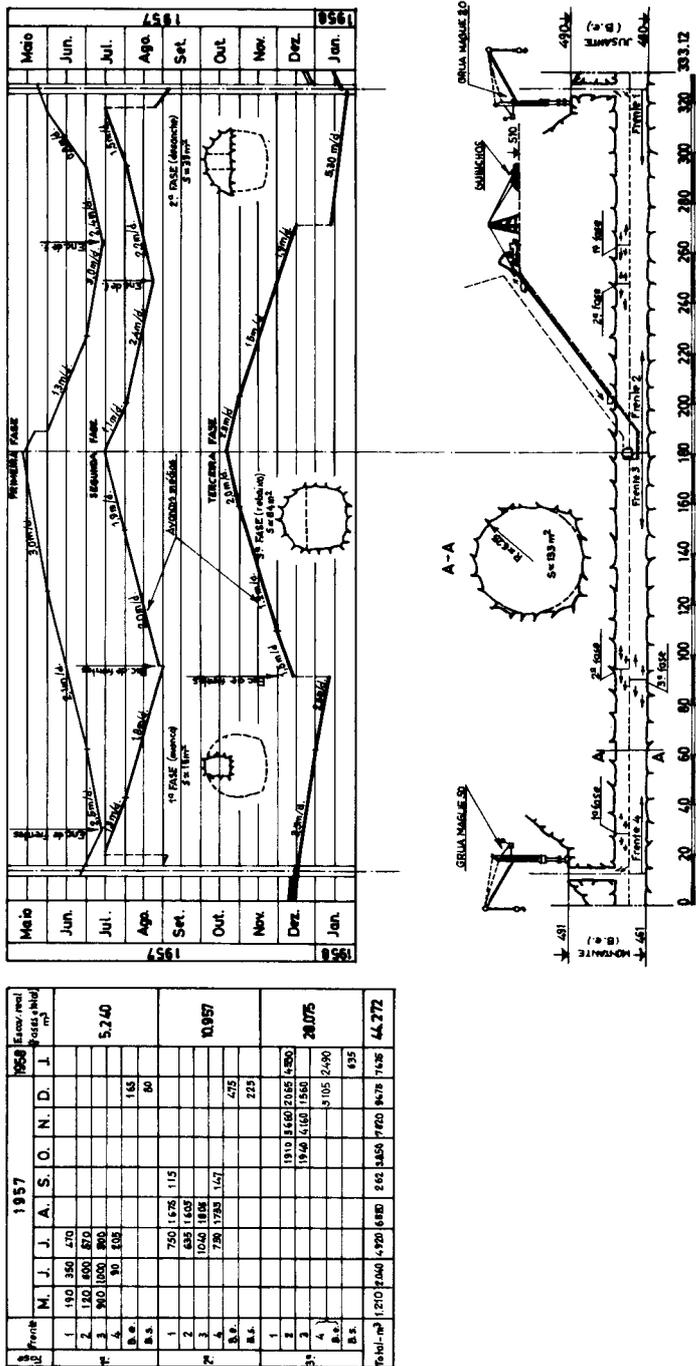


Fig. 4.1 – Galeria de desvio provisório do Aproveitamento H. E. de Miranda. Progresso das escavações

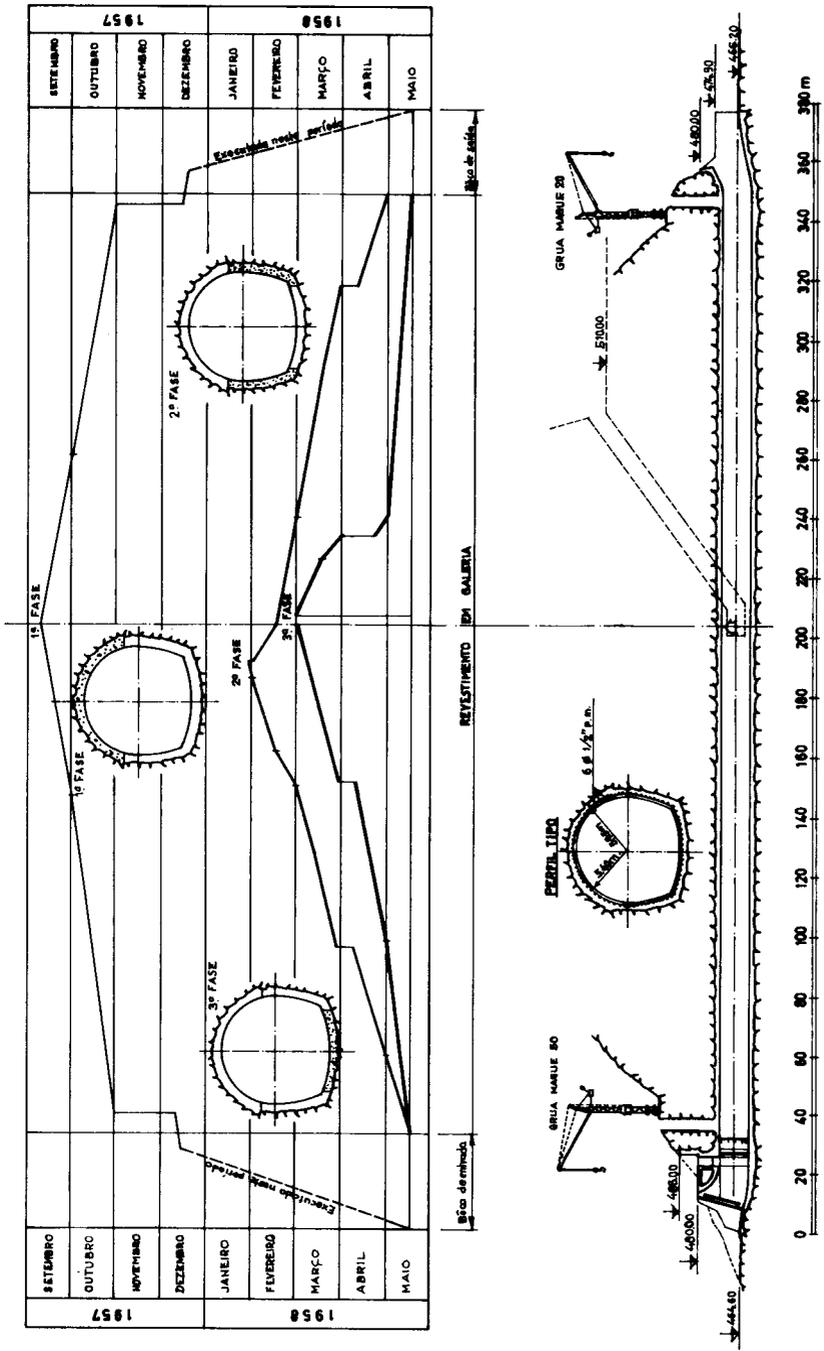


Fig. 4.2 - Galeria de desvio provisório do Aproveitamento H. E. de Miranda.
 Progresso das betonegens



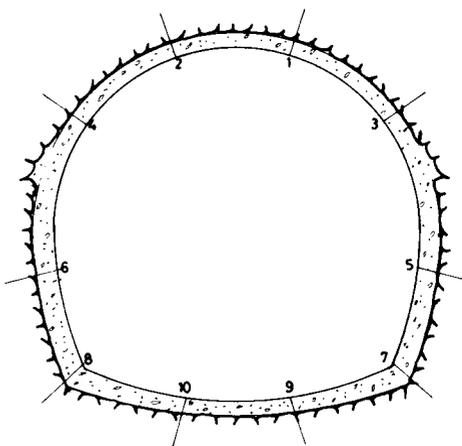
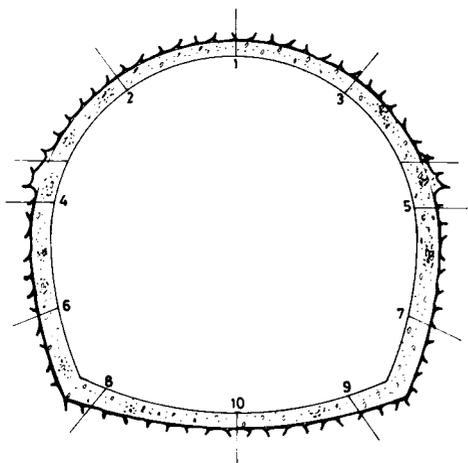
Fig. 4.3 – Galeria de derivação provisória de Miranda. Cofragem para betonagem dos hasteais

trabalho – cerca de 3,5 meses.

- 6) – *Betonagem da soleira.* Esta betonagem iniciou-se um mês após o começo da fase descrita em 5. Durou cerca de 2,5 meses. Rendimento médio de colocação do betão 4,2 m³/h.
- 7) – *Injecções.* Para preenchimento dos vazios entre o revestimento e o betão na zona da abóbada, de forma a estabelecer-se uma boa ligação entre o betão e a rocha e a consolidar a rocha abalada pelo fogo, executaram-se injecções de argamassa e de cimento segundo os esquemas da Fig. 4.4. Número de secções 108 (afastadas de 3 m).

PERFIL TIPO I

PERFIL TIPO II



PERFIL TIPO III

PERFIL TIPO IV

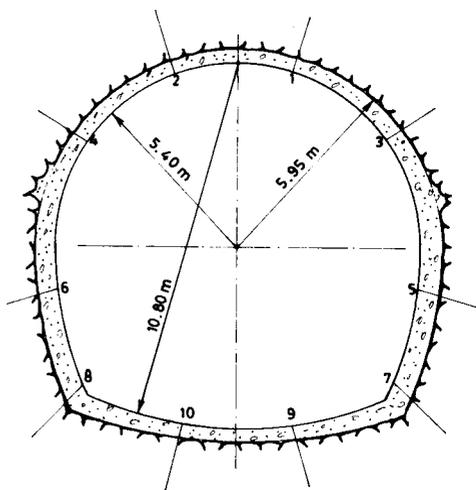
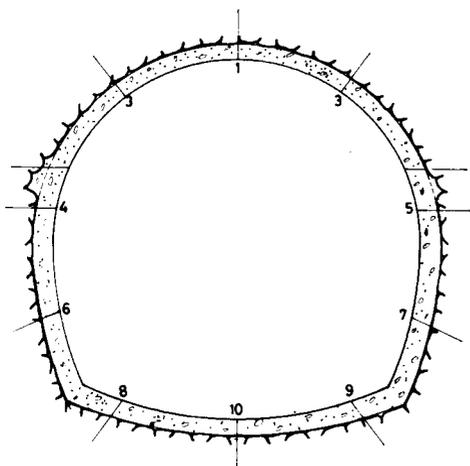


Fig. 4.4 – Galeria de desvio provisório do Aproveitamento Hidroeléctrico de Miranda.
Perfis-tipos para injeções

Comprimento total da furação 2362 m. Mão-de-obra específica na furação 0,89 h/m. Consumo específico de ar comprimido na furação 26,3 m³/m. Consumo específico de cimento nas injeções: abóbada 111 kg/m²; hasteais 2,4 kg/m²; soleira 0,23 kg/m². Mão-de-obra por tonelada de cimento 7,6 h. Materiais gastos nas injeções: cimento 370 ton.; areia 47 ton.; ar comprimido 118730 m³. Para a realização das injeções empregou-se a estrutura tubular de que a Fig. 4.5 mostra um aspecto.

4.2.4 – Tipos dos principais equipamentos de carga e transporte

- 2 “Skips” de 2 m³, com a capacidade de extracção de 18 m³/h, instalados nas rampas a 70%.
- 2 guas MAGUE 20 sobre torre em poços abertos próximo das bocas da galeria.
- pás ATLAS LM 100 e vagonetas de 1 m³ na galeria de avanço, nas fases 1 e 2 e em parte da galeria na fase 4.
- pás EIMCO 105 e camions Euclid de 13 ton. em parte da galeria na fase 4.



Fig. 4.5 – Galeria de derivação provisória de Miranda. Estrutura tubular auxiliar das injeções da abóbada

4.3 – Galeria de derivação do aproveitamento hidroeléctrico de Bemposta (*)

Esta galeria foi aberta em xistos. O comprimento da parte escavada em galeria foi de cerca de 303 m e a altura da galeria, em escavação, 11,5 m.

A escavação e betonagem foram realizadas entre Maio de 1960 e Junho de 1961. Na Fig. 5 representam-se os progressos dos trabalhos. A escavação foi feita, praticamente, em 3 fases intercaladas com as betonagens, onde as houve. Uma zona em que a rocha se encontrava em más condições escavou-se em secção reduzida, entivou-se e ficou por alargar durante algum tempo, mas o trabalho na parte restante foi prosseguindo.

Nem toda a galeria foi revestida de betão. Houve troços onde o estado da rocha o não exigiu. Outros houve em que se considerou suficiente para a estabilização, a gunite. Assim se fez em grande parte da zona de montante. Nessa consideração teve influência o facto de se verificar um certo atraso nos trabalhos e ser necessário simplificá-los de modo a não se protelar o desvio das águas e, conseqüentemente, a construção das ensecadeiras.

Quando do fecho da galeria com a comporta e antes da betonagem do rolhão (definitivo) essa zona foi submetida a pressões altas da água, mas a rocha comportou-se bem. Tivemos algumas apreensões.

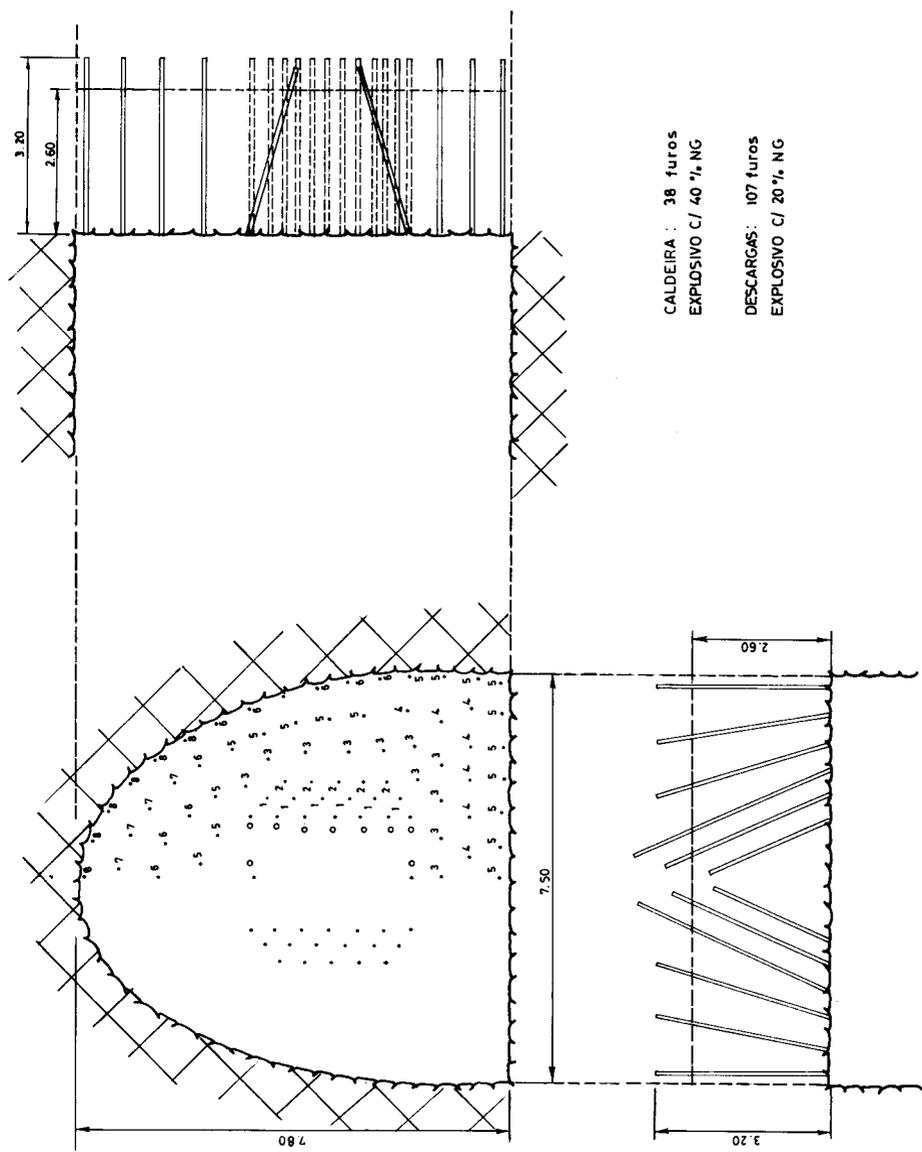
4.4 – Túnel da estrada de acesso à central hidroeléctrica (subterrânea) de Picote (Douro Internacional) (**)

O troço da estrada entre a plataforma da subestação de transformação (cota 480,00) e a do átrio de descarga das peças pesadas do equipamento da central de Picote, tem 590 m de desenvolvimento, dos quais dois troços com o comprimento total de 475 m em túnel. O maciço em que foram abertos é constituído por granito.

A secção corrente (Fig. 6) tinha a altura de cerca de 7,50 m, a largura de 7,50 e a área de 47,5 m². A escavação foi feita em secção total. A distribuição da furação vai indicada na Fig. 6, onde também se pode observar o número de furos (38+107=145). O comprimento médio dos furos foi 3,2 m e o avanço médio por pega 2,6 m. Deste modo, o comprimento de furação específico foi 3,77 m/m³.

(*) – Empreiteiro: Sopol, Lda.

(**) – Empreiteiros: Eteli - OPCA.



Para a perfuração, em que se utilizaram 7 martelos de 22 kg (tipo rápido (*)), injeção com água, coluna pneumática de avanço automático, barrenas tipo “coromant”, isto é, com pastilha de aço-tungsténio), empregou-se uma plataforma (estrutura tubular) montada sobre um camion “Euclid”.

Empregou-se explosivo de tipo plástico, com 40% de nitro-glicerina na caldeira e com 20% no restante. Aplicaram-se cápsulas detonadoras eléctricas de acção retardada (tempos 0 a 8).

4.5 – *Galerias de ataque às obras subterrâneas (central, condutas forçadas e canal de fuga) de Bemposta (Douro Internacional) (**)*

Em Bemposta as galerias de ataque às obras subterrâneas (central, conduta forçada, canal de fuga e poço de aço) apresentaram uma grande extensão e tiveram em vista possibilitar a remoção de, praticamente, todo o escombros para o exterior directamente por camions pesados, aumentando, pela independência que esses meios permitem, a garantia de cumprimento de prazos. Estas galerias foram projectadas pela H.E.D. e pretendeu-se que já estivessem abertas quando o empreiteiro principal começasse os trabalhos, de modo a ganhar-se tempo.

O comprimento total dessas galerias (Fig. 7) foi de cerca de 550 m e a sua secção permitia a passagem de camions basculantes pesados (tipo Euclid de 13 ton.) e a existência da conduta de ventilação.

O maciço em que se abriram as galerias era constituído por xistos. Não se encontraram dificuldades notáveis nas escavações.

4.6 – *Galeria das condutas forçadas da central hidroeléctrica de Bemposta (Douro Internacional) (***)*

Na Fig. 8 representam-se fases de escavações de galerias para as condutas forçadas da central, que era subterrânea. Essas galerias apresentam um pequeno troço horizontal e um troço inclinado. O comprimento total da galeria mais extensa é cerca de 100 m; o da galeria mais curta é cerca de 75 m. O diâmetro era de 8 m em escavação. No troço inclinado o facto de o ser influenciou

(*) – Tipo rápido para a altura: permitiam um avanço médio de 9 m/h em subterrâneo, enquanto que hoje o rendimento andarà por 18 m/h.

(**) – Empreiteiros: Alves e MAGOPEC.

(***) – Empreiteiro: MAGOPEC.

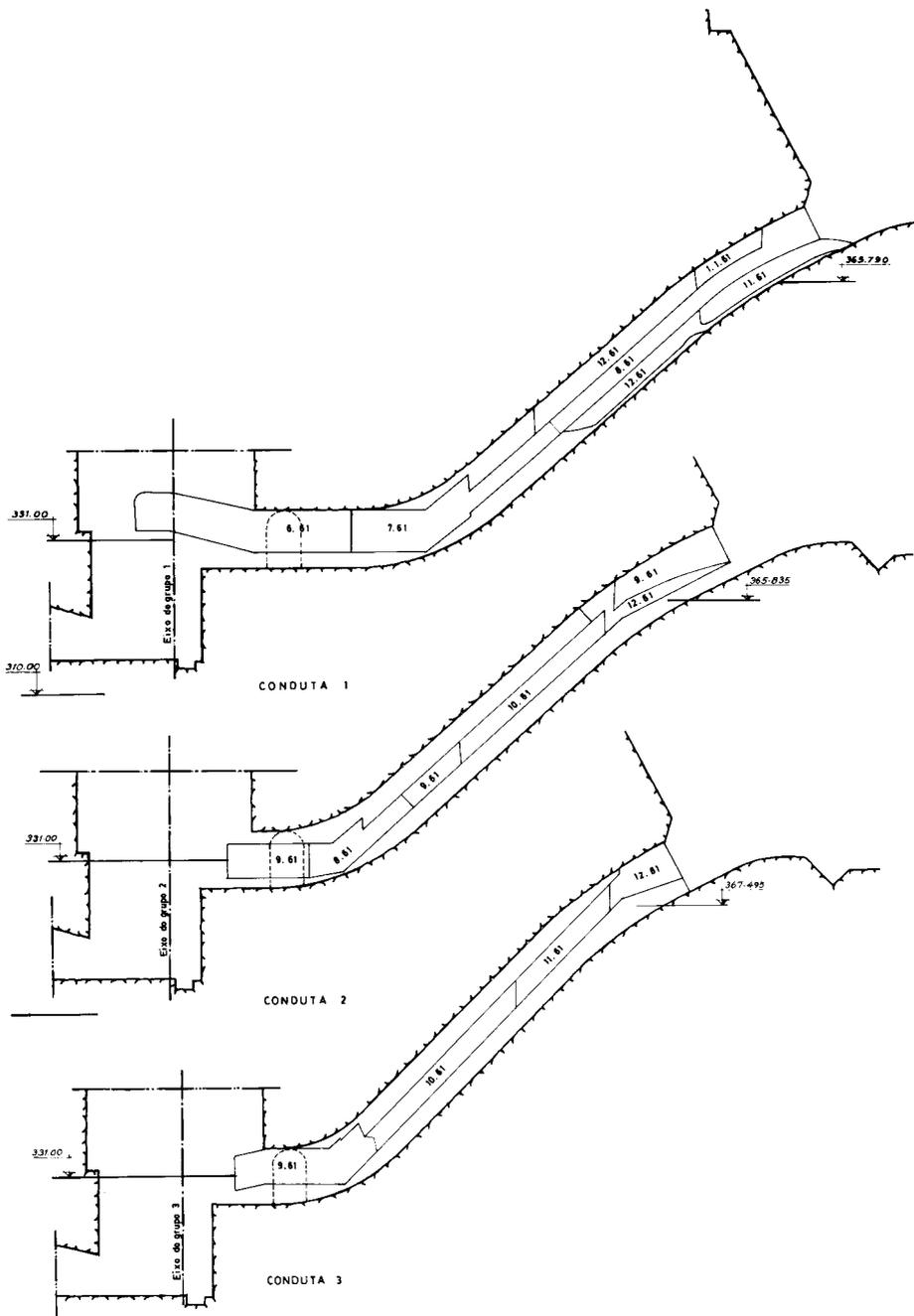


Fig. 8 – Galerias das Conduitas Forçadas da Central Hidroelétrica de Bemposta. Escavações até Dezembro de 1961.

o processo de escavação. Os escombros caíam na maioria para a base de galerias por gravidade. O alargamento da escavação a toda a secção foi feita de cima para baixo escorregando o escombro pela galeria de avanço.

Direi que há interesse no projecto dessas galerias ter presente a conveniência da inclinação permitir o escorregamento natural do escombro, o que por vezes não sucede.

Para se evitar a interferência das escavações destas galerias com as da central verificada em Picote e Miranda, abriu-se, a partir das galerias de acesso, uma outra (paralela ao eixo da central) que as interceptava na base e que ligava ao exterior.

Na abertura destas galerias, também num maciço de xisto, não se encontrou qualquer dificuldade especial.

4.7 – Galeria de derivação em carga do aproveitamento hidroeléctrico do Távora

4.7.1 – Esta galeria, com cerca de 15 km (Fig. 9.1) e secção circular de 3,3 m de diâmetro, foi aberta parte em xistos parte em granito (Fig. 9.2), entre 1959-1964.

Quando a H.E.D., a cujos quadros pertencíamos, tomou conta do aproveitamento do Távora já a construção desta galeria se tinha iniciado há muito.

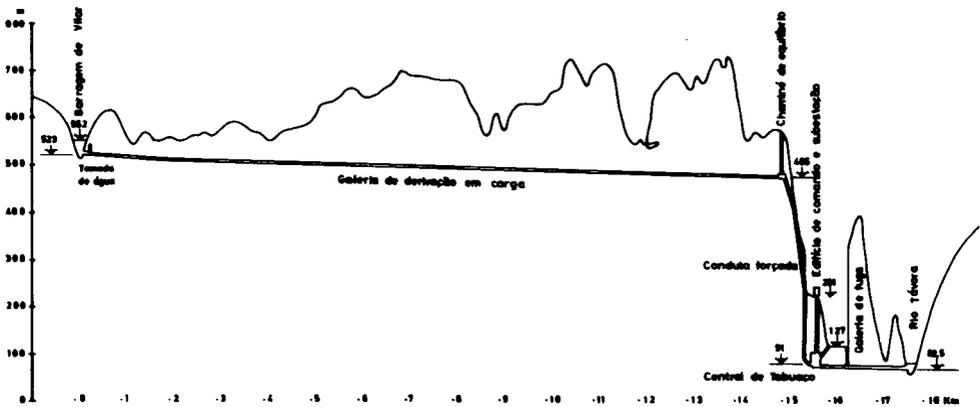


Fig. 9.1 – Aproveitamento Hidroeléctrico do Távora. Esquema geral de galerias

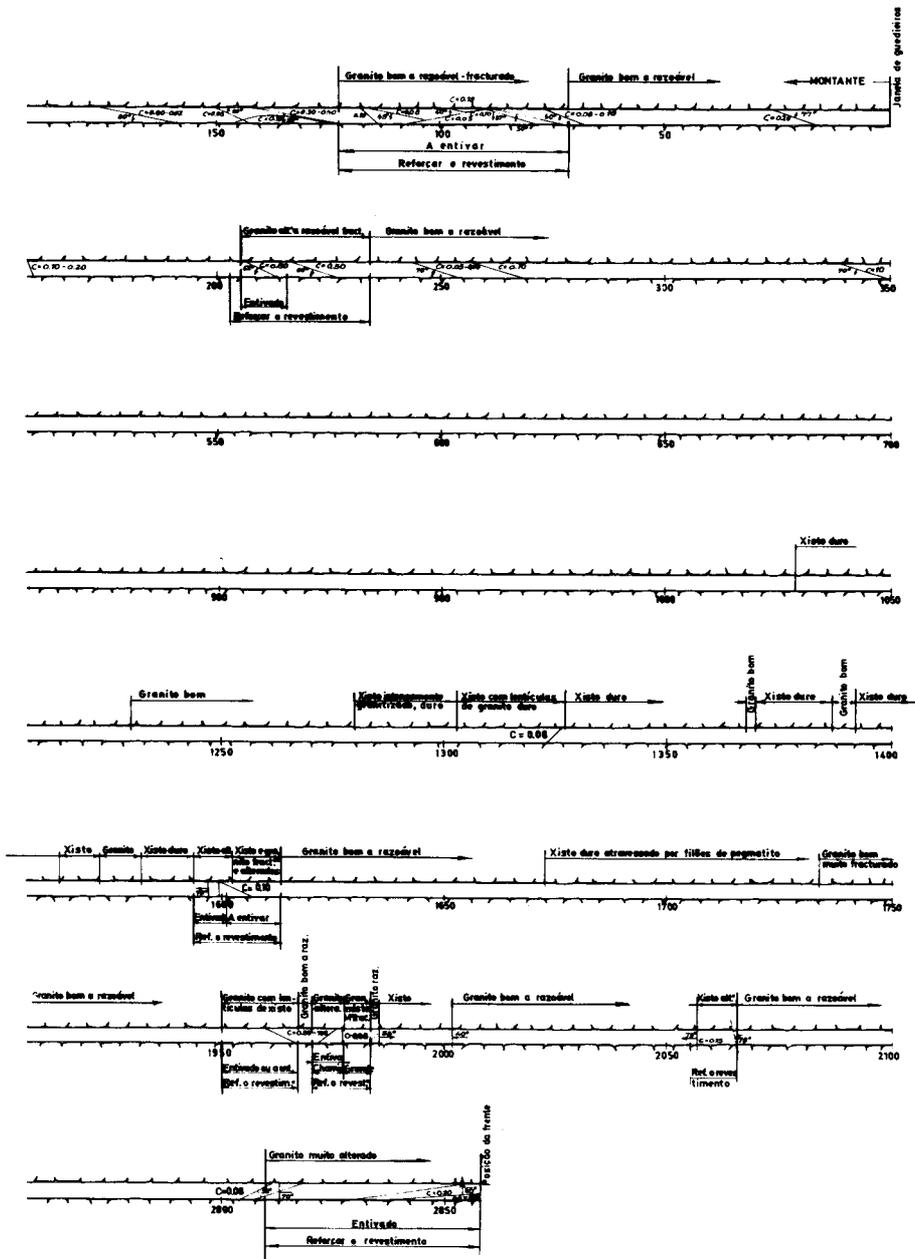


Fig. 9.2 – Túnel de derivação em carga do Aproveitamento Hidroeléctrico do Távora. Pormenor de “acidentes geológicos e natureza da rocha.” (parte do desenho n.º 10413 H.E.D.)

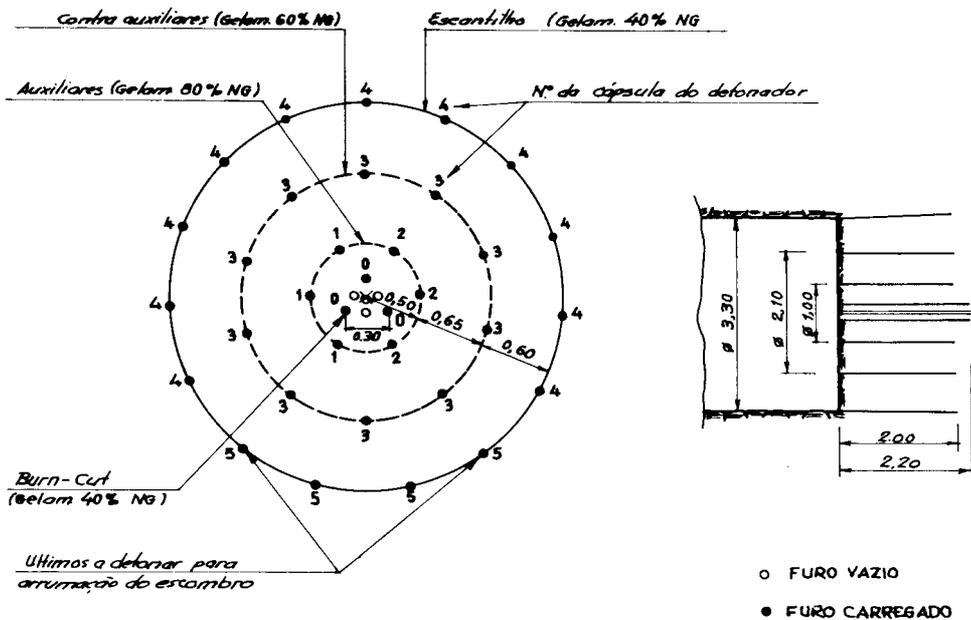


Fig. 9.4 – Aproveitamento Hidroeléctrico do Távora. Galeria em pressão. Esquema de furação para descalce em “Burn-Cut” ou “Fornilho”

Tentou-se um sistema de descalce em caldeira, Fig. 9.5 mas o avanço conseguido era inferior e o consumo de explosivo maior.

Nesse sistema o explosivo deve ser distribuído ao longo do furo – desde o fundo até à boca.

O outro empreiteiro (C. do Tâmega) aplicou de início o descalce da caldeira. Mais tarde passou também para o “burn cut”, mas com 35 furos por pega, em média, em vez de 38 furos que o outro empreiteiro utilizara.

Experimentou-se ainda um sistema “burn cut” em que, em vez do triângulo de furo central não carregado, se utilizava um só furo de 60 mm de diâmetro. A furação passou para 3 m e o avanço foi bom. Não se adoptou este sistema porque o tempo de duração total dum ciclo era menor que a dum turno (8 h) e maior que meio turno (4 h), não permitindo assim um bom aproveitamento do pessoal.

Com a rocha normal o avanço médio da escavação da galeria (diâmetro 3,3 m) foi de cerca 4,1 m/dia, com trabalho contínuo (3 turnos de 8 h) (*).

(*) – Hoje o rendimento médio seria, naturalmente, de 8 m/hora.

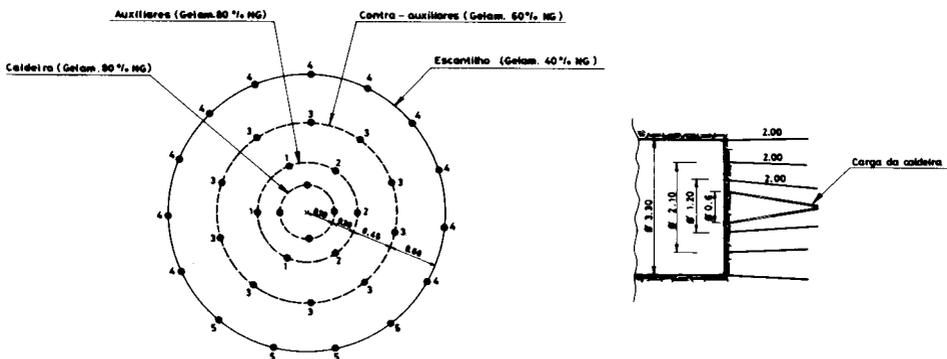


Fig. 9.5 – Aproveitamento Hidroeléctrico do Távora. Galeria de pressão. Esquema de furação para descalce em caldeira.

A quantidade de explosivo por pega variou entre 30 e 50 kg, conforme a qualidade da rocha.

Foi no troço Granjinha-montante onde se aplicaram as menores quantidades de explosivo.

Nota sobre “métodos de escavação controlada” (“controled blasting Methods”)

Como já se referiu, estes métodos empregam-se para reduzir as sobre-escavações e minimizar as tensões e a fracturação da rocha para além da linha de contorno da escavação teórica.

No chamado “line drilling” método (L.D.M.) os furos distribuem-se ao longo da linha de contorno teórica da escavação a curta distância uns dos outros e não são carregados. Forma-se, assim, uma superfície de reduzida resistência que a explosão dos furos carregados quebra facilmente.

Utilizámos este processo nas escavações da central de Bemposta em correspondência com as paredes.

Noutros métodos como o “smoth blasting” todos ou alguns dos furos do contorno são carregados mas ligeiramente e as cargas bem distribuídas ao longo do furo. A explosão dessas cargas ligeiras corta a rocha entre os furos permitindo assim maior espaçamento entre eles que no L.D.M. Em consequência, o custo furação-explosivo reduz-se e em muitos casos consegue-se um melhor controle sobre as escavações. Uma variedade é o “pré-splitting” (pré-corte), utilizado por nós nas escavações a céu aberto da central e eclusa do aproveitamento hidroeléctrico

da Régua (xistos grouvacóides e grauvaques) para se obterem taludes regulares, o que se conseguiu nitidamente.

4.7.2.3 – *Martelos*

Um dos empreiteiros empregou martelos rápidos que permitiam um rendimento instantâneo de 50m/hora. O rendimento instantâneo dos martelos do outro era de 30cm/min. (18 m/hora). O diâmetro cortante do diâmetro dos primeiros martelos era menor.

4.7.3 – *Betonagem-Blindagens*

Foi previsto aplicar um revestimento de betão com a espessura de 25 cm, que, aliás, mesmo nas zonas normais acabou por ficar em média com a espessura de 50 cm. De facto, as pequenas espessuras não podem, em geral, cumprir-se pois são incompatíveis com as espessuras dos tubos dos “placys”.

Além de se não terem utilizado métodos de “line drilling” ou “smoth blasting” que evitam, ou diminuem muito, a probabilidade de sobre-escavações.

Em vários troços a rocha, quer o granito quer o xisto, apresentava-se bastante alterada e fracturada (des. 10413 HED – Fig. 9.2) exigindo, quando da escavação, uma entivação forte (Fig. 9.6).

Em certos desses troços em que a rocha era de má qualidade veio a aplicar-se um revestimento de betão armado e noutros uma blindagem de chapa de aço (espessura 9 mm [*]) cobrindo o revestimento de betão e a ele ligado por perfis metálicos $\left(\frac{L100 \times 50}{10}\right)$, espaçados de 70 cm, que simultaneamente davam a rigidez à chapa necessária contra as subpressões com a conduta vazia.

A entivação de madeira foi substituída por costelas metálicas em perfis I GREY, imediatamente antes da betonagem, (Fig. 9.6).

Relativamente às blindagens, nomeadamente ao critério da sua aplicação há que referir o seguinte:

Nas zonas em que os desmoronamentos da rocha modificaram o estado do maciço rochoso e criaram condições de intensa circulação de água, considerou-se conveniente a instalação de um revestimento estanque, o que se

(*) – Tensão de fluência 2400 kg/cm², módulo de elasticidade 2x10⁶ kg/cm², coeficiente de Poisson 0,25.

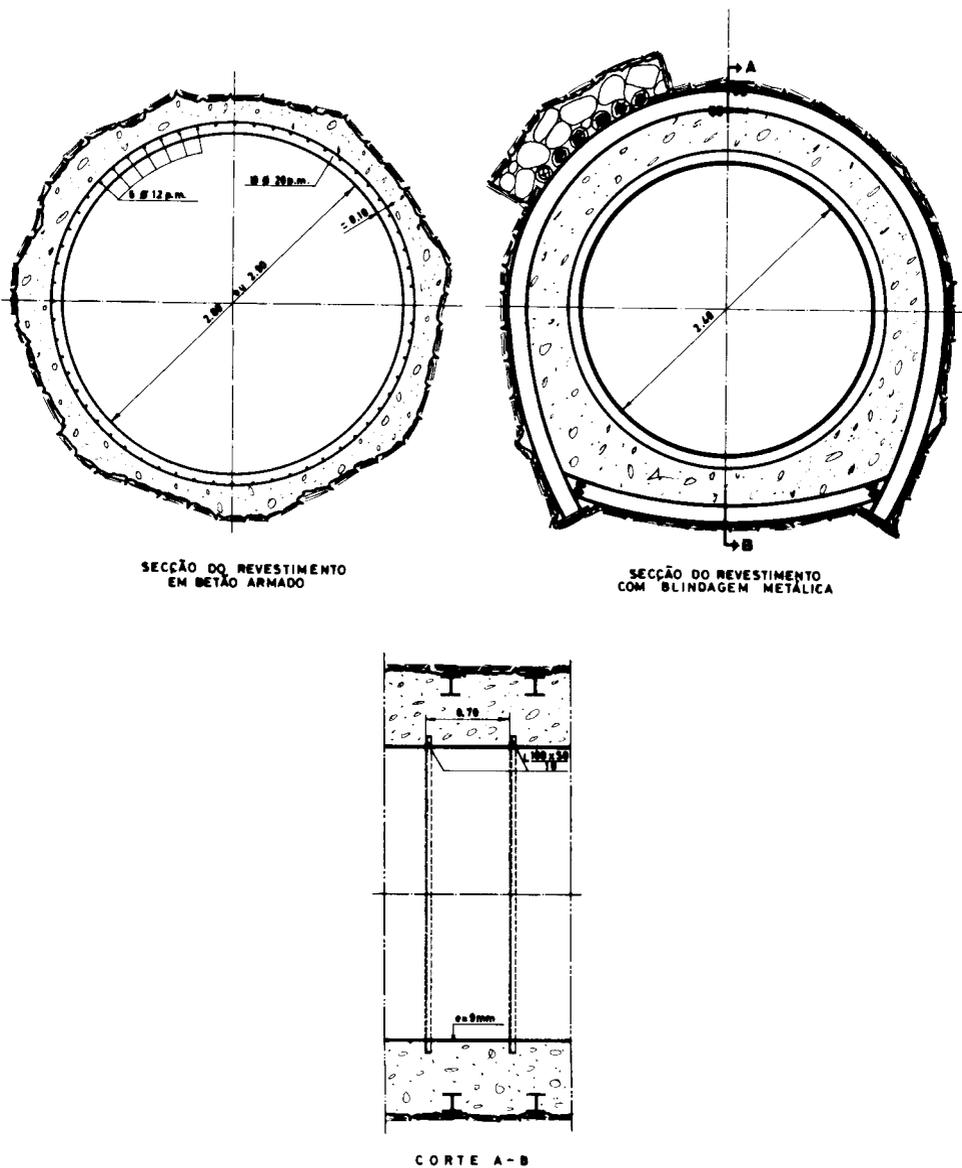


Fig. 9.6 – Galeria de derivação em carga do Aproveitamento Hidroeléctrico do Távora. Revestimentos de betão armado com blindagens metálicas em zonas em que o estado da rocha o exija.

conseguiu mediante uma blindagem metálica.

Nos troços de galeria em que se verificaram grandes desmoronamentos restabeleceu-se a continuidade da circulação à custa de costelas metálicas que deixavam apenas uma escassa folga relativamente à espessura teórica do revestimento. Esse facto e a necessidade de proceder no mais curto prazo a um revestimento de betão e haver uma camada mínima de betão envolvendo a blindagem, adoptou-se para esta o diâmetro interno de 2,4 m. Dada a pequena extensão total das blindagens a perda de carga é insignificante.

Nas zonas de rocha fissurada e com alguma alteração, mas onde as injecções podem contribuir economicamente para conseguir uma adequada impermeabilidade, empregou-se um revestimento de betão armado estabelecido de modo a não ser possível a manifestação de fissuras de grande abertura através das quais pudesse haver, no caso de falência local da eficácia das injecções, uma circulação interna de água que contribuisse para uma deterioração progressiva das condições do maciço rochoso.

Na betonagem dos revestimentos empregaram-se cofragens metálicas com a extensão de 60 m e executaram-se em média (por frente) 18 a 20 m/dia, ou seja, por semana (de 6 dias) 120 m.

Na soleira das zonas blindadas o betão foi do tipo “prepakt”.

4.8 – *Galeria de fuga do aproveitamento hidroeléctrico do Távora (*)*

Esta galeria de fuga do Távora com a extensão de 2 km foi aberta em xistos e granitos. Foi revestida com gunitite, ou seja, com argamassa projectada. Empregaram-se duas máquinas de gunitagem, tendo sido o rendimento de colocação de cerca de 6 m²/hora.

4.9 – *Execução numa zona de ruína na galeria de acesso à central subterrânea do Távora (*†)*

Na galeria de acesso à central do Távora verificou-se uma derrocada que

(*) – Dum relatório do Eng.º J. L. Vaz Patto.

(†) – Empreiteiro da gunitagem: Belo, Lda.

a obstruiu numa extensão de 10 m (Fig. 10.1) e partiu dois quadros de madeira de uma entivação existente nesse local, onde ocorria uma falha. O maciço rochoso era constituído por xisto duro, bastante diaclasado, apresentando algumas diaclases, enchimento argiloso.

Para desobstrução tentou-se, primeiramente, entivar por troços seguindo-se à entivação de cada troço, imediatamente a betonagem. Nesse sentido, betonou-se um primeiro anel com 4 m de extensão (Fig. 10.3) tendo-se primeiramente colocado 2 quadros de entivação (madeira) reforçado com vigas de ferro e carris com parte em avanço para protecção na extracção do escombros na zona vizinha. Essa extracção provocou, no entanto, outra derrocada que partiu o último quadro da entivação antiga e dobrou alguns carris e partiu outros.

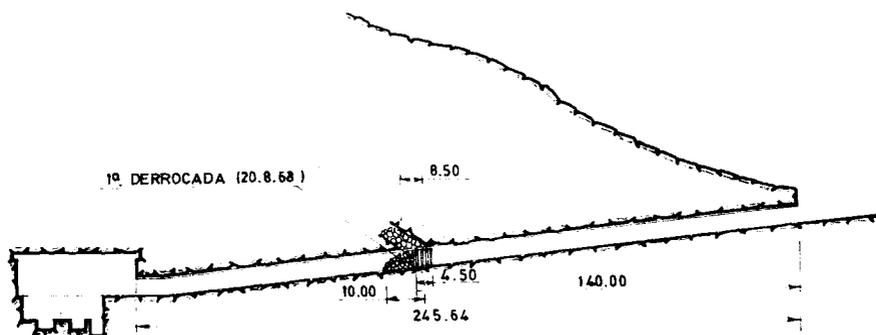


Fig.10. 1 — Galeria de acesso à central

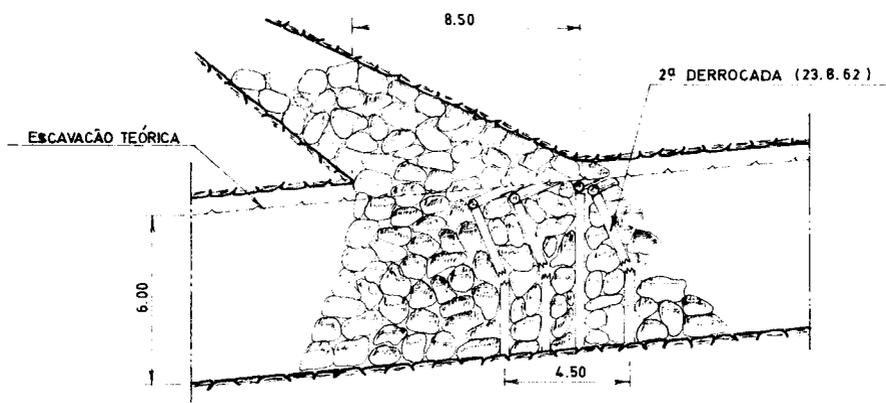


Fig.10. 2 — Ruína antes de começar os trabalhos de desobstrução

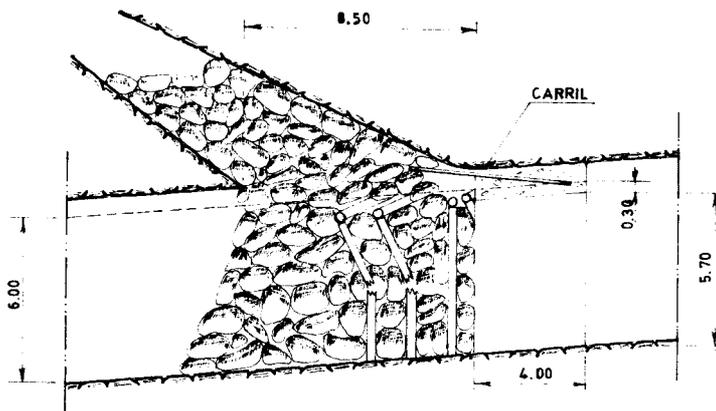


Fig.10-3 — Primeiro anel betonado

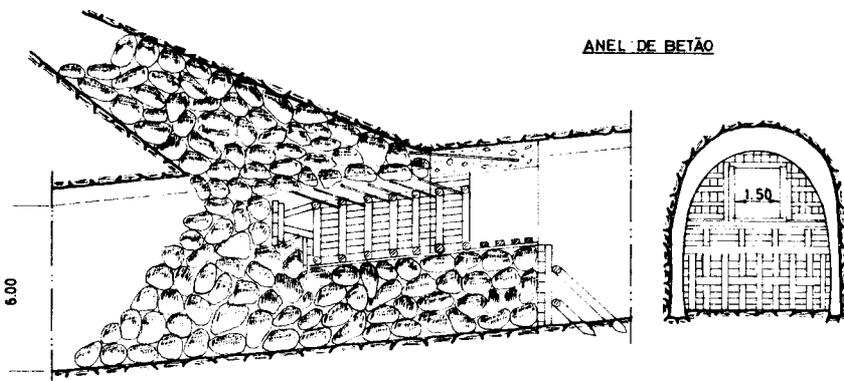


Fig.10-4 — Galeria de avanço de 1.5 m x 1.8 m

Abandonou-se, por isso, este processo e experimentou-se o que a seguir se descreve e que resultou bem.

Entaipou-se o escombro no topo do anel de betão até cerca de metade da altura da secção da galeria (Fig. 10.4) e, a essa cota, fez-se um patamar a partir do qual se abriu uma galeria de avanço com a secção de 1,5 x 1,5 m² sob a protecção de quadros fechados, em madeira (afastados de 0,9 cm) e de carris de avanço (Fig. 10.3). Quando a galeria atingiu o paramento oposto do escombro da ruína entaipou-se, nessa zona, o escombro até à soleira da galeria (Fig. 10.5). Deste modo, ficou contido o núcleo de escombro em que se apoiavam os quadros da galeria de avanço.

Antes de se proceder ao alargamento da secção acima da soleira da galeria (desanche) aguardaram-se uns dias de modo a aumentar a probabilidade do escombro, proveniente de novos desprendimentos, criar uma almofada que garantisse a formação de abóbada dentro da zona da falha.

A partir do topo do lado da central passou-se, então, ao desanche sob a protecção de costelas metálicas (Fig. 10.6) afastadas de cerca de 0,85 cm.

Essas costelas eram constituídas por perfis metálicos INP 14 (nas extremidades) e I GREY 14 (no centro). Para facilitar a montagem, as costelas eram constituídas por duas partes que se ligavam na zona do fecho com parafusos e soldadura. As suas bases apoiavam-se sobre toros de madeira (\varnothing 0,30 m) e eram apertadas contra estes por dois tirantes. Depois de montado o 5.º cimbra ou costela, estes

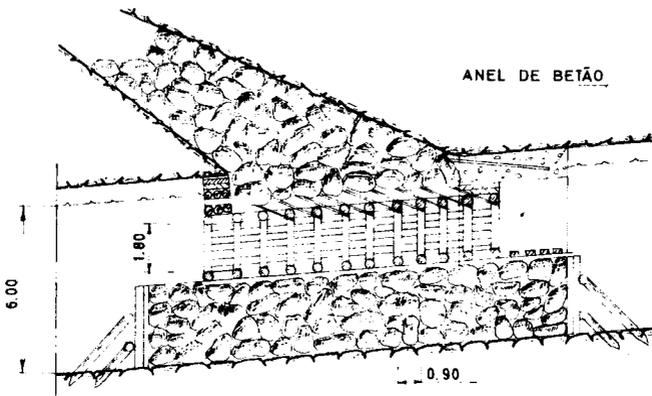


Fig.10 -5- Galeria de avanço de 1,5 x 1,8 m, concluída

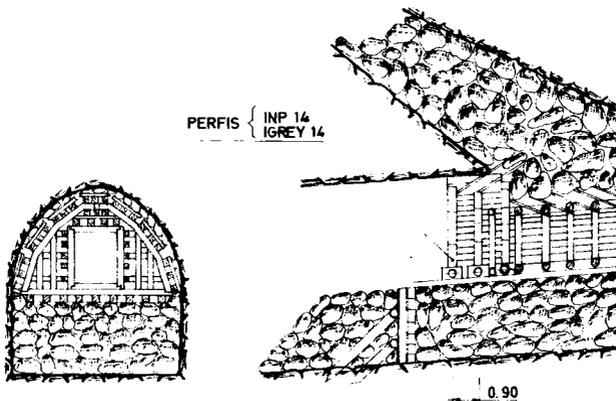


Fig.10 -6- Início da segunda galeria de avanço

começaram a encurvar mostrando que a secção dos perfis era insuficiente apesar de tarugados e atirantados entre si. Para seu reforço procedeu-se à betonagem do espaço entre as costelas, substituindo-se os tarugos de madeira colocados entre elas por outros de ferro visto ficarem embebidos no betão. Em sobreposição com a montagem das costelas procedeu-se à betonagem entre os cimbres anteriores mas deixando um intervalo livre de modo a possibilitar a colocação da madeira e carris de avanço.

Montado o último cimbra metálico, solidarizaram-se as bases de todos os cimbres (Fig. 10.7) soldando-lhes uma viga INP 14 disposta longitudinalmente. Esta viga envolveu-se, depois, com uma outra de betão armado com 1 m de altura e com a espessura de revestimento teórico que, tendo presente a retirada do escombro sobre que assentava, ficou apoiada em dois pilares (betonados em poços) e no anel de betão primeiramente betonado.

Pôde então proceder-se à betonagem da abóbada que se realizou em duas fases; a primeira em correspondência com os lados e a segunda com o fecho. Na zona do fecho, como o assentamento dos cimbres tivesse reduzido a espessura nalgumas zonas, empregou-se uma armadura dupla e betão “prepack”.

Betonada a abóbada, retirou-se o escombro que existia até cerca de meia altura e betonou-se o que restava dos hasteais entre pilares e vigas (Fig. 10.8).

Para uma conveniente drenagem deixaram-se barbacãs de $\varnothing 0,1$ m afastadas entre si de 2 metros.

O tratamento desta zona de ruína, necessariamente moroso, até por questões de segurança pessoal, levou cerca de 3,5 meses.

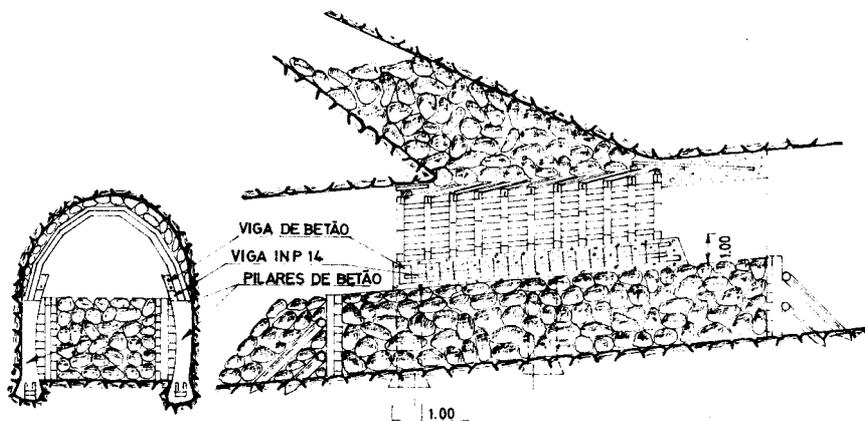


Fig.10. 7 — Vigas e pilares laterais

4.10 – *Túnel de desvio do caminho de ferro da Régua. Dificuldades devidas à mão-de-obra (*)*

O túnel da Régua, destinado à passagem do comboio cuja linha houve que desviar por interferência com a construção do aproveitamento, foi aberto num maciço constituído por grauvaques e xistos grauvacóides. A cerca de meia extensão do túnel ocorria uma falha com a rocha encaixante muito decomposta, o que, aliás, era assinalado por uma linha de água (Fig. 11). Os trabalhos (escavações, betonagens) nessa zona, não puderam prosseguir normalmente, como é natural. Dada a pequena cobertura rochosa relativamente ao tecto da abóbada considerou-se mais simples, mais económico, escavar essa zona a céu aberto, isto é, a partir do exterior, efectuar a betonagem do revestimento e, depois, cobrir o betão da abóbada com escombros para estabilização dos taludes de escavação.

A montante da “ruína” a betonagem da abóbada foi feita em anéis com a extensão de 5 m. O betão colocou-se com “placys” a ar comprimido de 250 l. e o rendimento de colocação foi de cerca de 2 m³/hora (volume dos anéis: 25 a 30 m³, tempo de colocação 12 h). A jusante, betonaram-se os anéis com a extensão de 10 m. Empregaram-se “placys” de 500 l, tendo sido o rendimento de colocação de 5,8 m³/hora (volume dos anéis: 70 m³, tempo de colocação 12 h).

O revestimento dos hasteais ficou descontínuo, em pilares.

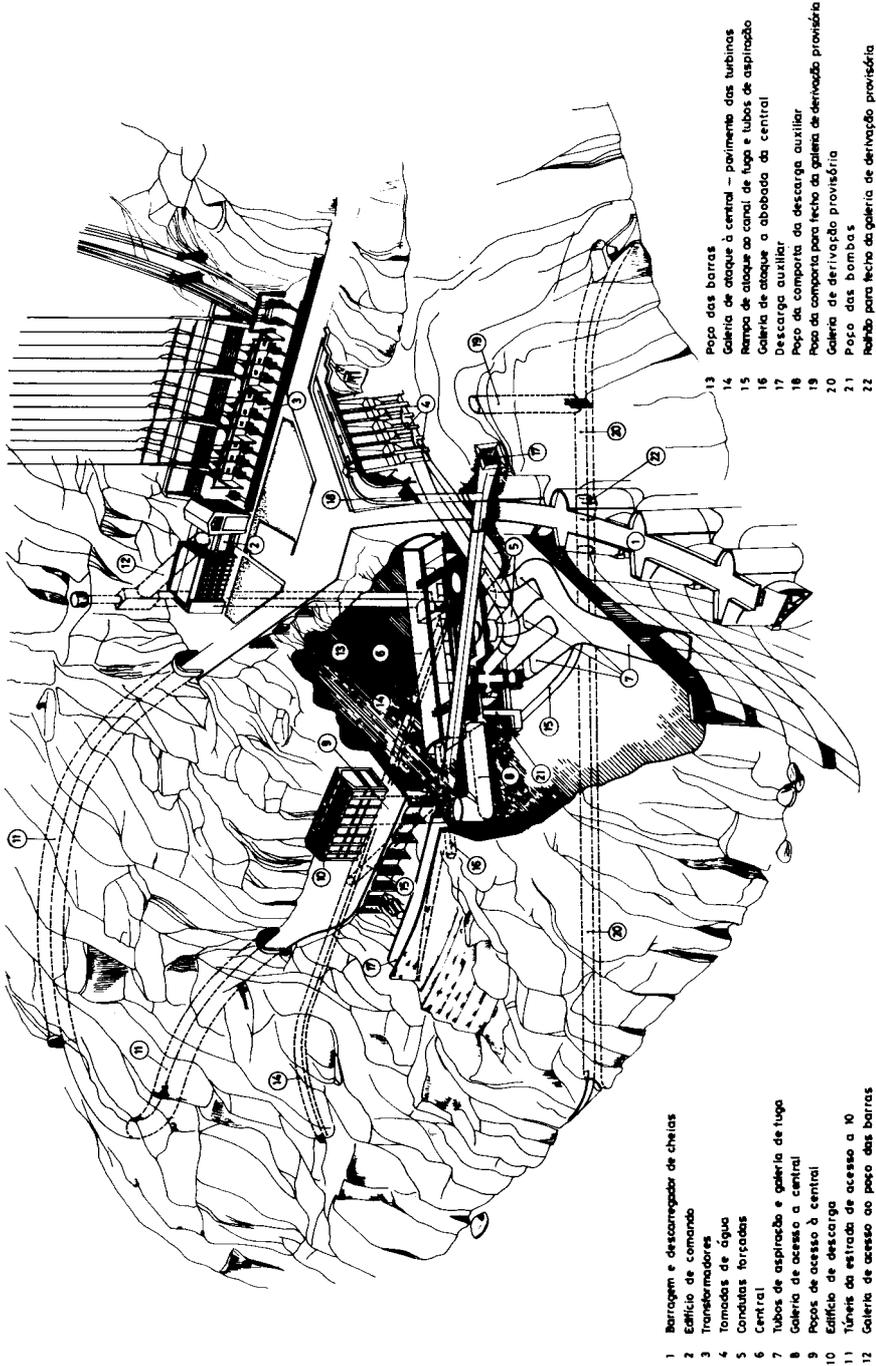
Nas proximidades da falha, em zona que ainda se escavou em túnel, o mau estado da rocha obrigou a grande entivação com costelas metálicas e algumas vigas de madeira. Houve dificuldades na betonagem do revestimento por essas costelas terem ficado fora do “gabarit” e, portanto, de ser deslocadas.

4.11 – *Notas sobre a construção da central subterrânea do aproveitamento hidroeléctrico de Picote (Douro Internacional) (**)*

Os principais elementos subterrâneos do aproveitamento hidroeléctrico de Picote são os seguintes (Fig. 12.1):

(*) – Empreiteiro: Mesquita & Filhos, Lda.

(**) – Produção de energia em ano médio: 1045 GWh. – “Les Travaux Souterrains des Aménagements Hydroélectriques de Picote et Miranda”. J. M. Oliveira Nunes, 7.º Congresso das Grandes Barragens. 1961.



- 1 Barragem e descarregador de cheias
- 2 Edifício de comando
- 3 Transformadores
- 4 Tomadas de água
- 5 Conduítes forçadas
- 6 Central
- 7 Tubos de aspiração e galeria de fuga
- 8 Galeria de acesso à central
- 9 Poços de acesso à central
- 10 Edifício de descarga
- 11 Túneis de entrada de acesso a 10
- 12 Galeria de acesso ao poço das barras

- 13 Poço das barras
- 14 Galeria de ataque à central — pavimento das turbinas
- 15 Rampa de ataque ao canal de fuga e tubos de aspiração
- 16 Galeria de ataque a abobada da central
- 17 Descarga auxiliar
- 18 Poço da comporta da descarga auxiliar
- 19 Poço da comporta para fecho da galeria de derivação provisória
- 20 Galeria de derivação provisória
- 21 Poço das bombas
- 22 Tábua para fecho da galeria de derivação provisória

Fig. 12.1 — Aproveitamento Hidroeléctrico de Picote (Douro Internacional)

4.11.1 – Elementos definitivos

- *caverna da central* – dimensões gerais em escavação 80x20x40m³
- *condutas forçadas (3)* – comprimento médio de 90 m e o diâmetro em escavação de 7 m
- *difusores e canal de fuga* – dimensões da maior secção 13x16 m
- *poço de acesso do equipamento* – secção elíptica com eixos de 8,9 e 6,1 m, e 30 m de altura
- *poço das barras e acesso de pessoal* – secção de 6x6m² e altura de 80 m
- *galeria da descarga auxiliar* – extensão de 96 m e diâmetro de 6,6 m
- *galerias ligando os poços de acesso e das barras à central e o poço das barras ao exterior*
- *galeria de derivação provisória* – comprimento, cerca de 300 m e raio característico de 12 m
- *galerias de estradas e pista*

4.11.2 – Galerias auxiliares de ataque

- *galeria de ataque ao núcleo da central e às condutas forçadas* – comprimento de 200 m, secção 4,2x4,7m², inclinação em 1.^a fase 9%, em 2.^a fase 18%. Permitia a circulação de camions basculantes pesados tipo Euclid de 13 toneladas
- *galeria de ataque à zona da abóbada da central* – o nível permitia o trânsito de “dumpers Muir Hill” de 3 m³
- *galeria de ataque à zona interna do canal de fuga* (entre a galeria de derivação e a caverna da central), inclinação de 30%; equipada com vagonetas puxadas por guincho

4.11.3 – Notas gerais sobre o sistema de construção e programação

O programa e a estratégia de ataque ao complexo das obras subterrâneas foram condicionados pela relação física e funcional desses elementos entre si, pelas suas dimensões, pelas características da rocha, pela topografia do local (especialmente pela situação dos diversos elementos em relação à superfície do terreno), em certos casos, como o que estamos tratando, pelo regímen hidrológico do rio, pelo tempo global fixado para a construção, pelos meios de acção disponíveis, pela construção de outros elementos complementares do aproveitamento (sendo o mais importante a barragem), pela montagem do equipamento electromecânico

e pela economia.

Um programa de construção resulta, geralmente, dum compromisso entre o tempo mínimo praticamente possível em face dos melhores rendimentos que a técnica permita, a economia e a oportunidade da entrada em serviço do aproveitamento, definida pela planificação hidroeléctrica.

O ataque às obras subterrâneas faz-se, quer através dos elementos que contactem directamente com o exterior, quer através de elementos que tenham de ser constituídos propositadamente para esse fim – poços ou galerias.

Em virtude das suas dimensões relativas, os elementos dominantes na programação foram a central (onde acrescia a montagem do equipamento) e o canal de fuga, parte do qual só pode ser executado na fase final, fechada a galeria de desvio pela qual era interceptado.

Como condicionamentos gerais do programa havia a considerar:

- início das obras de derivação provisória em Maio de 1954.
- início das obras principais (barragem, central, etc.) em princípios de 1955.
- rodagem do primeiro grupo gerador em Novembro de 1957.
- conclusão das escavações da central e início da betonagem das estruturas do primeiro grupo nos fins de 1956, época do início da montagem do primeiro grupo.

4.11.4 – *Execução da abóbada da caverna da central*

4.11.4.1 – A escavação da caverna começou pela zona da abóbada, de modo a tê-la consolidada com revestimento de betão antes da escavação do núcleo.

Em Picote, a formação rochosa onde foi aberta a central, era constituída por granito são, duma maneira geral, com excepção da zona vizinha de duas falhas onde se apresentava alterado.

Também, num ou noutro local da abóbada, a sua estrutura era desfavorável – uma família de diaclases dispunha-se horizontalmente, as outras duas famílias, verticalmente, e as diaclases encontraram-se abertas favorecendo a queda de blocos das escavações. Paralelamente à parede de montante da central, a cerca de 6 m, existiam fracturas, certamente em correspondência com a falha que limitava o maciço por montante definindo uma linha de água.

Deste modo, não foi possível prescindir de revestimento na abóbada, contrariamente ao verificado noutras cavernas de centrais abertas em granito (v. g. Aldeadávila, Douro).

A escavação da zona da abóbada passou pelas seguintes fases (Fig. 12.2):

- 1) – abertura de uma galeria disposta segundo o eixo da central.
- 2) – alargamento da escavação a toda a abóbada.
- 3) – abertura de duas trincheiras em correspondência com as vigas do betão da ponte rolante, que era suspensa da abóbada.

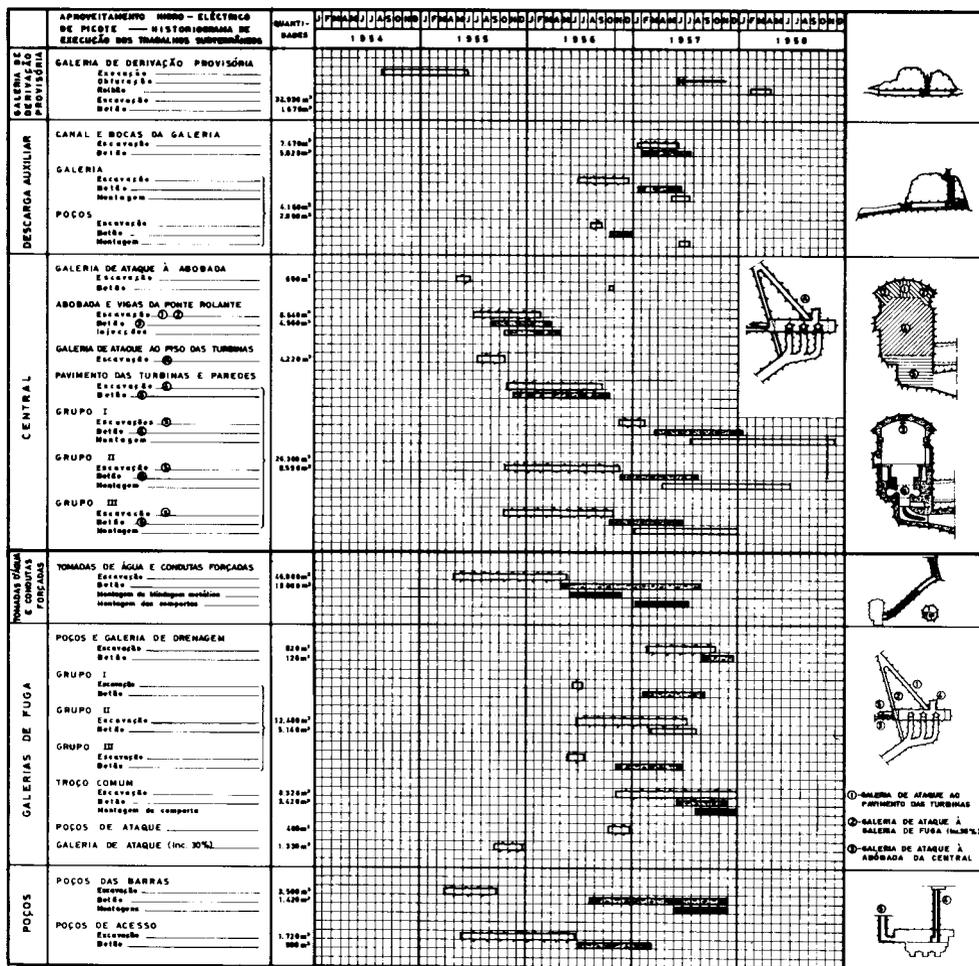


Fig. 12.2 – Aproveitamento Hidroeléctrico de Picote. Historiograma de execução dos trabalhos subterrâneos

4.11.4.2 – Entivações

Porque a estrutura da rocha o exigiu, à medida que a escavação prosseguia, ia-se entivando, na generalidade, com escoras e pranchas de madeira. Quando da betonagem, as peças de madeira eram retiradas e a rocha estroncada contra a cofragem com pedaços de tubos de aço que ficavam encorporados no betão.

4.11.4.3 – Escavação dos apoios da abóbada e sua consolidação

Em Picote foi muito difícil talhar, directamente na escavação, a superfície de apoio da abóbada. A rocha tendia a fracturar-se segundo planos paralelos aos das diaclases.

4.11.4.4 – Betonagem da abóbada

A betonagem da abóbada foi realizada por troços com a extensão (medida segundo o eixo da abóbada) de 2,40 m os primeiros, e 4,8 m os seguintes. Essa extensão dependia dos rendimentos de colocação, de modo ao betão colocado a cada momento, não contactar com outro que já tivesse começado a fazer presa. O volume do betão da abóbada e das vigas da ponte rolante foi de cerca de 4560 m³, sendo de 35% o correspondente a sobre-escavações.

Inicialmente o betão foi colocado com tapetes, depois com bomba de êmbolo, equipamento este que igualmente se empregou em Miranda. Com a bomba de êmbolo conseguiu-se um rendimento de colocação bastante maior.

Esse facto justificou o emprego desse meio embora exija um betão mais rico que os tapetes. E isso porque as dimensões da bomba e conduta limitam superiormente a dimensão máxima do agregado. Esse facto ligado à circunstância do betão ter de ser muito plástico exigiu maior proporção de areia (36% em vez de 32% para agregados artificiais com a dimensão máxima de 38 mm).

A granulometria do agregado (preparado a partir dos escombros das escavações-granito) foi:

19-38 mm	–	50%	
10-19 mm	–	30%	64%
5-10 mm	–	<u>20%</u>	
		100%	
1,19-5 mm	–	40%	
0,10-1,19 mm	–	50%	36%
0-0,015 mm	–	<u>10%</u>	
		100%	

Para se conseguir obter para o betão aos 28 dias a resistência pretendida – cerca de 260 kg/cm^2 em cubos de 20 cm de aresta, teve de empregar-se uma dosagem de cimento de 380 kg/m^3 . O cimento empregado apresentava aos 28 dias uma resistência à compressão (método de Rilem) de 300 kg/cm^2 .

Verificou-se ser aconselhável para a bomba um “slump” entre 6 e 8 cm .

Nalguns casos também se aplicaram na colocação do betão “placys” a ar comprimido. Então a proporção de areia podia baixar para 34% .

4.11.4.5 – Compactação na zona do fecho

As naturais dificuldades de compactação do betão na zona do fecho da abóbada resolveram-se em Picote, da seguinte forma (Fig. 12.3):

- 1) – inicialmente, operários deitados, compactavam perfeitamente uma camada de betão na extensão de 4 m para cada lado do eixo da abóbada e com a altura de $0,70 \text{ m}$ nessa secção. O betão acima dessa zona, colocado com tapetes, ficava deficientemente compactado.
- 2) – quando passaram a aplicar-se bombas de êmbolo colocava-se a cofragem a toda a altura na zona do fecho, deixando apenas um orifício para o tubo da bomba. O betão era impulsionado até a argamassa sair pelas juntas entre a cofragem e a rocha na parte mais alta.

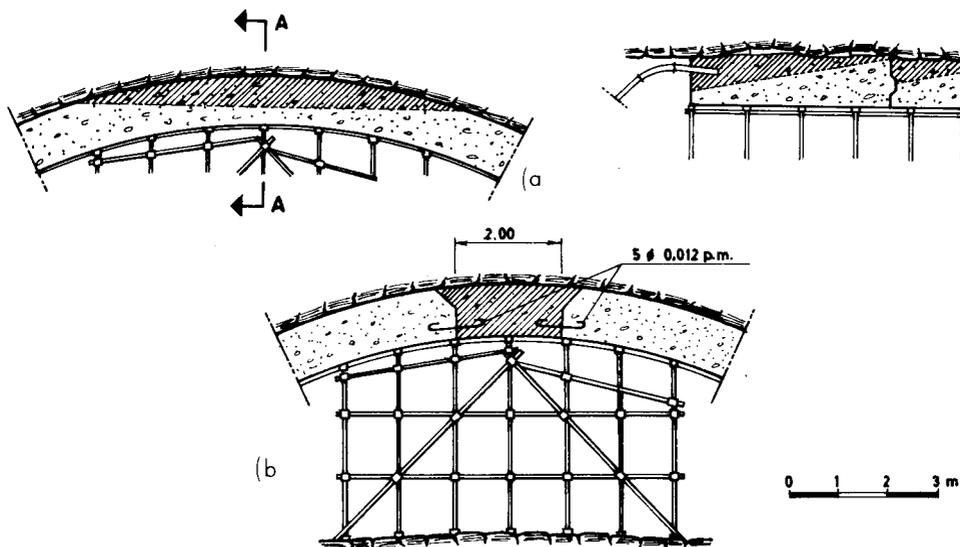


Fig. 12.3 – Compactação da zona do fecho do revestimento de betão da abóbada da central: a) Picote; b) Miranda

4.11.4.6 – Injecções

Após a betonagem, logo que se considerava o betão ter atingido a resistência suficiente para os anéis suportarem a pressão das injecções (2 kg/cm²) procedeu-se às injecções de enchimento dos vazios e de tratamento da rocha (preenchimento das diaclases).

Em Picote, nas injecções gastaram-se 160 ton. de cimento. A necessidade de se proceder com a maior brevidade às injecções era exigida pelo aproveitamento da plataforma de rocha para apoio da aparelhagem de injecção (misturadores, bombas, etc.), pois se tornava necessário iniciar o desmonte do núcleo da caverna a partir da extremidade oposta à entrada antes da conclusão da betonagem do revestimento, logo que a frente de betonagem se afastasse suficientemente.

4.11.4.7 – Execução do núcleo da caverna da central

4.11.4.7.1 – Escavações

Em sobreposição com os trabalhos da zona da abóbada (Histograma, Fig. 12.2) em Picote, abriram-se as galerias auxiliares de ataque ao núcleo da caverna e ao canal de fuga. A primeira ramificou-se já dentro da caverna (futura) em quatro galerias, três dirigidas às condutas forçadas, cujo ataque não podia esperar pela conclusão da escavação da caverna, e uma quarta em direcção ao topo da central.

A partir desta última abriu-se de baixo para cima um poço até se atingir a zona escavada da abóbada. Seguiu-se-lhe a ampliação da escavação a toda a largura da caverna, e avançou-se, depois, com a escavação longitudinalmente, com certo atraso nas paredes e mantendo uma certa distância relativamente à betonagem da abóbada.

Com o fim de aumentar o rendimento da escavação que estava atrasada relativamente ao programa inicial, logo que terminou a betonagem da abóbada criou-se uma outra frente de escavação a partir da galeria de ataque à abóbada (aberta a partir da margem), fazendo-se o desmonte em rampa (atitude defensável em condições de emergência).

Ainda a posição dos trabalhos levou a alterar a ideia inicial que era de abaixo da cota (396) (onde acabava a parte da caverna a escavar em toda a extensão) escavar em poço, extraíndo-se o escombro com graus. De facto, em face dos maiores rendimentos que se obtêm carregando directamente o escombro em camions basculantes (tipo Euclid) com pás mecânicas (tipo EIMCO 105) abandonou-se a ideia referida acima. Para isso, rebaixou-se a parte final da soleira

da galeria de ataque ao núcleo (mantendo uma inclinação permitindo a circulação de camions) e estabeleceu-se uma trincheira junto à parede de montante da central.

Apenas se escavou um poço a parte correspondente aos difusores, tendo sido o respectivo escombros evacuado pela galeria de ataque dos canais de fuga.

A rocha não apresentou, de modo geral, qualquer dificuldade às escavações do núcleo, isto é, não exigiu grandes precauções generalizadas com receio de abatimento. Só houve necessidade, durante as escavações, de cozer com ancoragens um ou outro bloco das paredes que mostravam sinais de instabilidade.

O rendimento da escavação do núcleo foi em grande parte condicionado pela extracção do escombros, principalmente pela manobra e carga dos camions, que só se fez mais à vontade quando a caverna se encontrou escavada em grande parte. É difícil, nas condições verificadas, extrair-se mais de 6 camions de 13 toneladas por hora estes, com 70 a 80% de aproveitamento.

4.11.4.7.2 – *Estabilização das paredes com ancoragens*

Embora a rocha se mostrasse aparentemente estável, pelo menos a curto prazo, fez-se uma consolidação com ancoragens da zona subjacente às vigas da ponte rolante e apoios da abóbada e de toda a parede de montante da central, paralelamente à qual se verificava a circunstância, como se referiu já, da ocorrência de fracturas dela afastadas cerca de 6 m. Essa precaução era necessária até por não existir revestimento contínuo da rocha com betão.

Empregaram-se 1423 ancoragens, dispostas em quincôncio e espaçadas entre si de 1 metro. Dessas ancoragens 673 tinham 3 m de comprimento e 16 mm de diâmetro. O diâmetro das restantes foi de 25 mm, tendo 437 o comprimento de 5 m, 307 o comprimento entre 5 e 10 m e 6 ancoragens de comprimento superior a 10 m. Todas as ancoragens eram munidas de cabeças expansivas tipo “RAW BOLT” e foram pré-tendidas e envolvidas em calda de cimento “portland” normal. Com vista à durabilidade das ancoragens deveria o cimento ter sido pozolânico. Actualmente, algumas ancoragens apresentam as chapas e porcas parcialmente comidas pela ferrugem, e alguns dos furos deixam passar água, servem de drenos. É uma situação a procurar remediar.

4.11.4.7.3 – *Comportamento da estrutura*

Através de extensómetros deixados embebidos no revestimento da abóbada, verificou-se a ocorrência de tensões de compressão extraordinariamente elevadas, de valor superior à carga de rotura de provetes carregados uniaxialmente.

É, certamente, o carácter biaxial da carga que permite o betão suportar tais tensões sem rotura.

4.12 – *Notas da construção da central subterrânea de Miranda (Douro Internacional (*)*

4.12.1 – Os principais elementos subterrâneos do aproveitamento hidroeléctrico de Miranda foram os seguintes (Fig. 13.1):

Elementos definitivos

- *central em caverna* (80 m de comprimento, 19,6 m de largura, 42,7 m de altura máxima de escavação)
- *poços de acesso e das barras*
- *galeria de acesso*
- *galerias das comportas ensecadeiras*
- *condutas forçadas*
- *galerias de fuga (3)*

Elementos para ataque das obras subterrâneas

- *galeria de ataque à zona da abóbada da central (secção e inclinação permitindo a circulação de camions pesados, tipo Euclid, de 13 ton.)*
- *galeria de ataque ao núcleo da caverna (com as características da anterior)*
- *galeria com a inclinação de 70%, equipada com 2 Skips com vagonetas de 2 m³. Serviu na construção da galeria de derivação provisória e da central e constitui um meio permanente de acesso a esta em caso de emergência*
- *galeria (à cota 465) ligando a anterior à central*
- *poços (44 m) equipados com Skips (rendimento médio diário – 300 m³) para ataque dos canais de fuga*
- *poço (44 m de altura) para acesso do pessoal aos canais de fuga durante a construção*

4.12.2 – *Características do maciço rochoso*

O maciço rochoso, onde foi aberta a central, é formado, principalmente, por micaxistos gneíssicos atravessados por numerosos filões de granito. Pelas

(*) – Produção de energia em ano médio: 890 GWh. – “Les Travaux Souterrains des Aménagements Hydroélectriques de Picote e Miranda.

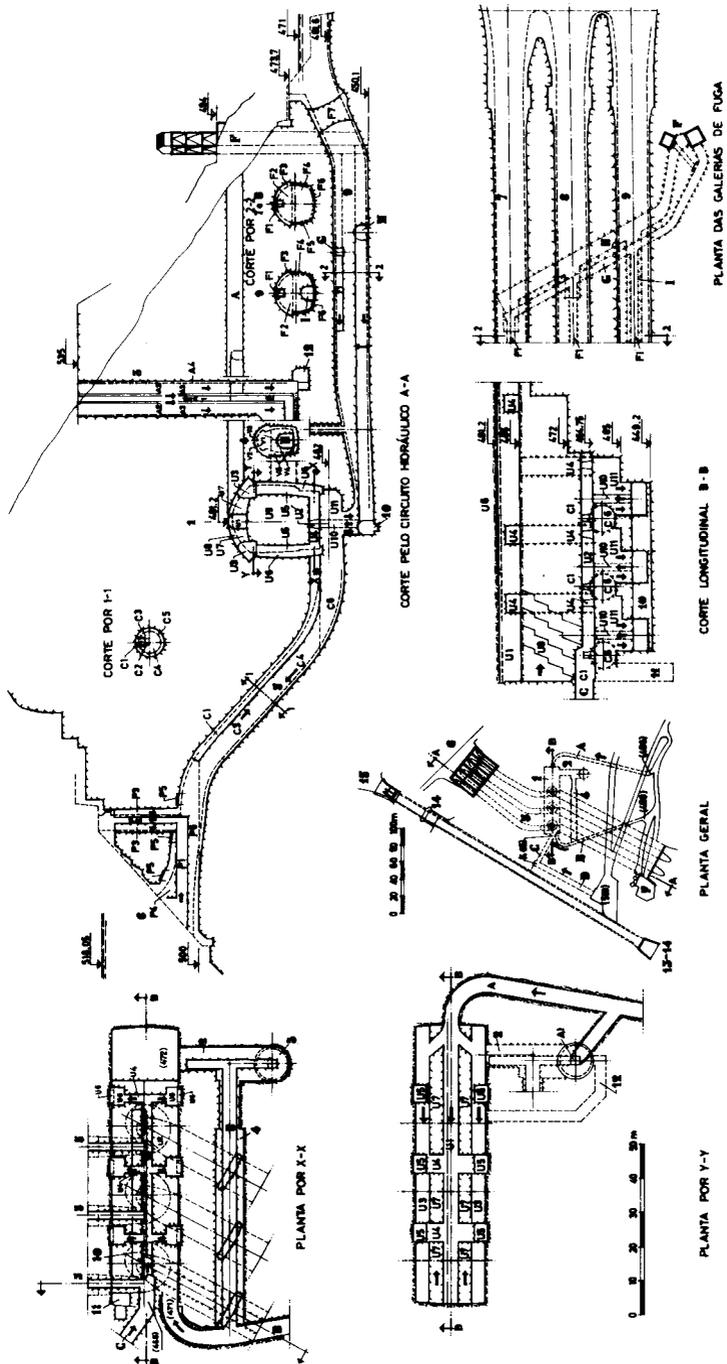


Fig. 13.1 – Aproveitamento Hidroeléctrico de Miranda. Esquema de execução dos elementos subterrâneos.

frequentes intercepções resulta um grande número de contactos entre xistos e granitos onde as rochas se apresentam, ora bem ligadas, ora separadas e com sinais de movimento ao longo das suas superfícies.

As obras subterrâneas de Miranda foram, assim, as primeiras de grande extensão (exceptuando galerias) a serem realizadas em Portugal.

4.12.3 – *Execução da zona da abóbada da central*

4.12.3.1 – *Nota geral*

O ataque da caverna de Miranda foi análogo ao seguido em Picote. Começou pela escavação da zona da abóbada a que se seguiu a betonagem do revestimento. Em sobreposição com a escavação da abóbada abriram-se os poços (a partir da galeria à cota 465) correspondentes a uns pilares de contraventamento das paredes que se tinha decidido realizar, em face da natureza da rocha, em antecedência sobre a escavação do núcleo. Esses poços foram betonados logo que a escavação da zona da abóbada o permitiu de modo que quando da betonagem da correspondente parte da abóbada os atingisse estivessem já executados.

4.12.3.2 – *Compactação do betão na zona de fecho*

Em Miranda, criaram-se duas juntas de trabalho normais à linha de pressões da abóbada, na zona do fecho, afastadas de 2 m entre si. Desde as nascenças até às juntas, o betão era bem compactado por vibração. Entre as juntas, o betão era apertado pela bomba (Fig. 12.2). Nas juntas dispuseram-se 5 barras de 12 mm por metro linear.

Na criação destas juntas teve-se presente que não sendo elas criadas artificialmente apareceriam naturalmente por contracção do betão, especialmente quando colocado com bomba, contracção, nesse caso, inevitável devido à grande quantidade de argamassa que esse processo exige.

4.12.3.3 – *Estabilização da abóbada na escavação geral*

Para estabilização da zona da abóbada, quando da escavação, empregaram-se costelas metálicas em perfis INP 200 e, nalgumas zonas, ancoragens simples, seladas com argamassa umas e outras não. As costelas foram retiradas antes da betonagem mas possivelmente seria melhor tê-las deixado ficar.

Ainda mais difícil do que em Picote (granito) foi em Miranda o corte

das superfícies de apoio da abóbada de betão. Duma maneira geral não se conseguiu directamente com a escavação obter essas superfícies – a rocha quebrava segundo as suas tendências naturais e houve que reconstruir os apoios com betão armado.

Para a estabilização do maciço dos encontros da abóbada de betão, efectuou-se uma pregagem generalizada com 3 fiadas de ancoragens com diâmetro de 25 mm e comprimento de 4,5 m, seladas com argamassa de cimento e dispostas em quincôncio de 1 metro de lado. Teve-se presente a subsequente escavação do núcleo da central não descalçar a abóbada.

4.12.3.4 – *Injecções na abóbada*

Os furos para as injecções de enchimento dos vazios entre a rocha e o betão e tratamento da rocha em número de 157, dispuseram-se em fiadas afastadas de 2,2 m e em quincôncio.

Nas injecções gastaram-se 48,6 ton. de cimento e 3,6 ton. de areia.

4.12.4 – *Execução do núcleo da caverna de Miranda*

4.12.4.1 – *Nota geral*

A escavação do núcleo incluiu a abertura dum poço (como em Picote) no topo da central oposto à galeria de acesso à zona da abóbada.

Embora a rocha não estivesse alterada, a sua constituição e estrutura obrigaram a grande cuidado com a escavação, de modo a evitar instabilizações da rocha o que impediu a continuidade na escavação e limitou o rendimento.

Inicialmente alternaram-se as escavações com betonagens de troços das paredes, deixando-se por escavar contrafortes de rocha, com vista à estabilização dos maciços.

Mas, mais tarde (depois de uma visita à Suécia onde se sentiu a grande potencialidade da acção das ancoragens na estabilização de rocha deste tipo) aplicaram-se ancoragens com grande generalidade à medida que se ia escavando, seguindo-se a betonagem das paredes sem condicionamento da escavação. O emprego das ancoragens veio a revelar-se muito eficaz. Todas as paredes ficaram revestidas de betão.

A durabilidade das ancoragens é outro problema a ter em atenção em certo tipo de rochas, quando a sua função não seja provisória. Na altura, aplicou-se, na sua selagem, argamassa de cimento “portland” que não é a mais conveniente, como se concluiu mais tarde.

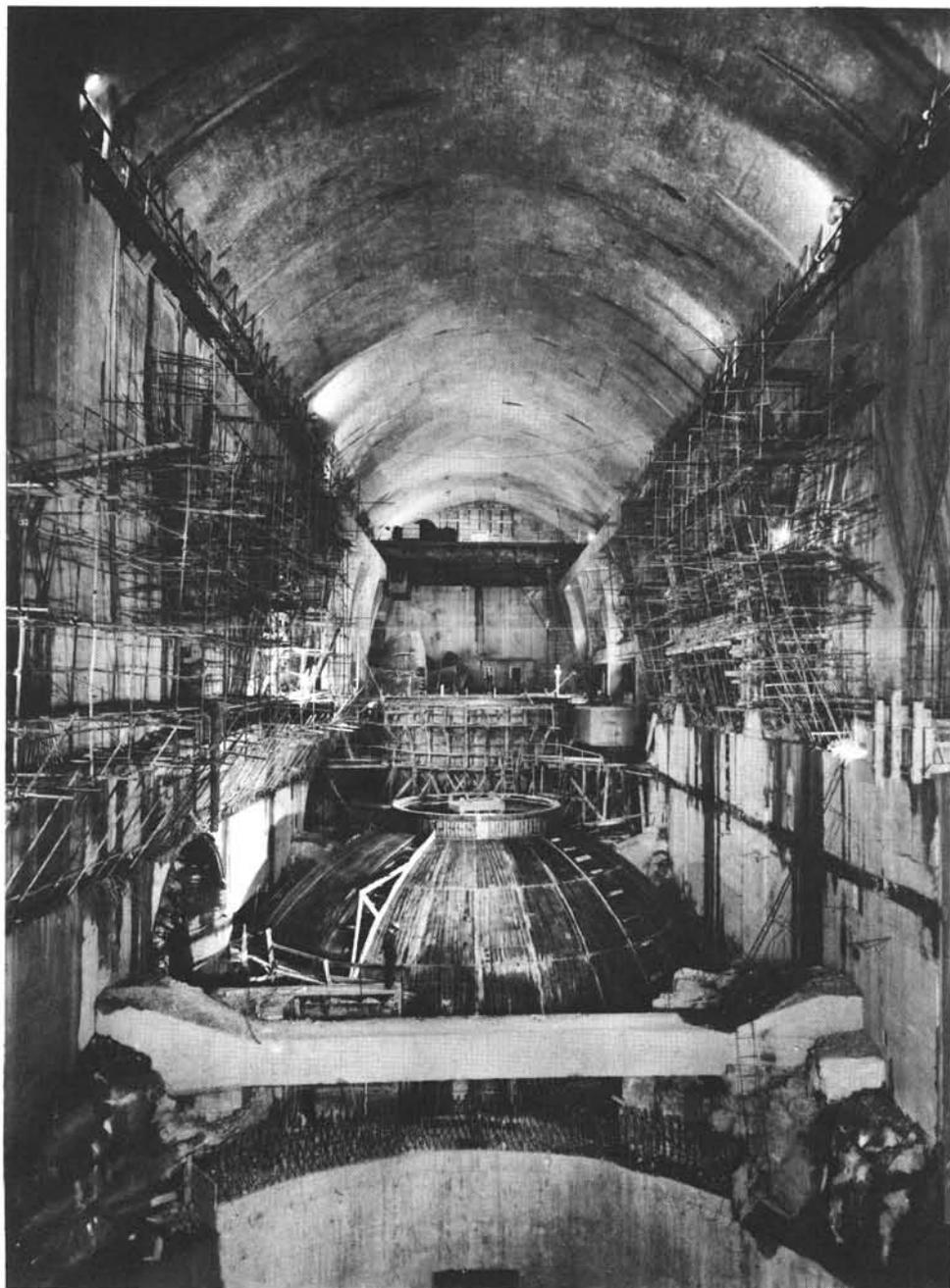


Fig. 13.2 – Central subterrânea de Miranda. Aspecto da sua construção (Nov. 1958)

4.12.4.2 – Vigas de contraventamento das paredes

Tendo observações topográficas mostrado que as paredes da central se deslocavam de forma contínua para o interior da central, executaram-se, entre as bases dos pilares de contraventamento situados entre os grupos, vigas em betão armado logo que a escavação o permitiu (Fig. 13.2).

Essas vigas trabalharam eficazmente e só foram desmontadas após a colocação do betão de envolvimento das espirais.

As estruturas de betão de envolvimento da espiral, pavimento da central e em certos casos de suporte dos alternadores, têm um papel eficaz na estabilização das paredes da caverna.

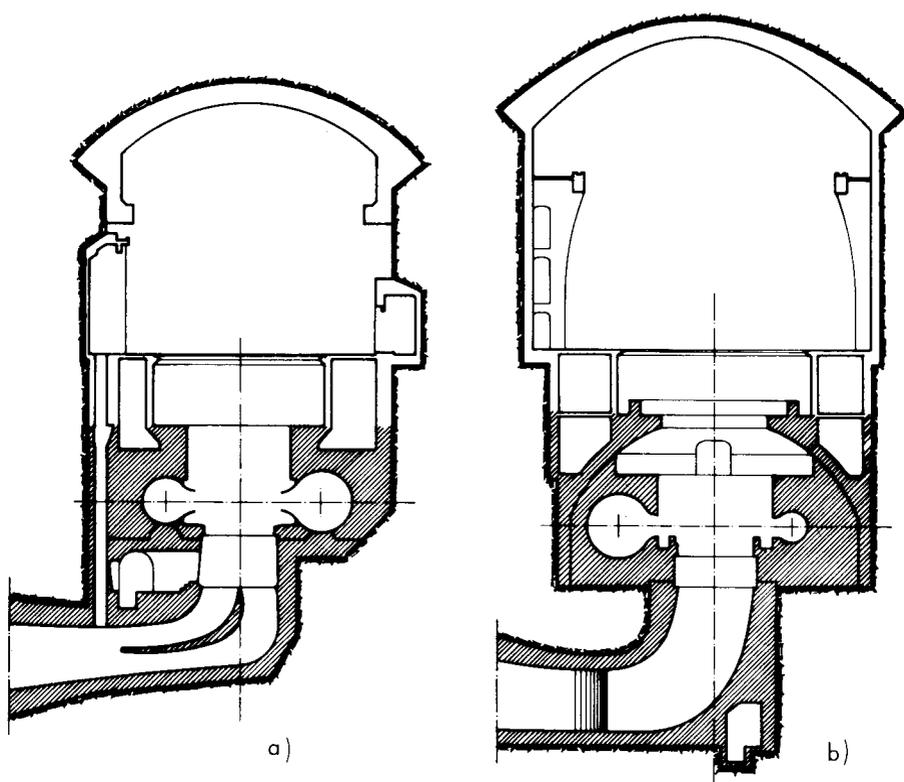


Fig. 13.3 – Estrutura de betão do envolvimento e suportes dos grupos geradores (servem de entravamento das paredes): a) Picote; b) Miranda

No caso de Miranda (Fig. 13.3) a construção dessas estruturas não esperou pela montagem da espiral, contrariamente ao que sucedeu em Picote, permitindo, assim, dispôr-se mais cedo dum contraventamento da rocha, o que interessa especialmente em caso de xisto.

No aspecto rendimento dos trabalhos, revelou-se necessário dispôr-se de entradas independentes para o betão e para as peças do equipamento da central. Em Picote, reconhecido esse facto, abriu-se, a certa altura, propositadamente, um pequeno poço para entrada de betão. Em Miranda dispôs-se, logo de início, de entradas independentes.