

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 1 • GEOLOGIA DE ENGENHARIA



Coimbra • Imprensa da Universidade

CONTRIBUIÇÃO DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NO EMPREENDIMENTO DE VENDA NOVA II

NADIR PLASENCIA¹ e CELSO LIMA²

PALAVRAS CHAVE: reconhecimento de superfície, prospecção, classificação do maciço, sustimento, monitorização.

KEY WORDS: geological survey, site investigation, classifications, lining, monitoring.

RESUMO

O aproveitamento hidroeléctrico de Venda Nova é constituído por uma barragem em abóbada, no rio Rabagão, um túnel na margem direita deste rio, conduta e central situadas a céu aberto na margem esquerda do rio Cávado. A sua construção foi concluída em 1951 e a sua exploração está a cargo da CPPE, empresa do grupo EDP, que como dono de obra, se propôs realizar um reforço de potência do actual aproveitamento. A opção integralmente enterrada para este reforço de potência traz a grande vantagem de minimizar os impactes numa zona natural da paisagem envolvente ao Parque Natural da Serra do Gerês. No final dos anos 70 e início dos anos 80, foram realizados pelo Prof. Doutor Coteló Neiva os primeiros trabalhos de cartografia geológica de superfície e as primeiras campanhas de prospecção. Esta cartografia foi a base de reformulação do traçado quando se retomaram os trabalhos em 1996. Estes trabalhos permitiram a identificação de diversas falhas de maior ou menor importância relativa, salientando-se a designada por falha da Botica, tendo sido determinantes na selecção dos traçados em planta, para a escolha da possível solução em perfil, e localização de elementos importantes como a caverna da central.

¹ EDP Produção – Engenharia e Manutenção, SA (Grupo EDP). Rua do Bolhão, 4000 Porto, Portugal. (nadir.plasencia@em.edpproducao.edp.pt)

² EDP Produção – Engenharia e Manutenção, SA (Grupo EDP). Rua do Bolhão, 4000 Porto, Portugal. (celso.lima@em.edpproducao.edp.pt)

ABSTRACT: Engineering Geology and its constraints on the Venda Nova II dam foundations

The Venda Nova Hydroelectric scheme is a arch-gravity dam, on the River Rabagão, a tunnel on this river's right bank, a pen-stock and powerhouse on the left bank of the River Cávado; its construction ended in 1951. The Portuguese Electricity Production Company - CPPE, in the EDP Group, decided to re-power the existing scheme. A full underground option has the big advantage of minimizing the impacts on a natural landscape area that surrounds the Natural Park of Gerês. At the latest 70's and early 80's, Professor Coteló Neiva conducted the first geological surface survey works and the first investigations. This cartography was the basis for the decision on the new alignment, when the works restarted in 1996. These works allowed the identification of several faults of major or minor relative importance, being possible to highlight the one afterwards named as Botica-Fault, and were determining in the selection of alignments in plant, in the choice between the possible solutions in longitudinal section, and the in the positioning of major elements such as the powerhouse cavern.

1. DESCRIÇÃO GERAL

O aproveitamento hidroelétrico de Venda Nova localiza-se próximo desta povoação, a cerca de 55km da cidade de Braga. Constituído por uma barragem em abóbada, com cerca de 97m de altura, no rio Rabagão, um túnel na margem direita deste rio, conduta e central situadas a céu aberto na margem esquerda do rio Cávado. A construção foi concluída em 1951 e a sua exploração está a cargo da CPPE, empresa do grupo EDP, que como dono de obra, se propôs realizar um reforço de potência do actual aproveitamento, obrigando à construção de um novo circuito hidráulico e central.

A opção integralmente enterrada para este reforço de potência traz a grande vantagem de minimizar os impactes numa zona natural da paisagem envolvente ao Parque Natural da Serra do Gerês. Foram projectados um circuito hidráulico reversível e central subterrâneos, localizados na margem esquerda do rio Rabagão. A tomada de água em turbinamento foi localizada imediatamente a montante da barragem de Venda Nova, e a restituição para o rio Rabagão próximo da confluência com o rio Cávado, na albufeira de Salamonde. As obras do aproveitamento ficaram inseridas num maciço predominantemente granítico, tendo o traçado do circuito hidráulico sido fundamentalmente influenciado pelas características geológico-geotécnicas. Os túneis do circuito hidráulico apresentam secção em ferradura com diâmetro de escavação de 6,3m a 7,3m. O túnel em carga, com uma carga hidráulica de 420m, tem aproximadamente 2800m de comprimento e 15% de inclinação. A restituição, com inclinação de cerca de 2%, apresenta um comprimento aproximado

de 1400m. A central, com 320m de cobertura, tem dimensões aproximadas de 20m × 60m, com 30m de altura. Ligada à caverna da central por duas galerias, foi projectada uma caverna de menores dimensões para instalação dos transformadores. O acesso à central e ataque às escavações foi materializado num túnel com cerca de 1500m, inclinação predominante de 7%, vão de 8m e secção tipo ferradura.

2. CARTOGRAFIA GEOLÓGICA E RECONHECIMENTO DE SUPERFÍCIE

Tendo em vista a inserção do traçado do circuito hidráulico foram comparadas as duas margens. Dado que na margem direita se podiam observar contactos entre xistos e granitos cuja orientação poderia resultar em paralelismo e/ou proximidade com o eixo dos túneis, ou então em grande acréscimo do traçado das escavações, foi escolhida a margem esquerda do Rabagão para implantar este novo circuito hidráulico, tentando-se dessa forma evitar maiores dificuldades construtivas. Foram realizados no final dos anos 70 e início dos anos 80, os primeiros trabalhos de cartografia geológica de superfície, à escala 1:5000 (fig. 1). Nesta época não estava ainda publicada a folha “6A - Montalegre” da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, e para a elaboração da cartografia de superfície foi necessário recorrer à observação dos afloramentos existentes. Na região existe um predomínio de formações graníticas, aflorando também rochas metamórficas. À superfície, um rico coberto vegetal e de solos protege todas essas formações, sendo no entanto, possível encontrar bastantes afloramentos, principalmente na proximidade dos rios. Os taludes das estradas e dos caminhos existentes foram fundamentais para a elaboração da carta geológica.

Quando se retomaram os trabalhos em 1996, para a realização de um novo estudo prévio e reformulação de traçado, foi possível consultar a carta geológica 1:50000, publicada em 1982. No entanto, a selecção do traçado foi essencialmente baseada na carta geológica 1:5000, acima referida, revista tendo por base investigação adicional de superfície. Foram então analisados todos os relatórios e sondagens realizados para a solução estudada em 1970-1980, tendo sido também reanalisada a fotografia aérea existente.

A região situa-se no flanco NNE da Serra da Cabreira, entre as povoações de Sidrós a N, Ferral a NNE, Botica a SW e Campo e Lamalonga a S. É atravessada pela maior parte do tramo final SE-NW do vale do rio Rabagão, de profundos meandros encaixados em grande parte em tramos de falhas NE-SW, NW-SE, N-S a NNE-SSW e NNW-SSE. Nesta região, a área mais elevada do maciço granítico culmina na pirâmide de Campos (889m), o que resta do relevo de planalto que é a Serra da Cabreira, e que se vai suavizando para as povoações de Lamalonga (824 - 835m) a SE e Campo (800 - 825m) a WSW, onde a erosão estabeleceu a vertente NE do tramo SE-NW do Rabagão.

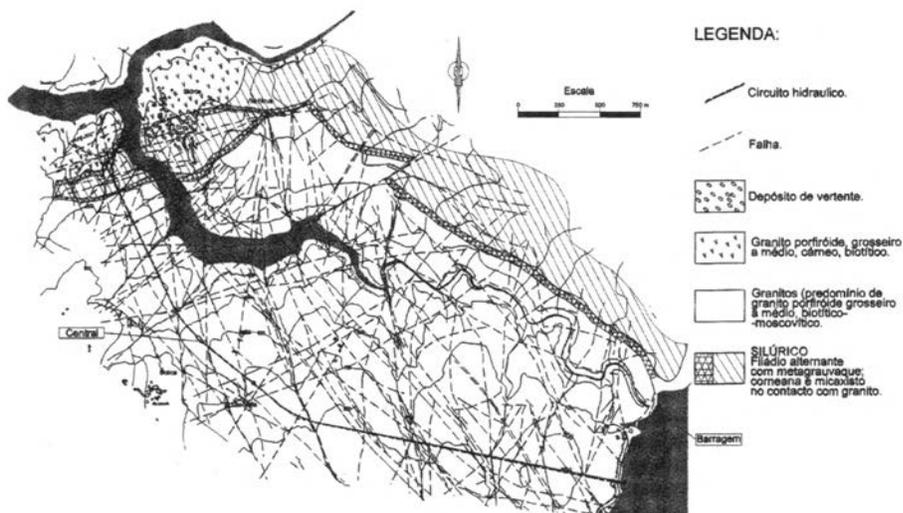


Fig. 1 – Carta geológica elaborada entre 1979 e 1980 à escala 1:5000. Implantado o circuito hidráulico actualmente construído (adaptado de NEIVA *et al.*, 2000).

Os trabalhos de cartografia geológica de superfície e a análise de fotografia aérea permitiram a identificação de diversas falhas de maior ou menor importância relativa, salientando-se a designada por falha da Botica. Estes trabalhos foram determinantes na selecção dos traçados, em planta, para a escolha de entre as possíveis soluções em perfil, e localização de elementos importantes como a caverna da central.

3. TRAÇADO DO CIRCUITO HIDRÁULICO

O traçado em planta foi seleccionado, a nível de estudo prévio, de entre um conjunto de diversas soluções, tendo em consideração a melhor orientação possível para os túneis, de forma a cortar com o maior ângulo possível as estruturas geológicas existentes. Do ponto de vista litológico, não seriam expectáveis grandes variações, sendo previsível encontrar na maior percentagem do traçado, formações graníticas com filões pegmatíticos e alguns encraves. As possíveis soluções em perfil foram estudadas em função de diversos factores: localização da central, extensão dos túneis de acesso, coberturas, consequente qualidade do maciço em profundidade e minimização da perturbação dos níveis freáticos, bem como, naturalmente, dos aspectos económicos e ambientais. As soluções estudadas foram divididas em dois grupos: um primeiro grupo de quatro soluções de revestimentos rígidos e um segundo grupo de três soluções não revestidas (isto é, revestimentos

preferencialmente flexíveis). Os aspectos geológicos assumiram maior relevo na escolha entre o segundo grupo de soluções. De entre as soluções não revestidas (revestimento flexível), que envolviam menores prazos de execução e menores custos globais, algumas das razões para a escolha da solução construída foram: apresentar maiores coberturas e, conseqüentemente, menores probabilidades de drenar o maciço escavado durante a construção; também, devido às coberturas, ter maiores probabilidades da escavação se realizar em maciço de boas características geológico-geotécnicas e possibilitar a criação de apenas um novo acesso, apoiado em traçados existentes.

4. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DO CIRCUITO HIDRÁULICO

Tendo em vista a caracterização do maciço para elaboração do projecto de execução da obra, foi realizada uma campanha de prospecção para complementar o conhecimento que se tinha adquirido do maciço nos anos 80, aquando do estudo da primeira configuração do circuito hidráulico.

O traçado final seleccionado no estudo prévio indicava que as escavações seriam predominantemente realizadas no granito da Borralha, intersectando, o fim da restituição, uma zona de formações metamórficas e, eventualmente granito róseo. Superficialmente estas formações apresentam-se heterogénea e intensamente meteorizadas, sendo o granito do Gerês o que atinge maiores espessuras de alteração. Aparentemente, a zona final da restituição seria a integrada em geologia mais complexa, por um lado devido aos contactos litológicos entre as três formações geológicas, por outro lado devido à alteração do granito do Gerês. Outra zona complexa seria a falha da Botica, necessitando de uma cuidada caracterização específica.

4.1. PROSPECÇÃO

Tendo por base as características geométricas do circuito hidráulico, o reconhecimento geológico de superfície e a necessidade de caracterização hidrogeológica do maciço, foi dimensionada a campanha de prospecção tendo em consideração: a campanha realizada nos anos 80 para o anterior estudo que coincidia nos 4km iniciais com as obras do reforço; as localizações das bocas, condicionadas por razões hidráulicas (condições de submergência) e geológicas; zonas particulares de falhas, âmbito de prospecção específica; outras zonas particulares, como as cavernas da central e da sala de transformadores, e chaminé de equilíbrio.

Os alinhamentos estruturais passíveis de causar maiores constrangimentos na realização da obra do circuito hidráulico, foram também sujeitos a prospecção

específica. Incidiram particularmente nas zonas de falha associadas a linhas de água mais pronunciadas, identificadas pela fotografia aérea e reconhecimento de superfície como as potencialmente mais importantes. Da campanha dos anos 80 tinham sido já realizadas 4 sondagens para prospecção das falhas potenciais, interessando parte da galeria em carga, ficando excluído o traçado do túnel de restituição. Seria também na restituição e túnel de acesso à central que se previa o atravessamento da falha mais importante (falha da Botica). Foram realizadas 8 sondagens à rotação com recolha contínua de amostra e ensaios de permeabilidade “tipo Lugeon”, ao longo do alinhamento do túnel da restituição, 4 das quais directamente na zona da falha da Botica. Dada a profundidade geral dos túneis, as sondagens só atingiram a zona de escavação do maciço do circuito hidráulico na proximidade das bocas.

As quatro sondagens realizadas na falha da Botica permitiram identificar, com alguma precisão, a geometria e as características desta estrutura geológica que veio a ser atravessada pelo túnel de acesso à central e pelo túnel de restituição. Durante a escavação destes túneis, foram ainda realizadas sondagens na frente de escavação para permitir uma melhor caracterização da estrutura a atravessar, por forma a adequar os processos de escavação e contenção. Dada a profundidade das escavações as sondagens em avanço permitiram obstar às dificuldades inerentes à profundidade dos terrenos.

No local da chaminé de equilíbrio foi realizada uma sondagem vertical com 200m, tendo como objectivo principal, além da caracterização mecânica dos primeiros metros do maciço, o conhecimento das características hidrogeológicas do local, visto ser esta uma das zonas de maior risco hidrogeológico (rebaixamento do nível freático) dado que a abertura da chaminé iria funcionar como um dreno num maciço que se previa superficialmente permeável, nos primeiros 100 a 200m próximos da superfície, com numerosas nascentes com poças na envolvente.

Sendo as cavernas os órgãos mais delicados em termos de escavação e contenção, e podendo a sua localização ter impacte económico muito relevante no empreendimento, seria também imperativo o investimento na prospecção. Foram assim realizadas quatro sondagens verticais com “wire-line”; entre esses furos de sondagem foi ainda realizada tomografia sísmica. Quando concluído o túnel de acesso à central, foi ainda realizada uma galeria de reconhecimento geológico que permitiu a realização de ensaios de caracterização mecânica e de determinação do estado de tensão *in situ* e confirmar os resultados da interpretação da restante prospecção.

As sondagens, em número de 29 na campanha de 1982 e de 13 na campanha de 1996, perfizeram, respectivamente, 2668m e 2312m, correspondendo a cerca de 60% do comprimento total dos túneis escavados.

4.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os ensaios realizados em amostras de sondagens, em furos de sondagem e na galeria de reconhecimento geológico permitiram a caracterização das zonas geológico-geotécnicas. A análise dos resultados das diversas fases de prospecção com ensaios de caracterização, em conjunto com todos os trabalhos de superfície anteriormente realizados, permitiram definir o modelo geológico-geotécnico global do circuito hidráulico.

A realização de estradas de acesso e escavações para plataformas de trabalho colocaram a descoberto formações litológicas que permitiram melhorar a carta geológica. A informação obtida durante a execução do túnel de acesso à central, galeria de reconhecimento, estradas de acesso e plataformas de trabalho foi também ponderada; todos esses dados contribuiriam para a actualização e pormenorização do zonamento do maciço (Quadro I).

Quadro 1 – Zonamento do maciço, tendo por base a observação das amostras das sondagens, prospecção geofísica, ensaios laboratoriais em amostras e ensaios de permeabilidade tipo “Lugeon”.

Zona	Rocha	Alteração e Fracturação	RQD (%)	Vel. prop. ondas sísm. (Vp) (m/s)	Er (GPa)	UCS (MPa)	Permeabilidade (U.L.)			
							> 10	10-2	2-1	< 1
ZG3	Granito	W5,F5 a W2-W3,F4	0-70	800-2800	< 15	—	36%	29%	9%	26%
ZG2	Granito	W2-W3,F3-F4 a W2,F1-2	70-95	3000-4600	15,5-25,4	25,7-47,8	1%	27%	9%	63%
ZG1	Granito	W1-2,F2-F3 a W1,F1	95-100	> 4800	24,6-78,8	54,0-89,0	2%	2%	4%	92%
	Migmatito	W1-2,F2-F3 a W1,F1	95-100	> 4800	26,6-78,8	43,2-66,1	—	—	25%	75%

4.3. CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO NA FASE DE EXECUÇÃO

As escavações para o circuito hidráulico ocorreram numa extensão de cerca de 4,5km. A esta extensão há ainda a adicionar um total de cerca de 3,5km de túneis de acesso e ataque e ainda poços com 415m da chaminé de equilíbrio superior e 60m da inferior.

No decorrer da obra o método observacional permitiu grande flexibilidade no que respeita à escolha do suporte e dos métodos de escavação, através da sua adequação ao comportamento real do maciço, possível pelo controlo efectuado, quer pela observação das características do maciço escavado, quer pela monitorização. Teoricamente a contenção definitiva deveria aproximar-se da frente de escavação, podendo ser aplicada à medida do avanço do túnel. O sustimento primário deveria ser aplicado para o avanço em condições de segurança de forma a evitar comportamentos não desejados, fazendo, no fim, parte integrante do revestimento definitivo, desde que cumprisse as características especificadas para este último elemento estrutural.

A escavação dos túneis do circuito hidráulico foi genericamente realizada em secção plena, mesmo em zonas onde o maciço apresentou condições geológicas consideradas mais adversas, já a escavação e aplicação de sustimento das cavernas foi faseada.

No projecto de execução dos túneis foram preconizadas 5 secções tipo de sustimento /revestimento em função de intervalos de RMR (fig. 2). Tendo em vista a definição do tipo de secção de sustimento necessário para avanço em condições de segurança, foi sistematicamente realizada pelos geólogos em obra, a cartografia geológica e a caracterização da secção através do RMR e Q e ainda o GSI. O conjunto de todos estes elementos e a análise dos resultados da monitorização permitiram a definição da secção final de contenção. A aplicação do sistema Q foi de grande utilidade para indicação, em obra, do sustimento a aplicar principalmente nas zonas de falha e na intersecção de escavações.

A cartografia geológica das escavações foi uma das informações que permitiu tomar decisões relativas ao sustimento a aplicar, além de ser um registo fundamental a incluir nos elementos finais de arquivo da obra. As situações em que as estruturas geológicas assumiram um papel definitivo na adaptação do sustimento indicado pela classificação geomecânica podem ser resumidas em dois grupos: orientações de contactos litológicos e orientações de planos de falha. Relativamente à influência de contactos litológicos cita-se o exemplo da zona final do túnel de restituição. Na última centena de metros de escavação o contacto entre formações metamórficas e granitos previa-se que estivesse paralelo e muito próximo das superfícies escavadas (azimute próximo ao eixo do túnel), o que poderia condicionar a estabilidade da escavação. Apesar de nas superfícies escavadas não se observar indícios dessa situação, houve que ter em consideração essa situação na escolha do suporte a aplicar.

Na figura 3 apresenta-se o modelo geológico final, que representa o zonamento geológico-geotécnico das formações geológicas onde se realizaram as escavações. Este zonamento foi definido tendo por base toda a informação obtida ao longo dos estudos, mas também os dados relativos à cartografia geológica e classificação das escavações.

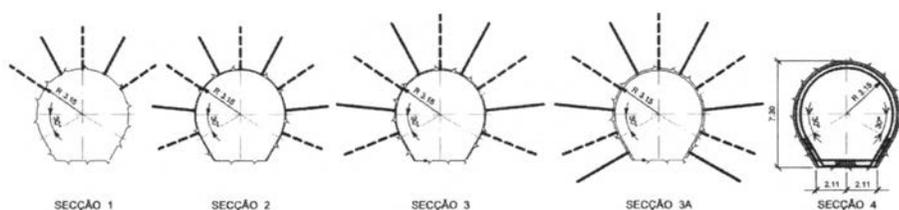


Fig. 2 – Secções tipo de sustimento/revestimento.

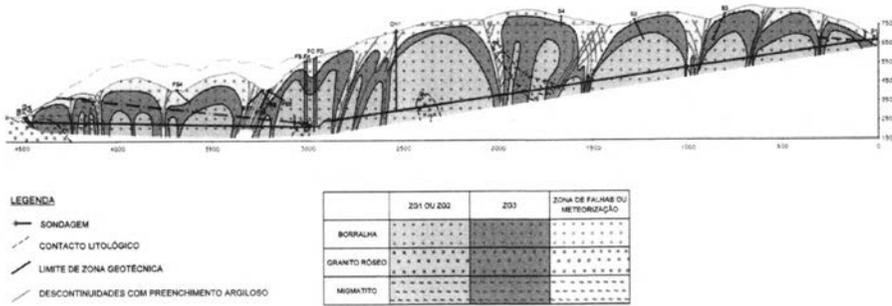


Fig. 3 – Perfil longitudinal com zonamento geológico-geotécnico do circuito hidráulico, com toda a informação que foi sendo obtida, nomeadamente a relativa à cartografia geológica das escavações.

5. MONITORIZAÇÃO

5.1. PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E COMPORTAMENTOS OBSERVADOS

O plano de instrumentação e controlo de deformações foi adequado a uma obra subterrânea localizada na sua maior extensão a profundidades superiores a 200m, com dois tipos principais de intervenção, em função do tipo de obra a ser observado. Devido à complexidade e dimensão das escavações na zona das cavernas, além das medições de convergência por meio de alvos ópticos e de fitas de invar, foram ainda instalados extensómetros de vara, de forma a analisar o comportamento da estrutura durante a redistribuição das tensões na sua envolvente, a partir da observação dos deslocamentos, permitindo avaliar as condições de estabilidade e eficiência do revestimento aplicado. Nos túneis o controlo das deformações do maciço envolvente da escavação e suporte instalado foi realizado por meio de medições de convergências entre marcas instaladas no interior da escavação, em secções normais ao eixo. Os perfis, afastados em média 25m, foram genericamente constituídos por um alvo reflector na abóbada, ao eixo, e mais um em cada hasteal, colados na extremidade de varões de aço, encastrados 0,30m no maciço ou soldados nas cambotas. Em condições geológicas adversas, o afastamento foi encurtado. Nas zonas de emboquilhamentos foram também instalados perfis a menores distâncias. Na leitura dos alvos foram realizadas medições tridimensionais por meio de um sistema óptico de leitura baseado na tecnologia da estação total, que se coloca automaticamente em estação. Este sistema permite grande flexibilidade, pois as leituras podem ser feitas afastadas da frente do túnel desde que visíveis os alvos de referência e as marcas das secções de convergência em observação, apresentando reduzidas interferências com a produção. Na falha da Botica foram ainda lidas cordas horizontais, com recurso a fita de invar. A frequência das leituras foi função da distância à frente de escavação e dos resultados que foram sendo obtidos.

Os resultados das leituras foram diariamente fornecidos por correio electrónico e semanalmente discutidos em reunião em obra. Sempre que surgiam situações particulares, os técnicos intervenientes entravam em contacto de forma a que fosse possível uma análise da situação e fossem tomadas decisões.

O controlo das vibrações induzidas pelos explosivos utilizados nas escavações nos betões das vigas da central foi efectuado com registos sistemáticos das velocidades de propagação, não se tendo atingido velocidades susceptíveis de lhes causar danos.

5.2. ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES REGISTADAS

De uma forma geral não foram observadas deformações elevadas. Na abóbada da central as deformações registadas coincidiram com as previstas pelo modelo de cálculo elaborado. As deformações registadas nas paredes da caverna da central foram inferiores às previstas.

Nos túneis as secções de convergência foram, de forma geral, aplicadas a 25m da frente de escavação. Nas secções de convergência que foi possível aplicar a menos de 20m, em maciços com RMR superiores a 40, foram lidas convergências da corda horizontal na ordem dos 2 a 3mm que rapidamente estabilizavam. Com RMR entre 30 e 40, foram lidas, para a mesma corda, deformações entre 4 e 5mm, com estabilizações atingidas algumas semanas após o início das leituras.

Algumas deformações de maior relevo foram registadas em zonas de condições geológicas adversas, como zonas de esmagamentos tectónicos. Situação muito particular foi a registada na zona do túnel de restituição, abrangida pela falha da Botica.

6. FALHA DA BOTICA

A falha da Botica foi a estrutura geológica de maior significado atravessada por todas as escavações. Identificada desde o estudo prévio, foi devidamente reconhecida por meio de prospecção mecânica. A amostragem das sondagens identificou um conjunto de falhas com preenchimentos argilosos, mais ou menos possantes, alternando com granito intensamente tectonizado e zonas menos alteradas. As suas características enquadraram-na num granito intensamente tectonizado constituído por um conjunto de falhas paralelas normais ao túnel e outras descontinuidades, com preenchimento de argila, e zonas de granito menos alterado. A caulinite e a illite foram as argilas identificadas nas diversas amostras ensaiadas tanto por difracção de Raios X, como por determinação da actividade.

A escavação foi realizada na direcção da pendente da falha, aparecendo água apenas no fim da zona tectonizada. Em termos de RMR, enquadra-se seguramente em valores inferiores a 20 (apesar da inexistência de água); 0,03 foi o valor atribuído pelo sistema Q; pelo GSI poder-se-á enquadrar esta zona entre 10 e 15 de valoração. Nos primeiros metros escavados na zona tectonizada, houve uma discrepância entre as classificações atribuídas ao maciço pelos geólogos envolvidos na obra (resultando na atribuição de secções distintas).

Na fase de definição dos critérios de alerta estabelecidos no projecto, para uma zona com características similares à da falha da Botica, foi usada uma análise numérica com o programa "PHASES", com parâmetros estimados a partir do RMR igual a 20 e assumindo um $K(\sigma_h/\sigma_v)$ de 1,5. Foi considerado o sustimento aplicado após 60% de desconfinamento, constituído por 10cm de betão projectado e pregagens aplicados na abóbada e hasteais (secção tipo S3). Nesse modelo, em pontos localizados a cerca de 1,5m acima da soleira, foram previstas deformações da ordem dos 65mm e os deslocamentos totais rondariam os 130mm (figura 4).

Nesta zona, escavada com cerca de 6,5m de diâmetro, foi genericamente aplicado um suporte com cerca de 15cm de betão projectado com fibras, sem soleira. Numa zona localizada foram, adicionalmente instaladas cambotas. Para o registo das deformações instalaram-se secções de convergência para leituras por meios ópticos (um alvo em cada hasteal e outro no tecto) e dois perfis para leituras de convergências horizontais por fita de invar. Os perfis junto às cambotas, estabilizaram ao fim de aproximadamente um ano. Decorridos cerca de dois anos, na restante zona da falha ainda se verifica convergia horizontal. Visto que as argilas existentes são pouco expansivas (caulinites e ilites), as deformações não estarão, em princípio, associadas a comportamentos expansivos.

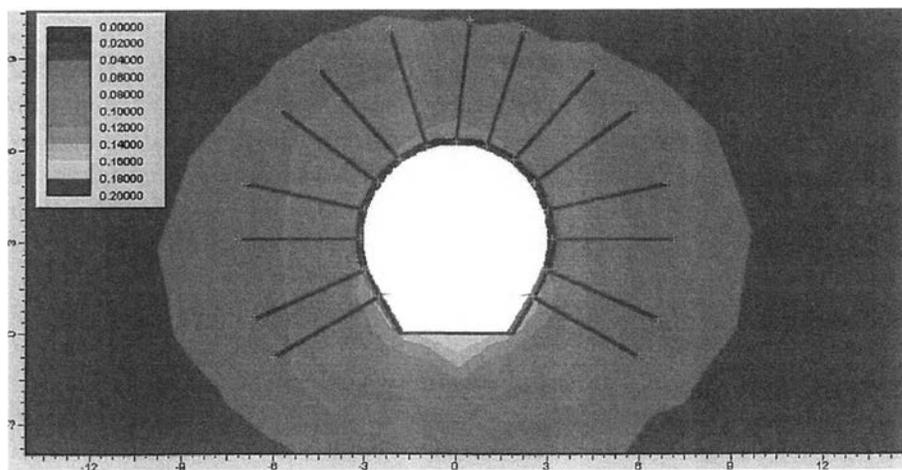


Fig. 4 - Modelo de secção do túnel do circuito hidráulico em "PHASES". Previsão dos deslocamentos totais para uma zona de RMR=20.

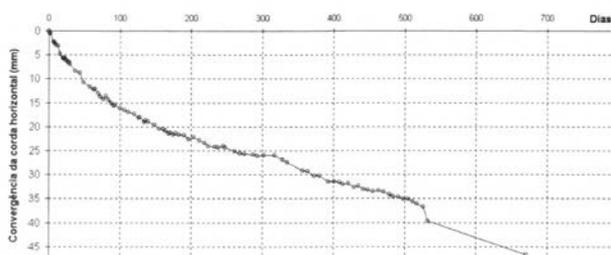


Fig. 5 – Evolução da convergência horizontal, no perfil ao pk 1152,8, da falha da Botica (dados de leituras realizadas pela Cêgê).

O gráfico apresentado na figura 5 traduz o comportamento da corda horizontal a cerca de 1,5m da soleira na secção ao pk1152,8, lida por meios ópticos. As cordas oblíquas apresentam convergências de menor importância. O perfil de monitorização começou a ser lido a cerca de 23m da frente de escavação, significando que não foram registadas as deformações mais significativas. Decorridos cerca de dois anos a secção em evolução evidencia que o maciço apresenta uma deformação dependente do tempo, ou seja, fluência, eventualmente um comportamento de “squeezing” reduzido.

Em função do comportamento apresentado pelo maciço, foi estimada uma deformação a longo prazo a partir da qual se efectuou o dimensionamento do revestimento definitivo em betão armado a aplicar nesta secção.

7. HIDROGEOLOGIA EM VENDA NOVA II

Venda Nova II insere-se numa região rica em recursos hidrogeológicos, com nascentes, poços e furos de captação de água. Tendo presente o risco de, durante o processo construtivo, se provocar rebaixamento do nível freático e interferir com captações, bem como o risco de aumento do gradiente hidráulico em determinados pontos pela comunicação entre falhas ou destas com a superfície, e tratando-se de um empreendimento subterrâneo de túneis não revestidos, foi elaborado um modelo hidrogeológico do local da obra. Nesse modelo, baseado na carta e no perfil geológicos, foram identificados os riscos e definidas zonas de distintos níveis de risco, realçando-se as bocas, chaminé de equilíbrio superior, e as linhas de água coincidentes com menores coberturas dos túneis. Foi dada particular importância à geologia estrutural, pois a percolação nos maciços cristalinos é favorecida pela existência de zonas de maior fracturação. Zonas de intensa fracturação poderiam ter um grande impacto tanto no rebaixamento do nível freático como nos caudais de infiltração durante a escavações, mas também facilitar a percolação entre os diversos túneis do circuito hidráulico em operação e, destes, com a superfície.

Tendo por objectivo a caracterização hidrogeológica do maciço correspondente à área de implantação da obra, foram realizados ensaios tipo “Lugeon” em todas as sondagens. De notar que cerca de metade dos ensaios realizados apresentou permeabilidade nula. A análise dos resultados dos ensaios e a comparação com a amostragem das sondagens permitiu concluir que o maciço é globalmente impermeável, e que as zonas de maior percolação estão associadas a fracturação e a cotas superiores de meteorização.

Os impactes associados à tomada de água em turbinamento e à tomada de água em bombagem poderão vir a ser minimizados com a entrada em operação do circuito hidráulico. Quanto ao túnel de acesso à central, galeria de ventilação e segurança (principalmente nas zonas das bocas, dado apresentarem menores coberturas) e chaminé de equilíbrio (nas cotas superiores) actuarão como drenos permanentes.

As zonas das bocas acima referidas, de pequena concentração de poças, poços, nascentes e furos, e onde é reduzido o aproveitamento dos terrenos para a agricultura, foram consideradas de risco moderado a grande. A zona da chaminé de equilíbrio foi considerada a de maior sensibilidade no conjunto de toda a obra, devido à existência de numerosos pontos de captação de água e de terrenos agrícolas na envolvente.

Tendo por objectivo minimizar este risco, além de outros aspectos, foi decidido revestir os 100 metros superficiais desta chaminé com um anel de betão moldado, em correspondência com a zona mais permeável do maciço. Adicionalmente, e com dois objectivos principais, foi feito o levantamento exaustivo de todos os pontos de água e trimestralmente registados os caudais e/ou níveis de água. Por um lado permitirá avaliar a justeza de futuras reclamações, por outro lado permite o controlo hidrogeológico do impacte causado pelas escavações e da entrada em carga do circuito hidráulico. Esse controlo teve início um ano antes de se iniciarem as escavações do circuito hidráulico e deverá ser prolongado durante, no mínimo, um ano em fase de operação desse circuito.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos de reconhecimento geológico e de prospecção foram exaustivos. A cartografia geológica e os trabalhos de reconhecimento de superfície permitiram identificar uma falha com características mais desfavoráveis que os restantes alinhamentos geoestruturais identificados à superfície. Tendo em conta esse dado, a prospecção foi dimensionada de forma a permitir uma identificação da geometria e características geológicas dessa zona tectonizada, posteriormente designada por falha da Botica.

De uma forma geral poder-se-á afirmar que os trabalhos de reconhecimento e caracterização foram proveitosos, dado que as condições geológico-geotécnicas encontradas não divergiram significativamente do modelo geológico previsto.

A monitorização foi fundamental para a análise do comportamento das escavações principalmente nas zonas de falhas e cavernas, permitindo adequar os suportes aplicados. Importa referir que, na prática, as distâncias entre perfis de monitorização e respectiva periodicidade de leitura foram também escolhidas em função das condições geológicas encontradas e dos processos executivos.