

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Novo Túnel Norte de Águas Santas (Autoestrada A4)

Pistone, Raúl

Membro CTC, COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, Lisboa, Portugal, r.pistone@cobagroup.com

Ferreira, Sandra

Chefe de Núcleo de Obras Geotécnicas, COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, Lisboa, Portugal, s.ferreira@cobagroup.com

Bento, Jorge

Engenheiro Geólogo, COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, Lisboa, Portugal, j.bento@cobagroup.com

RESUMO: São abordados alguns aspetos do projeto das obras subterrâneas do alargamento e beneficiação para 2x4 vias, da autoestrada A4 - Porto-Amarante, no qual se situa o novo túnel de Águas Santas. A concessionária BRISA construiu este novo túnel para albergar 4 vias, localizando-se o mesmo a Norte das duas galerias existentes. Este acomoda o tráfego que circula no sentido Nascente-Poente, (Amarante-Porto) e empreendeu a reabilitação das galerias existentes, as quais se destinam ao tráfego que circula no sentido Poente-Nascente. O novo túnel Norte é uma galeria de elevadas dimensões (~25 m de largura total) e pelo facto de se localizar numa zona urbana, apresentou riscos geotécnicos relevantes durante o projeto e a construção.

PALAVRAS-CHAVE: Túnel reabilitação, construção, risco geotécnico, obras urbanas.

ABSTRACT: Some aspects of the design of the underground works for the expansion and improvement of the A4 - Porto-Amarante highway, in which the Águas Santas tunnel is located, are discussed. The concessionaire BRISA built a new tunnel to accommodate 4 lanes, located to the north of the existing tunnels, intended for traffic going in the East-West direction (Amarante-Porto) and undertook the rehabilitation of the existing galleries, which are intended for traffic that runs in the West-East direction. The new North Tunnel is a large gallery (~25 m in total width) and as it is located in an urban area, it presented relevant geotechnical risks during design and construction.

KEYWORDS: Tunnel refurbishment, construction, geotechnical risk, urban works.

1 Introdução

A presente comunicação incide sobre a obra subterrânea do projeto de alargamento e beneficiação para 2x4 vias da Autoestrada A4 - Porto-Amarante, inserida na rede de auto-estradas da Brisa Concessão Rodoviária, S.A., lançado em que se localiza o túnel de Águas Santas.

O Projeto de Execução do alargamento da auto-estrada foi concluído no ano de 2015 (desenvolvido pela empresa Sener-Engivia, Lisboa), tendo como principal objetivo o aumento da capacidade de escoamento do tráfego, recorrendo à duplicação do número de vias, das atuais 2 para 4 em cada sentido de circulação do tráfego, incluindo a reabilitação das duas galerias do túnel existente e a construção de um novo túnel, localizado a Norte das existentes.

2 Descrição do Traçado existente e da Intervenção Prevista

O túnel de Águas Santas existente era constituído por duas galerias unidireccionais, com duas vias de circulação cada, servindo a galeria Sul, o tráfego que circulava com direção Poente/Nascente e a galeria Norte, o tráfego que circulava em sentido inverso. Foi construído um novo túnel para albergar 4 vias, localizado a Norte dos túneis existentes, destinado ao tráfego que circula no sentido Nascente-Poente, (Amarante-Porto)

e empreendeu a reabilitação das galerias existentes, as quais se destinam ao tráfego que circula no sentido Poente-Nascente.

3 Novo Túnel Norte

O novo túnel construído, localizado a Norte das galerias existentes será destinado à totalidade do tráfego que circule no sentido Nascente/Poente (Amarante – Porto). O seu perfil transversal-tipo, com 16.65 m de largura total de plataforma, é constituído pelos seguintes elementos:

- Berma do lado esquerdo com 2.00 m de largura, com inclinação transversal e estrutura de pavimento idêntica à faixa de rodagem;
- Faixa de rodagem com 14.00 m de largura, correspondente a quatro vias com 3.50 m de largura cada;
- Berma do lado direito com 0.65 m de largura, com inclinação transversal e pavimento idêntico à faixa de rodagem;
- De ambos os lados da plataforma, são considerados passeios com 1.00 m de largura mínima. Quanto ao gabarit livre é garantida uma altura vertical de 5.25 m.

O projeto do novo túnel Norte, lançado na modalidade de conceção-construção, teve por base o Estudo

Prévio Detalhado (desenvolvido pelas empresas Sener-Engivía e COBA, Lisboa).

O Projeto de Execução da nova galeria Norte (2015), (Geodata Engineering, Itália) e a realização da obra foi de responsabilidade do Consórcio Construtor (RRC), sob fiscalização do próprio Dono de Obra (BRISA, EeG) apoiado numa Assessoria Técnica Especial (COBA-Sener-Engivía).

Trata-se de um túnel de grandes dimensões, com cerca de 25 m de largura total e 367 m de comprimento, com riscos geotécnicos relevantes, pelo facto de se situar numa zona urbana, com escasso recobrimento de terras (Figura 1).



Figura 1. Novo Túnel de águas Santas

Ocupação de superfície e principais condicionamentos

3.1

Conforme já mencionado, o túnel localiza-se em zona urbana, com ocupação em geral dispersa, mais densa e com infraestruturas junto aos emboquilhamentos. No emboquilhamento Nascente assinala-se a Rua D. Afonso Henriques e a Estrada Nacional EN105, com edificações de pequeno/médio porte, com cerca de 10 m de recobrimento sobre a abóbada. No emboquilhamento Poente, o principal condicionamento, prende-se com a presença da linha ferroviária da Ligação Leixões – Ermesinde. O recobrimento entre a via-férrea e a abóbada do túnel é da ordem dos 5 m.

Outro condicionamento importante diz respeito à necessidade de respeitar o Plano de Gestão de Tráfego quando da utilização de explosivos, o qual delimitou em linhas gerais, a suspensão da circulação automóvel nas

galerias existentes durante a detonação das pegas de fogo, a necessidade de medição da velocidade das partículas, assim como a monitorização das deformações das edificações/infra-estruturas existentes.

3.2 Aspetos geológico-geotécnicos

Com base nos resultados de um vasto programa de prospeção e ensaios, foi definido o zonamento e parametrização do maciço rochoso, que serviu de base às soluções desenvolvidas e aos métodos construtivos adotados na execução da obra. Litologicamente, o túnel interessa o denominado “Granito do Porto”, definido por granito alcalino de grão médio a grosseiro, leucocrata, de duas micas. As principais características das três zonas geotécnicas apresentam-se na Tabela 1, na Figura 2, na Figura 3 e na Figura 4.

Tabela 1. Zonamento geotécnico adotado para o novo túnel Norte

Zona Geotécnica	RMR	Características do Maciço				
		Grau de Alteração (W)	Grau de Fracturação (F)	Recuperação (%)	RQD (%)	NSPT
ZG3	< 30	W5 a W4	F4-5 a F5	-	-	5 - 60
ZG2	30 – 60	W3-4 a W3	F3-4 a F4	< 70	< 50	-
ZG1	> 60	W2-3	F2 a F3	> 70	> 50	-

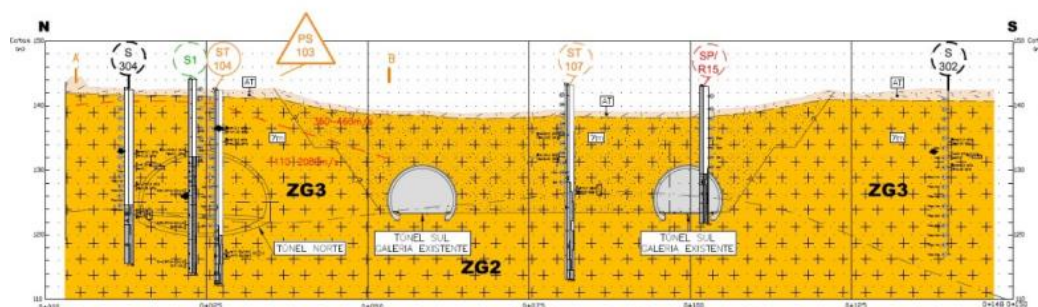


Figura 2. Perfil geológico transversal – Emboquilhamento Nascente

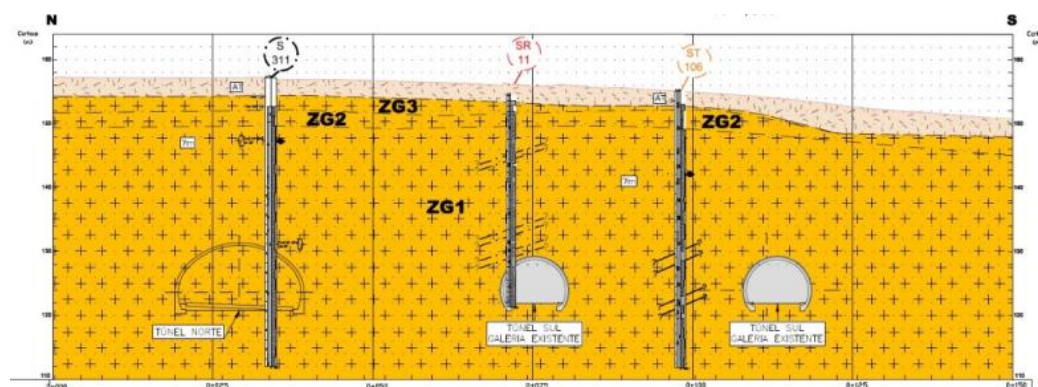


Figura 3. Perfil geológico transversal – Túneis

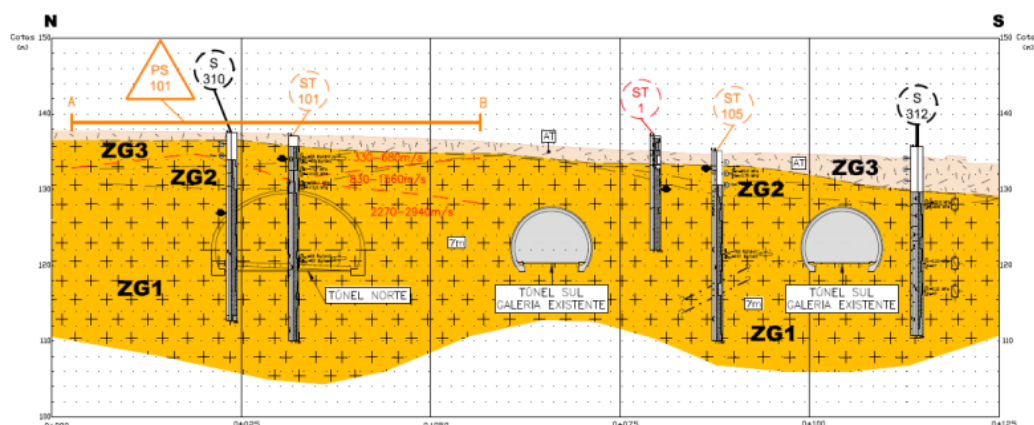


Figura 4. Perfil geológico transversal – Emboquilhamento Poente

A zona geotécnica ZG3 (maciço de menor qualidade), ocorre essencialmente junto às imediações do emboquilhamento Nascente, sendo caracterizada essencialmente por granito decomposto a muito alterado (W_5 a W_4), incluindo saibros arenosos compactos, a muito compactos em profundidade ($N_{SPT} > 60$ pancadas, em geral, a partir dos 10 m de profundidade) e ainda por aterros de saibro granítico.

3.3 Características geométricas das secções tipo

Face às condicionantes rodoviárias impostas, a geometria interior das secções tipo foi definida de forma a circunscrever o gabarit rodoviário, incluindo os passeios e o espaço necessário para a instalação de equipamento de segurança, procurando manter uma certa proporção entre a área útil e a área total de escavação, assim como manter um fator de forma mais adequado ao provável carregamento dos terrenos envolventes. As secções tipo I e II foram geometricamente definidas com recurso a curvas policêntricas de raios internos de 11.00 m, 5.70 m e 6.70 m (Figura 5).

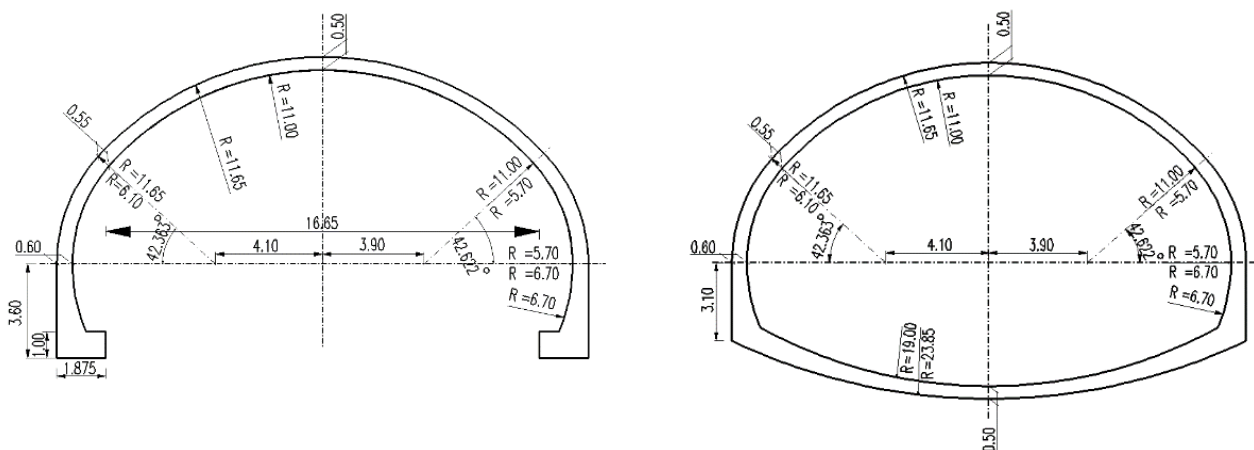


Figura 5. Definição geral das secções tipo I (para ZG1 e ZG2) e tipo II (para ZG3) do novo túnel Norte

Como as características do maciço condicionam o tipo de fundação associado a cada zona geotécnica, foram adotadas duas secções tipo, diferindo as mesmas no processo construtivo e no modo de fundação. Para instalar as diversas redes e sistemas - abastecimento de energia, iluminação, sinalização e segurança - foram previstas, sob os passeios, caldeiras contínuas para colocação das condutas.

3.4 Emboquilhamentos

3.4.1 Emboquilhamento Poente

No coroamento do talude frontal do emboquilhamento Poente localiza-se a linha de caminho de férreo da Ligação Leixões-Ermesinde, mantida em exploração ao longo do decorrer da obra, sendo este um aspeto

condicionante na definição das soluções de projeto. Paralelamente à linha férrea e adjacente às escavações a efetuar, situa-se uma rua local com uma faixa de rodagem (uma via em cada sentido). Nesta zona, a solução construtiva consistiu essencialmente em fazer uma suspensão provisória da via férrea, em funcionamento até a construção do revestimento definitivo do emboquilhamento, incluindo reaterro do local.

3.4.2 Emboquilhamento Nascente

No coroamento do talude frontal do emboquilhamento Nascente situa-se a Rua D. Afonso Henriques, caracterizada por uma faixa de rodagem bidirecional com duas vias de circulação, ladeada por edifícios de pequeno/médio porte e por uma zona de estacionamento, adjacente a um muro de alvenaria de pedra, a preservar. No troço inicial e lateral do emboquilhamento localizam-se três edifícios, um edifício de habitação de pequeno/médio porte, com 3 pisos elevados, um edifício mais afastado, igualmente de habitação, de grande porte com 7 pisos elevados e 1 cave semi-enterada e um edifício tipo armazém de pequeno porte com 1 piso elevado. No seguimento das edificações anteriores, existem um conjunto de arruamentos secundários.

A solução proposta no projeto consistiu essencialmente na construção, ao longo do talude Norte do emboquilhamento, de uma cortina de estacas, secantes, com 1.00 m de diâmetro, espaçadas de 0.85 m, ancorada definitivamente, com forma de “L”, no sentido de também conter o talude frontal do túnel. A solução desenvolve-se num total de 150 m de extensão, sendo caracterizada por 2 a 4 níveis de ancoragens definitivas, espaçadas de cerca de 5 m, com tração instalada variável entre 500 kN e 700 kN (Figura 6 e Figura 7).



Figura 6. Emboquilhamento nascente do Novo Túnel de Águas Santas



Figura 7. Contenção ancorada no emboquilhamento nascente



3.5 Programa de instrumentação e observação

Tratando-se de um túnel de grande dimensão, executado em meio urbano, a monitorização assume um papel central, não apenas no que respeita ao controle do comportamento e segurança da obra, como também no que respeita à afetação dos edifícios e infra-estruturas existentes na envolvente do túnel. No sentido de avaliar, com razoável precisão e em redundância, o modo de deformação do maciço e, consequentemente, confirmar a validade do suporte primário preconizado, torna-se fundamental estabelecer, em fase de obra, um programa de observação baseado em:

No interior do túnel:

- Medições de deslocamentos absolutos e convergências com alvos óticos.

Desde o exterior do túnel, incluindo emboquilhamentos:

- Medições de deslocamentos absolutos com alvos óticos (contenções e edificações);
- Medições de deslocamentos absolutos e convergências com alvos óticos (galeria existente);
- Medições de deslocamentos com extensómetros de varas;
- Medição de deslocamentos horizontais recorrendo a inclinómetros;
- Medições de assentamentos com marcas topográficas de nivelamento de precisão;
- Medição do nível de água através de piezómetros;
- Medição de vibrações utilizando sismógrafos (edificações e galeria existente);
- Medições de deformações através de extensómetros de corda vibrante (galeria existente e estrutura de suspensão de via);
- Medições de rotações através de clinómetros (edificações);
- Medição de fissuras com medidores de fissuras elétricos (edificações);
- Medição de variações de pré-esforço recorrendo a células de carga elétricas (ancoragens definitivas). Das estruturas instrumentadas à superfície com plano específico, destaca-se a estrutura de suspensão da

via do caminho-de-ferro do emboquilhamento Poente, as estruturas de contenção executadas no emboquilhamento Nascente, incluindo as edificações e particularmente, a galeria existente, ambas suficientemente próximas para serem influenciadas pela construção do novo túnel, utilizando para o efeito, entre outras, medições de convergência, de deformação com barras extensométricas e de vibrações com sismógrafos.

3.6 Suporte primário

Em linhas gerais, o suporte primário é adotado em função da qualidade do maciço, sendo de destacar os seguintes aspetos, função da zona geotécnica:

- ZG1: Revestimento de betão projetado, reforçado com fibras metálicas (0.25 m de espessura mínima); Reforço do maciço com pregagens expansivas de 200 kN, com 6 m de comprimento, dispostas numa malha de 2.0 m x 2.0 m.
- ZG2: Revestimento de betão projetado, reforçado com fibras metálicas (0.30 m de espessura mínima); Reforço do maciço com pregagens expansivas de 200 kN, com 6 m de comprimento, dispostas numa malha de 1.5 m x 1.5 m. Colocação de cambotas metálicas treliçadas, espaçadas de 1.5 m.
- ZG3: Escavação faseada; Revestimento de betão projetado, reforçado com fibras metálicas (0.30 m de espessura mínima); Reforço do maciço com chapéu duplo troncocónico de enfilagens, espaçadas de 0.35 m, com 12.00 m de comprimento, em aço de alta resistência. Colocação de cambotas metálicas, apoiadas nas fases intermédias da escavação através de microestacas, de secção semelhante às enfilagens; Execução de soleira provisória, de betão reforçado com fibras metálicas, nas secções intermédias da escavação; Reforço da frente de escavação com pregagens de fibra de vidro e execução de drenos sub-horizontais.

3.7 Revestimento definitivo

O revestimento definitivo do túnel, em betão armado, é definido em função das duas secções tipo, adotadas de acordo com o zonamento geotécnico interessado (ver § 3.3). Como espessura mínima tem-se 0,50 m em ZG1/ZG2 e máxima de 1,15 m em ZG3. Quando existente, a espessura mínima da soleira é de 0.50 m (ZG3).

3.7.1 Proteção do betão contra o fogo

No caso da eventual ocorrência de um incêndio no interior do túnel, o betão será submetido a elevado gradiente de aquecimento. Para minimizar o efeito de expansão explosiva do betão, foi prevista a adição de fibras de polipropileno, na dosagem de 1 kg/m³. Considerou-se também um recobrimento nominal mínimo das armaduras de 5 cm.

Na zona mais urbanizada do emboquilhamento Nascente, foi ainda prevista a execução de uma proteção passiva contra a ação do fogo na face interior do revestimento de betão do túnel, numa extensão de 71 m, no sentido de evitar a sua deterioração mecânica e eventual colapso, em consequência da ação de um incêndio. A proteção foi materializada por uma argamassa de base cementícia, aplicada por projeção, satisfazendo, para a ação da curva da evolução de temperaturas do fogo RWS (recomendações holandesas), os seguintes requisitos: taxa máxima da temperatura no betão adjacente à proteção < 4°C/min; temperatura máxima atingida pelo betão na interface com a proteção ≤ 300°C, durante 240 minutos.

3.8 Sistema de impermeabilização e drenagem

Reconhecida a possibilidade de presença de água no maciço, a estrutura foi dotada de um sistema de impermeabilização e drenagem. Ao longo de toda a galeria subterrânea instalou-se uma membrana impermeabilizante de PVC de 2 mm de espessura, associada a um geotêxtil com funções de proteção e de drenagem, não tecido, agulhado, em polipropileno. O geotêxtil de proteção foi aplicado entre o suporte primário e a membrana, no sentido de a proteger e simultaneamente captar e transportar a água subterrânea que eventualmente, exista na zona envolvente.

Na base dos hasteais estão localizados drenos longitudinais DN 200, em PVC ou PP, envolvidos em geotêxtil, com a finalidade de receber as águas infiltradas, encaminhando-as para o sistema de drenagem longitudinal do emboquilhamento de saída (ligação ao sistema de drenagem da plataforma rodoviária exterior), com ligações redundantes em “espinha” ao dreno da soleira, para maior eficácia do sistema (Figura 8).

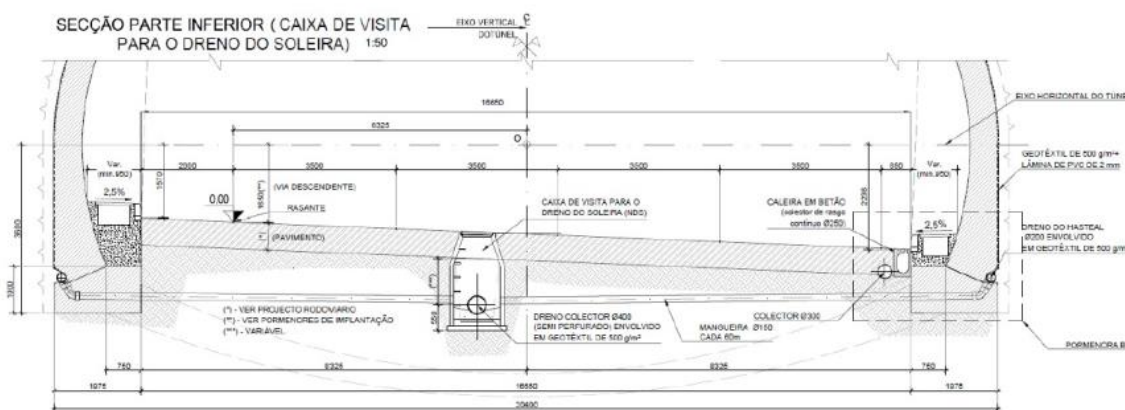


Figura 8. Órgãos de drenagem do novo túnel Norte. Secção tipo



Para além da drenagem da envolvente da galeria, a drenagem da soleira é constituída por um dreno/coletor longitudinal, em PVC ou PP, envolvido por geotêxtil e material drenante, implantado na segunda via de cada faixa de rodagem, permitindo a intervenção para manutenção sem corte da totalidade das vias, nos dois sentidos. Foram previstas caixas de visita não acessíveis, afastadas aproximadamente de 100 m. A implantação deste tipo de caixas, pretende evitar qualquer problema relacionado com as tampas das caixas ao nível do pavimento rodoviário.

3.9 Drenagem superficial da plataforma rodoviária

Com a função de recolher as águas provenientes do pavimento do túnel (muitas vezes contaminadas), foi prevista a colocação de uma caleira (caleira de rasgo lateral com coletor incorporado, com capacidade de vazão equivalente a um coletor de secção circular de diâmetro de 300 mm), localizada na extremidade da plataforma (face à sobrelevação da plataforma, foi implantada na berma direita do túnel), acompanhando todo

o desenvolvimento do túnel. Este elemento encontra-se dotado de caixas sifonadas para prever o espalhamento descontrolado do fogo na eventualidade de derrames de materiais inflamáveis no interior do túnel.

3.10 Equipamentos

Os sistemas de equipamentos de segurança, controlo e conforto previstos para o túnel são:

- Rede de incêndio;
- Sistema de videovigilância (CCTV);
- Iluminação;
- Sistema de fornecimento de energia elétrica;
- Sistema de deteção de incêndio;
- Sistema de rádio;
- Chamada de emergência, SOS;
- Painéis de mensagens variáveis, PMV;
- Sinalização vertical luminosa;
- Sistemas de monitorização atmosférica (sensores CO/OP/NO e anemómetros);
- Sistemas de controlo de tráfego;
- Sistema de controlo geral (Building Management System, BMS).

Considerações finais

A obra foi executada de acordo com as soluções definidas no projeto, não tendo existido a necessidade

4

de adaptações na fase de construção decorrentes de imprevisibilidades. A realidade geológica-geotécnica aproximou-se à estimada em fase de projeto, que teve por base as várias campanhas de prospeção realizadas.

A monitorização efetuada revelou-se fundamental na observação do comportamento das edificações e infraestruturas existentes na vizinhança e soluções propostas na fase de projeto. Os critérios de alerta e alarme não foram excedidos.

Atualmente, o túnel já se encontra em funcionamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à BRISA Engenharia e Gestão, a devida autorização para publicar este trabalho, assim com a todas as pessoas que participaram na elaboração dos estudos aqui apresentados.