

METRO DE ARGEL. LINHA 1 – EXTENSÃO A. PLACE EMIR ABDELKADER–PLACE DES MARTYRS

ALGIERS METRO. LINE 1 – EXTENSION A. PLACE EMIR ABDELKADER–PLACE DES MARTYRS

Conceição, Miguel; TPF, Lisboa, Portugal, miguel.conceicao@tpf.pt
Baião, Carlos; TPF, Lisboa, Portugal, carlos.baiao@tpf.pt

1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EMPREENDIMENTO

Com uma população que se estima atualmente ser superior a 3 milhões de habitantes, a cidade de Argel, capital da Argélia, encontra-se presentemente em franco desenvolvimento, situação que tem resultado num forte investimento em infraestruturas. Uma das suas obras mais emblemáticas é o Metro de Argel, até pelo seu cariz quase único, sendo a primeira cidade na região magrebina e a segunda no continente africano, depois do Cairo, a receber uma infraestrutura destas características.

A 31 de outubro de 2011 e após uma longa espera, os residentes da capital argelina testemunharam a entrada em fase de exploração da primeira extensão deste imenso empreendimento. O trecho atualmente em funcionamento tem uma extensão de 13,5 km e liga a Estação *El Harrach Centre*, na zona oriental da cidade, à Estação *Tafourah*, situada junto à *Grande Poste*. Em fase de construção ou de desenvolvimento de projeto está um significativo conjunto de trechos, tal como se pode observar na Figura 1.



Figura 1 - Identificação da Figura 1 (estilo Legenda figura)

O trecho da Extensão A tem aproximadamente 1750 m de comprimento e foi executado inteiramente em subterrâneo na zona central da cidade, ao longo do qual foi prevista a execução de duas estações, a Estação *Place des Martyrs* e a Estação *Ali Boumendjel*. Em cada uma das extremidades da extensão foi prevista a execução de um poço de ventilação, PV1 e PV3 (este último parcialmente construído numa empreitada anterior), complementados por um poço de ventilação adicional, PV2, localizado aproximadamente a meia distância entre as duas estações.

Na Figura 2 pode observar-se a implantação do traçado ao longo da zona histórica e densamente urbanizada da cidade de Argel, enquanto na Figura 3 se apresenta uma vista de toda a encosta ao longo da qual se desenvolve a antiga cidade fortificada, a *Casbah*, com a *Place des Martyrs* em primeiro plano.

Com efeito, o traçado da Extensão A desenvolve-se numa zona da cidade com uma densa ocupação à superfície, predominantemente constituída por edifícios de habitação de épocas bastante distintas. Entre estes, destacam-se os edifícios centenários da época de ocupação colonial francesa, de porte considerável (até seis pisos), e as edificações pertencentes à zona histórica da *Casbah* (citadela), base da cidade medieval reconhecida como património mundial pela UNESCO em 1991. Como veremos mais à frente, os edifícios envolventes à obra encontravam-se, de uma maneira geral, significativamente degradados e fragilizados, não só devido à sua avançada idade e falta de conservação, mas também aos abalos sísmicos que afetam frequentemente a região.



Figura 2 - Implantação da Extensão A da Linha 1 na cidade de Argel



Figura 3 - Vista da *Place des Martyrs* em primeiro plano e da *Casbah* estendendo-se ao longo da encosta

A fase de realização desta obra, cuja conclusão justifica a presente candidatura, nomeadamente todos os trabalhos de escavação e construção dos toscos das estruturas, teve início em 2010 e foi definitivamente concluída durante o ano de 2016. Atualmente, encontra-se ainda em curso uma nova empreitada de instalação de equipamentos e acabamentos, estando prevista a entrada em funcionamento desta extensão entre o final do ano de 2017 e o princípio do ano 2018.

O agrupamento responsável pela construção, GMAC, foi constituído pelas empresas Andrade Gutierrez S.A., Teixeira Duarte S.A., Gesi-TP e Zagope - Construções e Engenharia S.A. O projeto base foi desenvolvido para a EMA (Entreprise Metro d'Alger), numa fase anterior ao concurso, pelo consórcio Ensitrans e o projeto de execução, assim como o acompanhamento técnico da empreitada, esteve a cargo da Cenor Consulting Engineers, atualmente TPF Planege Cenor, contratada pelo agrupamento GMAC.

2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

O traçado situa-se numa zona de morfologia suave e relativamente plana, desenvolvendo-se segundo a linha de costa do Mediterrâneo. Os terrenos são essencialmente constituídos por xistos sericíticos intercalados com algumas manchas de calcários dispersas e sem continuidade. As formações metamórficas têm uma orientação geral E-W e inclinam para Sul, encontrando-se ao longo de todo o traçado cobertas por aterros recentes de composição heterogénea e, na zona do PV1, ainda por aluviões constituídas por areias argilosas e areias com calhaus rolados. A espessura máxima destes depósitos é, em geral, da ordem de 7 m.

De acordo com a interpretação geológico-geotécnica efetuada com base nos elementos disponíveis à data do concurso, bem como nos obtidos durante a campanha de prospeção complementar desenvolvida no âmbito do projeto de execução, o maciço rochoso xistento foi dividido em três classes rochosas designadas por CR1, CR2 e CR3. A classe rochosa CR1 corresponde a uma zona do maciço classificado como horizonte geotécnico Sb, o qual está associado à presença de xistos medianamente a pouco alterados W_{2-3} . Com base nos resultados obtidos nas várias campanhas de prospeção, admitiu-se que este horizonte poderia ser caracterizado por uma resistência média da rocha intacta (σ_{ci}) de 40 a 80 MPa e um valor de GSI situado no intervalo de 34-52, o que equivale a um maciço de qualidade razoável. As classes rochosas CR2 e CR3 correspondem a uma zona do maciço classificado como horizonte geotécnico Sa, associado à presença de xistos muito alterados a decompostos W_{4-5} . A classe CR2 é identificada como a zona com características ainda claramente rochosas deste horizonte do maciço, caracterizada por uma resistência média de σ_{ci} entre 15 a 30 MPa e um valor de GSI entre 23 e 34, valores característicos de um maciço de qualidade razoável a fraca. A classe rochosa CR3, que engloba o material de alteração dos xistos da classe CR2, é caracterizada por uma resistência média de σ_{ci} de 5 MPa e um valor de GSI igual a 10, o que corresponde a um maciço de muito fraca qualidade. Na Figura 4 ilustra-se, com fotos características dos materiais extraídos das sondagens, cada uma destas classes.



CR3 (Sa)

W_5 ; $\sigma_{ci}=5$ MPa; GSI = 10



CR2 (Sa)

W_{4-5} ; F_5 ; $\sigma_{ci}=15$ a 30 MPa; GSI = 23 a 34



CR1 (Sb)

W_3 ; F_{4-3} ; $\sigma_{ci}=40$ a 80 MPa; GSI = 34 a 52

Figura 4 – Características das Classes Rochosas definidas

De acordo com a interpretação hidrogeológica estabelecida verificou-se não ser expectável a ocorrência de um nível freático geral instalado, mas antes a existência de um nível suspenso na base dos materiais de aterro ocorrentes à superfície e, localmente, águas de infiltração circulando em profundidade em zonas mais fraturadas do maciço. Na Figura 5 apresenta-se um perfil longitudinal interpretativo das condições geológico-geotécnicas ocorrentes ao longo do traçado.

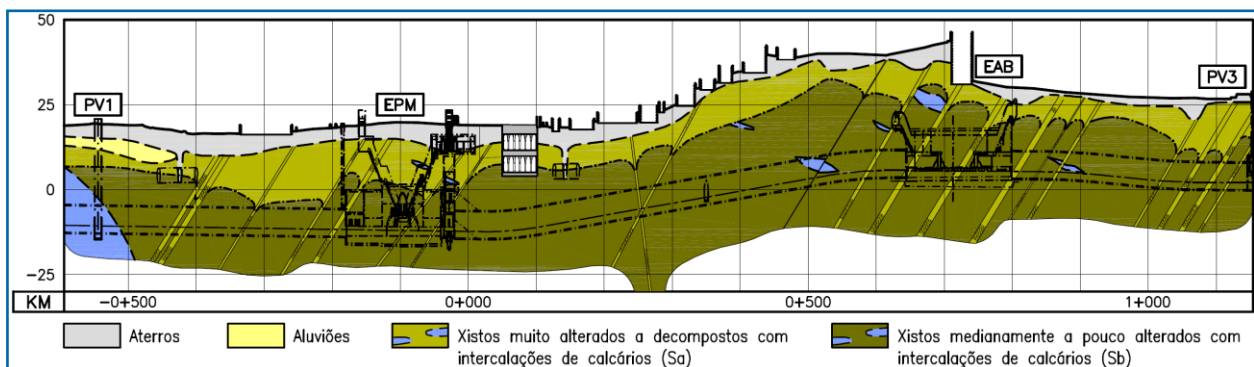


Figura 5 – Perfil geológico-geotécnico longitudinal do traçado

3 - CONDICIONAMENTOS DE SUPERFÍCIE E FRENTES DE ATAQUE

Como referido anteriormente, ao longo de todo o traçado da linha em questão verifica-se uma densa ocupação à superfície, predominantemente constituída por edifícios de habitação de épocas bastante distintas. Entre estes, destacam-se os edifícios centenários da época de ocupação colonial francesa, de porte considerável (até seis pisos), e as edificações da cidade medieval pertencentes à zona histórica e património mundial da *Casbah* (citadela), os quais se encontram em estado de degradação extremamente avançado.

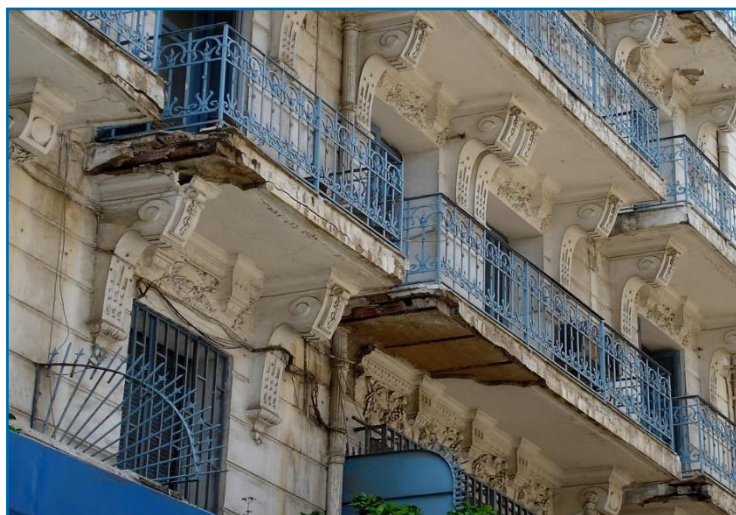
De uma maneira geral, os edifícios envolventes à obra encontram-se significativamente degradados e fragilizados, não só devido à sua avançada idade e falta de conservação, mas também aos abalos sísmicos que frequentemente afetam a região (ver Figura 6). À elevada densidade de edifícios estão associados arruamentos de muito pequena dimensão com níveis de tráfego pedonal e de veículos muito elevado.



a)



b)



c)



d)

Figura 6 – Imagens da envolvente à obra. Em cima, importante património existente: a) Mesquita Ketchaoua, localizada na base da *Casbah*, foi contruída durante o domínio otomano no séc. XVII e é única pela coexistência de elementos muçulmanos e bizantinos; e b) ruela típica da velha *Casbah*. Em baixo: c) o estado de degradação dos edifícios de grande porte da época de ocupação colonial francesa (inícios do séc. XX) e em d) edifícios em ruína da milenar *Casbah*, existentes ao longo do traçado do túnel

A Praça dos Mártires constituía uma exceção, uma vez que apresentava uma ampla área livre à superfície (ver Figura 3), facto que terá conduzido, no âmbito do projeto base, à consideração da execução da estação a céu aberto.

No entanto, a constatação da existência de achados arqueológicos de elevada importância em toda a área da praça invalidou esta possibilidade, optando-se pela execução de uma estação em subterrâneo cujo projeto foi desenvolvido em simultâneo com a construção.

Outro importante fator condicionante para o desenrolar dos trabalhos foi o nível de restrição imposto pelas autoridades oficiais para a utilização de equipamentos pesados na via pública, tendo sido interdita a circulação de camiões pesados no período diurno. Na Figura 7 apresentam-se duas imagens que procuram ilustrar a densa malha urbana existente na zona de implantação do traçado e as restrições aos trabalhos resultantes da intensa ocupação dos arruamentos típicos nesta zona da cidade.



Figura 7 – Imagens da tipologia urbana na zona histórica da cidade de Argel

Face a estes importantes condicionamentos, o estudo das obras de ataque resultava fulcral para o sucesso da obra e para o cumprimento das metas estabelecidas a nível contratual, nomeadamente no que respeitava ao seu prazo de execução.

Da análise do projeto base verificou-se existirem apenas duas frentes de ataque efetivas para o ataque à obra, nomeadamente o poço de ventilação PV1, localizado no início do trecho em direção à *Estação Place des Martyrs*, e a própria *Estação Place des Martyrs*, à data concebida como uma escavação a céu aberto.

As restantes localizações admitidas para as possíveis obras de ataque não constituíam soluções viáveis: (i) o poço de ventilação PV2, quer pela sua reduzida dimensão (7 m de diâmetro), quer pela sua localização, de acesso praticamente impossível; (ii) o poço de ventilação PV3, localizado na *Place Emir Abdelkader*, pelo facto de parte da estrutura definitiva ter sido executada no âmbito da empreitada subsequente, impedindo o acesso de equipamentos ao interior do túnel; (iii) e os acessos da *Estação Ali Boumendjel*, por implicarem a prévia escavação do corpo da estação para se poder dar início à escavação do túnel de via, facto que implicaria o ataque ao trecho de túnel entre esta estação e a *Place Emir Abdelkader* numa fase muito tardia da empreitada.

Adicionalmente, a alteração da solução da *Estação Place des Martyrs* de uma escavação a céu aberto para uma escavação integralmente subterrânea para preservar os achados arqueológicos detetados, deixava apenas disponível um local de ataque à obra, correspondente a uma pequena área retangular na qual terá existido um hotel nos tempos de ocupação francesa e cujas caves terão eliminado todos os vestígios arqueológicos aí existentes.

Na Figura 8 apresenta-se uma imagem da praça e outra dos vestígios arqueológicos encontrados, neste caso correspondente ao piso de uma basílica que terá sido utilizada durante os séculos II a V.

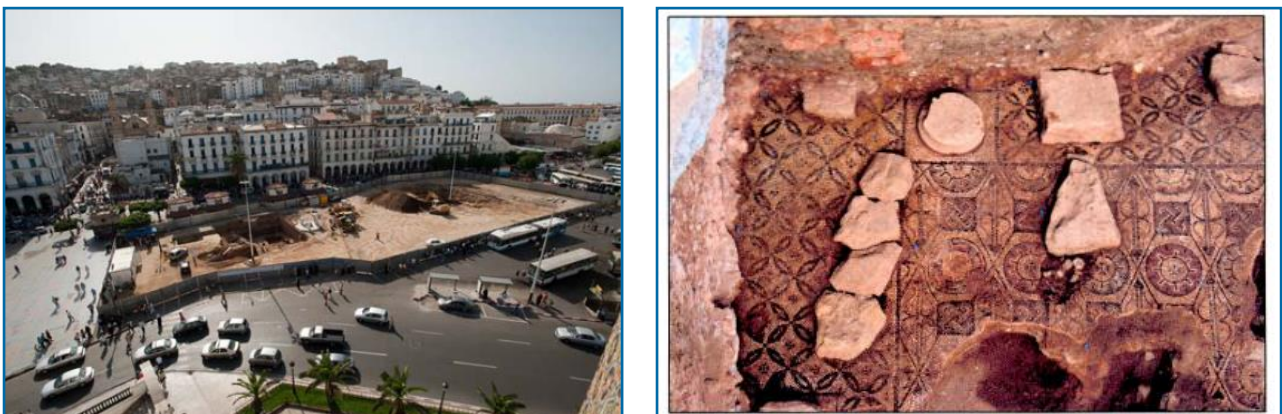


Figura 8 – Imagens da Praça dos Mártires, com o estaleiro já instalado, e das escavações arqueológicas iniciais

Face a este cenário foram analisadas várias possibilidades cujas soluções finalmente adotadas constituíram alguns dos maiores desafios da presente realização. Algumas das mais relevantes serão descritas ao longo do presente trabalho.

Na sua generalidade, pode referir-se que o ataque aos trabalhos de escavação foram realizados: (i) pelo poço PV1 para ataque do trecho de túnel até à Estação *Place des Martyrs*; (ii) por um poço de ataque e de ventilação adicional integrado na nova solução arquitetónica da Estação *Place des Martyrs* para ataque da estação e do trecho de túnel localizado entre esta e a Estação *Ali Boumendjel*; (iii) um poço e ramal adicionais inseridos no Acesso Sul à Estação *Ali Boumendjel* para ataque do trecho de túnel entre a estação e o PV3; e (iv) pela frente resultante de uma alteração à solução arquitetónica do Acesso Nascente da Estação *Ali Boumendjel* (designado por Acesso da Mesquita) de modo a permitir criar uma frente adicional para ataque desta estação.

Com a implementação destas soluções foi possível criar um mínimo de cinco frentes de ataque, fundamentais para garantir o cumprimento dos desafiantes prazos previstos para a empreitada, sobretudo tendo em consideração a enorme complexidade resultante da sua localização.

Salienta-se, ainda, que as soluções estudadas para as escavações subterrâneas das estações previam a possibilidade de criação de frentes de trabalho múltiplas, aspeto muito relevante face aos importantes volumes de escavação associados à sua construção.

Como se verá mais à frente, uma frente adicional foi ainda criada em resultado de uma solução alternativa desenvolvida para o poço PV2, a qual contemplava a criação de um novo acesso à Estação *Ali Boumendjel* junto ao Teatro Nacional de Argel.

4 - DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS OBRAS PROJETADAS

4.1 - Túnel de via

Consistiu na realização de 3 trechos de túnel para inserção da via com um comprimento total de cerca de 1450 m. A escavação para materialização do túnel, realizada pelo método de escavação sequencial conhecido por NATM, resultou numa secção de 75 m², correspondente a uma largura de escavação máxima de 10 m e uma altura de 9,0 m (Figura 9).

A escavação foi realizada quase na íntegra em xistos medianamente a pouco alterados, ocorrentes num maciço de qualidade razoável, o qual surgia, no entanto, com uma grande variabilidade nas frentes da escavação, fruto sobretudo da sua forte tectonização, tal como se pode observar na Figura 10.

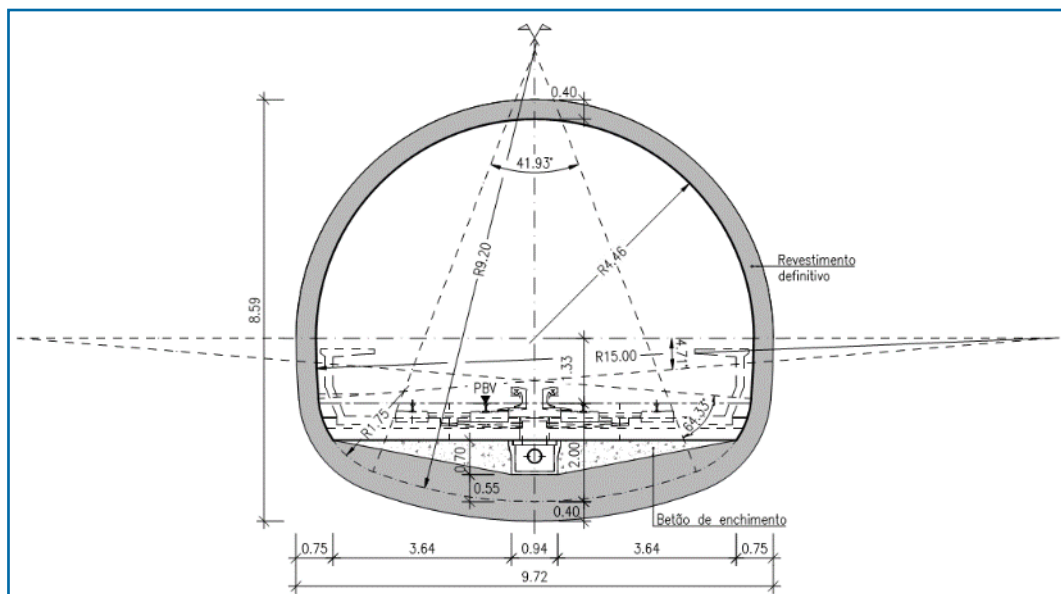


Figura 9 – Secção transversal do túnel de via

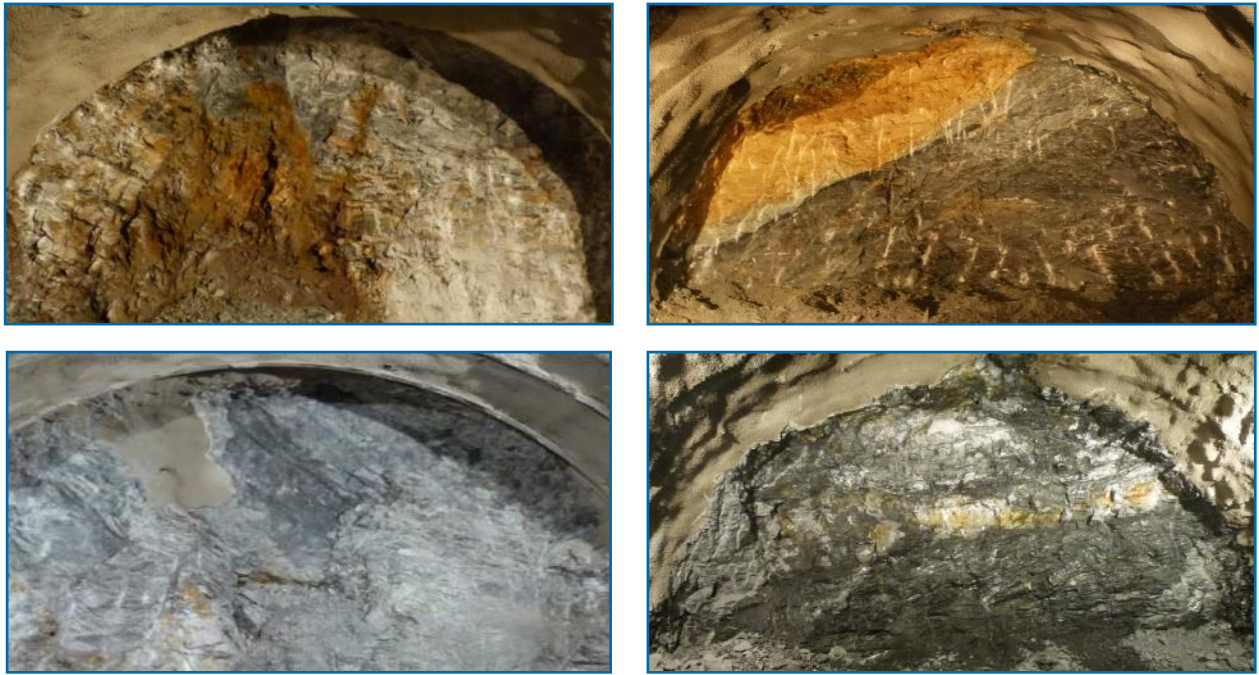


Figura 10 – Variabilidade dos materiais na frente de escavação do túnel

4.2 - Poço de ventilação PV1

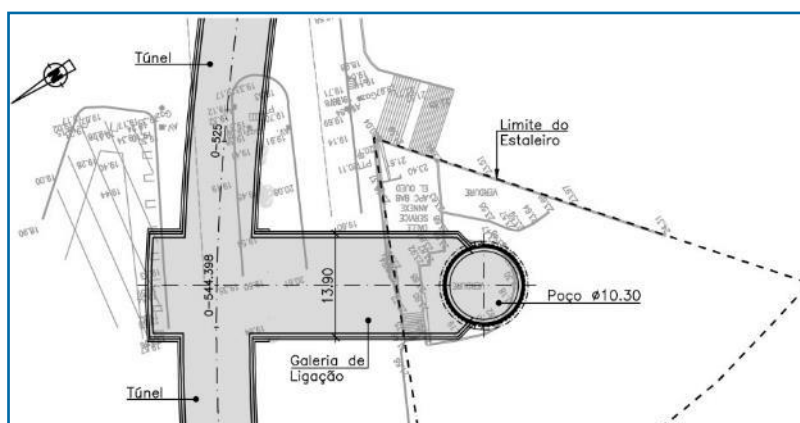
O poço de ventilação PV1 situa-se na zona de menor densidade de edificação de toda a obra, no Jardim de Praga, próximo do edifício do Liceu *Emir Abdelkader*, o que facilitava a instalação do estaleiro para materialização de uma das primeiras frentes de ataque à obra, localizada numa das extremidades do traçado, a partir da qual se realizaria todo o troço de túnel em direção à *Place des Martyrs* (troço 1).

Esta obra era composta por um poço vertical, escavado com recurso a uma metodologia de escavação sequencial típica para este tipo de soluções (NATM), apresentando uma profundidade aproximada de 39 m e um diâmetro interior de 10 m. A partir da sua base foi executada uma galeria de ligação com um vão de cerca 14,5 m e um comprimento de aproximadamente 35 m. Esta galeria intersectava o túnel de via ortogonalmente no km 0+528, onde foram iniciados os trabalhos de escavação do túnel através da criação de duas aberturas na referida galeria de ligação.

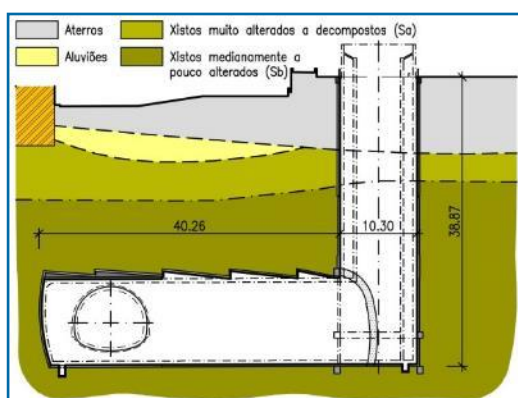
A solução preconizada não diferiu significativamente da prevista no projeto base, razão pela qual foi a primeira obra a ser iniciada e a partir da qual se realizaram os primeiros trabalhos de escavação subterrânea.

A principal dificuldade na conceção desta obra resultou do facto da secção da galeria de ligação, resultante dos requisitos necessários para a fase de exploração e para instalação do equipamento de ventilação, ser superior ao diâmetro do poço, implicando cuidados adicionais na definição das soluções de suporte das escavações, em especial na zona de ligação entre as duas estruturas referidas.

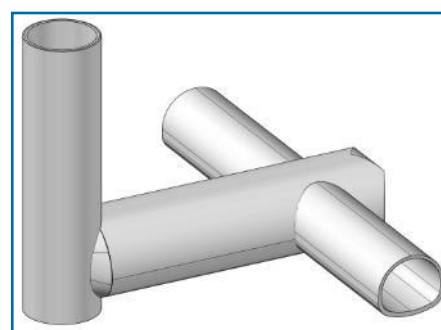
De referir que, para permitir as aberturas na galeria de ligação necessárias ao ataque ao túnel de via, se previu a execução de uma estrutura de reforço em betão projetado armado pelo interior da secção, sendo para tal necessário prever uma secção de escavação superior. Na Figura 11 apresenta-se a solução adotada.



a) Planta geral



b) Corte longitudinal



c) Vista 3D

Figura 11 – Localização e esquema da obra de ataque localizada no PV1

4.3 - Estação *Place des Martyrs*

4.3.1 - Corpo principal

Com uma ampla área livre à superfície (ver Figura 3), a *Place des Martyrs* constituía a exceção à exiguidade do espaço disponível à superfície ao longo de todo o traçado, facto que terá levado à consideração, no âmbito do projeto base, da execução da estação pelo método “céu aberto”.

No entanto, com a constatação, durante uma fase posterior de trabalhos de investigação arqueológica, da existência de achados de elevada importância em toda a área da praça, esta possibilidade tornou-se inviável tendo sido decidido desenvolver os estudos necessários para a execução de uma estação em subterrâneo, os quais foram integralmente desenvolvidos no âmbito da atual empreitada e implicaram estudos de traçado de forma a garantir um recobrimento superior na zona da estação. Esta alteração da solução da Estação *Place des Martyrs* de uma escavação a “céu aberto” para uma escavação integralmente subterrânea, condicionada pelos referidos achados arqueológicos, deixava disponível apenas um local de ataque à obra correspondente a uma pequena área retangular, na qual terá existido um hotel nos tempos de ocupação francesa e cujas caves terão eliminado todos os vestígios arqueológicos aí existentes.

A área de implantação deste antigo edifício possibilitou a materialização de uma frente de ataque à obra através da execução de um poço, a partir do qual foi efetuado o ataque à Estação *Place des Martyrs* e ao troço de túnel de via localizado entre as duas estações. O poço concebido, integrado na solução definitiva da estação como poço de ventilação e zona de instalação de serviços, tinha um diâmetro de 15 m e foi construído recorrendo à metodologia de escavação sequencial. Numa primeira fase, este poço foi escavado apenas até uma cota que permitisse o ataque da galeria de prospeção da estação. Esta galeria era fundamental para os trabalhos de escavação da estação uma vez que, não só permitia o ataque pelo seu coroamento, como garantia uma adequada prospeção e avaliação das reais condições geológico geotécnicas. Dada esta necessidade de suspender a escavação do poço a uma cota intermédia durante um importante período de tempo, os trabalhos de escavação do túnel de via arrancaram também do mesmo nível, situação que implicou a execução de um túnel de ataque com inclinação descendente. Este túnel foi posteriormente rebaixado de modo a integrar a secção final do túnel de via. Na Figura 12 apresenta-se quer a planta de localização da estação, incluindo o poço de ataque, quer um corte transversal do poço na fase em que era utilizado para o ataque à galeria localizada no topo da estação e para o ataque ao Troço 2 do túnel de via.

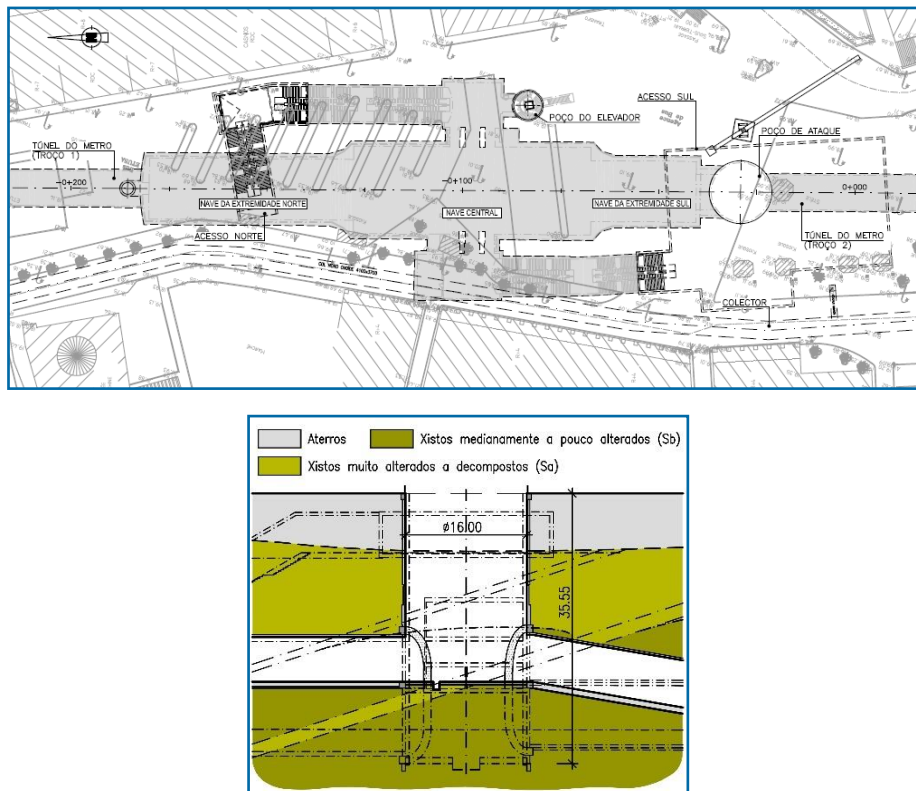


Figura 12 – Planta de localização da Estação *Place des Martyrs* e corte transversal pelo poço de ataque

Como mencionado, o ataque aos trabalhos de escavação da estação foi iniciado a partir de uma galeria de prospeção executada a partir do poço de ataque. Esta galeria tinha a extensão da estação, cerca de 144,0 m, uma largura máxima de 8,6 m e uma altura de 7,1 m, o que se traduzia numa secção de escavação com uma área de cerca de 56 m². Esta galeria correspondeu à primeira fase de escavação das secções finais da estação, a qual era constituída por três corpos distintos, uma nave central e duas naves de extremidade. A nave central desenvolvia-se ao longo de 62,0 m e apresentava uma largura máxima de escavação de 26,0 m e uma altura de 19,2 m, correspondendo a uma área de escavação de 397 m². As naves de extremidade desenvolvem-se ao longo de 26,8 m e 52,5 m, respetivamente a Sul e a Norte, apresentam uma largura máxima de escavação de 18,4 m e uma altura de cerca de 16,4 m, correspondendo a uma área de escavação de 245 m². O maior desenvolvimento de uma das naves de extremidade deveu-se ao facto de nela ser instalado parte do sistema de ventilação, estando a restante parte integrada no poço. O recobrimento médio ao longo da extensão da estação era de 18,0 m, ou seja, inferior ao diâmetro equivalente da secção máxima da estação, e interessava sobretudo a classe rochosa CR2, isto é, os xistos mais alterados e fraturados. Nas figuras seguintes apresenta-se um perfil longitudinal e as secções transversais dos corpos da estação.

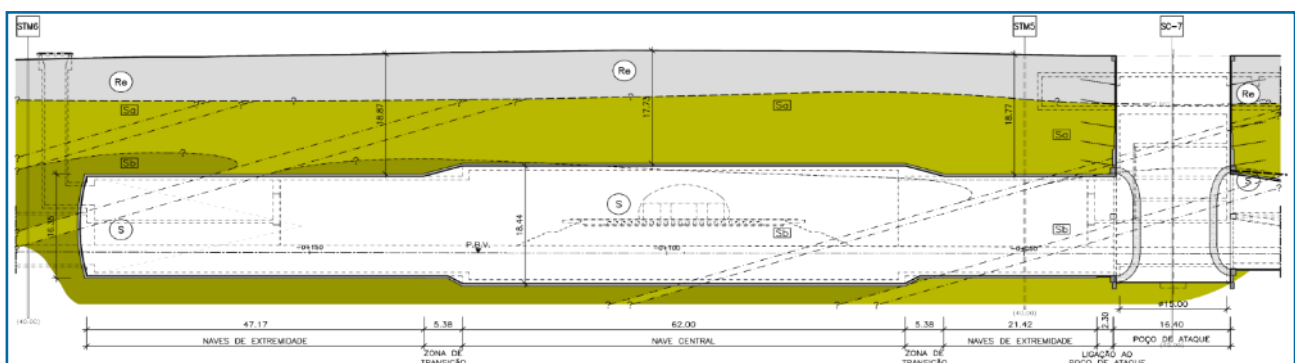


Figura 13 – Corte longitudinal da estação – recobrimento de ~18m

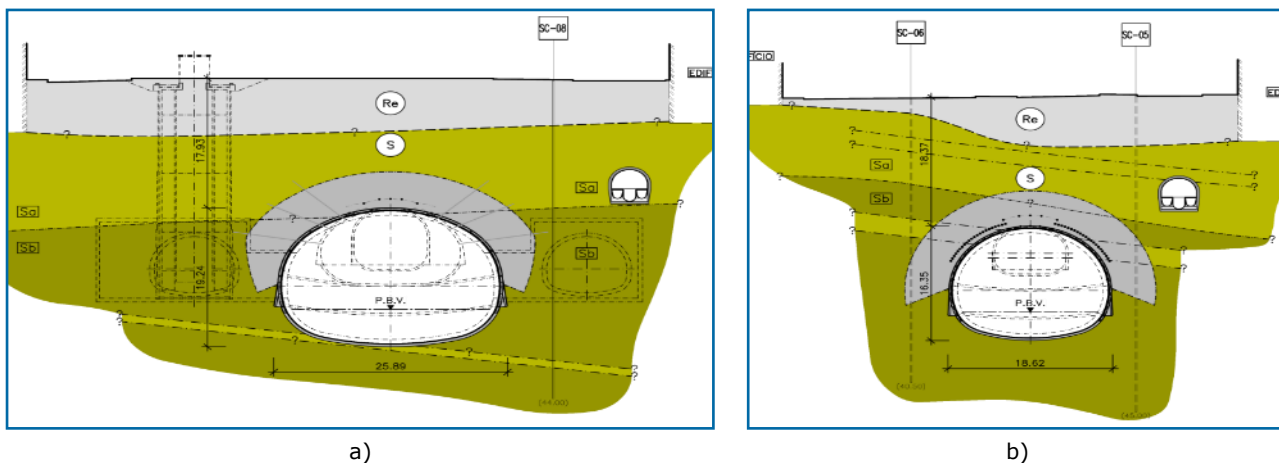


Figura 14 – Secções transversais do corpo da estação: a) nave central: 397 m²; a) naves de extremidade: 245 m²

A decisão de executar, numa primeira fase, uma galeria de prospeção para arranque dos trabalhos de escavação associados à Estação *Place des Martyrs* resultou de um importante conjunto de fatores. Em primeiro lugar, interessa referir que a metodologia executiva inicialmente definida para a Estação *Place des Martyrs* foi alvo de uma profunda alteração, uma vez que foi substituída a solução a “céu aberto” prevista no APD por uma solução que maximiza os trabalhos de escavação a realizar em subterrâneo, facto que permite preservar e enquadrar os achados arqueológicos existentes na camada superficial de aterros ocorrente na zona da praça, mais propriamente aqueles encontrados junto ao átrio do acesso Sul. Esta alteração implicou um atraso no arranque do estudo das soluções construtivas, o qual só pôde ter início após o fecho e aprovação do layout geral da estação. Assim, de modo a não condicionar significativamente o planeamento geral da empreitada, propôs-se o desenvolvimento prioritário de um projeto e conseqüente execução de uma galeria de prospeção correspondente a uma primeira fase de escavação das secções da estação. Esta solução, que permitiu o início antecipado dos trabalhos de escavação, oferecia ainda um conjunto de vantagens muito relevantes para o sucesso da importante escavação a realizar.

Com efeito, para além de permitir a utilização do poço de ataque para o arranque dos trabalhos de escavação da estação ao nível do respetivo coroamento, não inviabilizando o início da escavação do túnel de via, garantia o reconhecimento geológico-geotécnico complementar do maciço interessado pela estação, o qual permitiu, não só confirmar os pressupostos de projeto antes de se iniciarem as escavações dos alargamentos, mas também selecionar a melhor localização para os mesmos se efetuarem. Possibilitava, assim, definir com maior segurança, quer os pré-suportes e os revestimentos primários a instalar, quer o faseamento executivo a implementar. Finalmente, esta galeria permitia ainda a execução do tratamento e drenagem do maciço em toda a extensão da estação.

As grandes galerias da Estação *Place des Martyrs* foram então escavadas a partir da galeria de prospeção executada numa primeira fase. Tendo em consideração a solução prevista, os trechos das cambotas a instalar na abóbada da galeria de prospeção foram definidos prevendo o seu futuro prolongamento para as secções de alargamento a realizar em segunda fase. Da mesma forma, o afastamento das cambotas a instalar nesta fase teve em consideração os alargamentos a executar posteriormente, tendo-se adotado um afastamento constante de 1,0 m.

De modo a não condicionar o faseamento geral da escavação da estação e em particular a definição dos pré-suportes necessários para a abertura das grandes galerias da estação, a saber, enfilagens de tubo metálico, optou-se pela não utilização deste tipo de elementos durante a escavação da galeria de prospeção, tendo-se optado pela definição alternativa de um tratamento em avanço do maciço rochoso localizado ao nível da abóbada através do recurso a injeções de calda de cimento.

A galeria de prospeção foi também concebida para proceder ao tratamento e à drenagem do maciço em toda a extensão da estação, pelo que, após a sua conclusão e antes do início de quaisquer trabalhos de escavação adicionais, se previu a realização de um tratamento do maciço localizado no contorno das secções finais das galerias da estação com a realização de injeções de calda de cimento. Estas injeções, executadas radialmente, garantiam o tratamento de uma auréola de maciço com cerca de 5,0 m localizada para além da linha de escavação máxima das secções finais, procurando, deste modo, criar as necessárias condições de segurança para a abertura das grandes cavidades que constituíam os corpos principais da estação. Estas injeções são representadas na Figura 15.

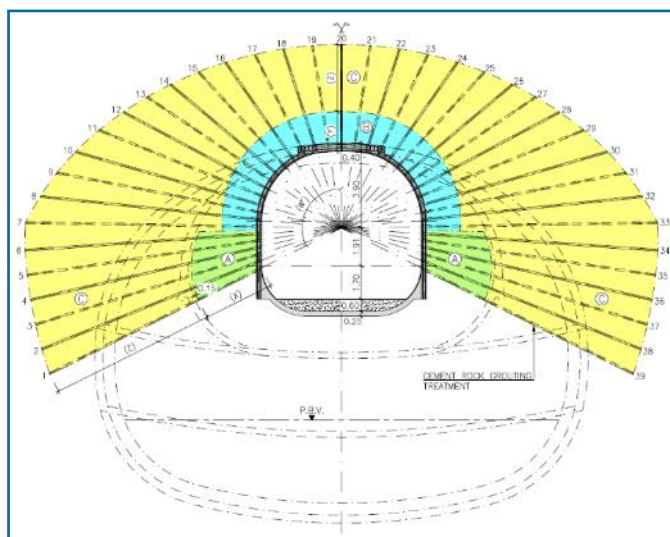


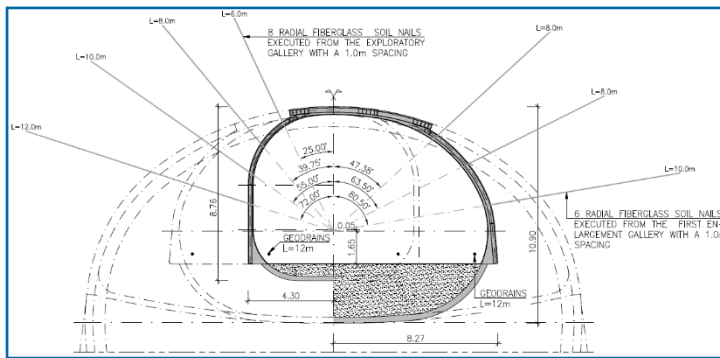
Figura 15 – Definição do tratamento de injeções realizadas a partir do interior da galeria de prospecção

Salienta-se que estas injeções foram concebidas com base no estado de alteração e do grau de fracturação do maciço localizado sobre a abóbada, estimados a partir dos resultados obtidos nos trabalhos de prospecção efetuados nas diversas fases de estudo decorridas. Adicionalmente, a consideração da existência de zonas injetáveis do maciço advém dos resultados obtidos nos ensaios Lugeon realizados durante a campanha de prospecção complementar e da análise das amostras recolhidas das sondagens realizadas na zona da Estação Place des Martyrs.

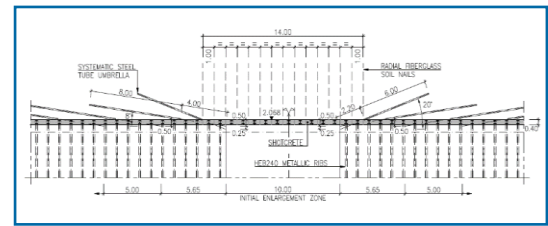
Estas injeções tinham o desígnio particular de procurar preencher, com pressões controladas, todas as eventuais fraturas 'injetáveis' que o maciço pudesse ter acima da abóbada. O controlo das pressões garantia a minimização dos riscos de roturas do maciço e de interferência com as descobertas arqueológicas existentes próximo da superfície.

Com este tratamento procurava-se alcançar uma homogeneização das características do maciço de modo a garantir a sua máxima contribuição para a abertura das grandes naves da estação e, assim, aumentar o nível de segurança da escavação a realizar. Adicionalmente, havia a expectativa de reduzir significativamente os riscos de instabilidades locais nas abóbadas das secções, instabilidades que, em resultado do reduzido recobrimento, poderiam ter consequências bastante sérias. É certo que a efetividade deste tratamento dependia muito da necessidade do mesmo, ou seja, do estado e condição da fracturação ocorrente no maciço ao longo de toda a extensão das galerias da estação. Não obstante, tendo em consideração as dimensões pouco correntes das galerias a abrir, aliadas ao baixo recobrimento existente, inferior a um diâmetro, e, ainda, à pouca qualidade expectável para o maciço rochoso ocorrente nessa zona, considerou-se que, apesar dos riscos reais de se obter uma fraca efetividade deste tratamento, este era claramente justificado perante a complexidade e os riscos das escavações.

A partir da galeria de prospecção, e uma vez garantido o tratamento através das injeções radiais preconizadas, seriam materializadas as galerias da estação através do seu alargamento. Este alargamento foi efetuado, numa primeira fase, através da escavação lateral da secção ao longo de uma extensão de 10,0 m, realizada necessariamente numa zona onde as escavações da galeria de prospecção tivessem revelado um maciço com características favoráveis a esta abertura. Uma vez que este alargamento era realizado sem recurso ao pré-suporte previsto para a restante extensão da estação, a saber, enfilagens de tubo metálico, preconizou-se, como medida de pré-suporte alternativa, a realização de um tratamento adicional com pregagens radiais de fibra de vidro instaladas a partir da galeria de prospecção numa extensão de 14,0 m, centradas na zona a alargar (ver Figura 16). Estes elementos contribuíam para a estabilidade do contorno de escavação antes da aplicação da primeira camada do revestimento. O faseamento executivo é descrito adiante com maior detalhe.



a)



b)

Figura 16 – Tratamentos executados a partir da galeria de prospeção previamente ao alargamento da secção a) corte transversal; b) corte longitudinal

A partir destes alargamentos foram realizados os tratamentos de pré-suporte constituídos por enfilagens, os quais permitiam dar continuidade às escavações, agora com ataque frontal e com melhores condições de segurança. Esta metodologia seria posteriormente repetida para o segundo alargamento da nave central da estação. Após a conclusão dos trabalhos dos alargamentos, a obra disporia de duas frentes de ataque adicionais para a escavação das galerias da estação, isto é, em direção às suas duas extremidades.

No caso da nave central, tendo em consideração as suas dimensões, foi prevista a escavação da secção recorrendo a uma parcialização que contempla a execução de uma galeria central, dois alargamentos laterais para a materialização integral da meia-secção superior e dois níveis de rebaixo. Na Figura 17 apresenta-se um esquema com o faseamento preconizado para a nave central. A solução preconizada para o revestimento primário da nave central previu a adoção de um único revestimento primário tipo, constituído por cambotas HEB240 afastadas, regra geral, de 1,0 m, integradas numa espessura de betão projetado de 0,40 m. Associado ao revestimento da galeria estava ainda previsto o fecho da secção com arcos invertidos provisórios.

No que diz respeito ao primeiro rebaixo, no sentido de permitir uma eventual dispensa da execução do arco invertido previsto, caso o maciço assim o permitisse, foi definida uma “pata de elefante” para apoio do revestimento nesta fase de escavação. Por outro lado, reconhecendo-se a grande dificuldade normalmente encontrada no fecho das cambotas ao nível da soleira em secções destas dimensões, foi previsto o fecho do revestimento principal, ao nível do último rebaixo, recorrendo a um revestimento constituído por betão projetado armado.

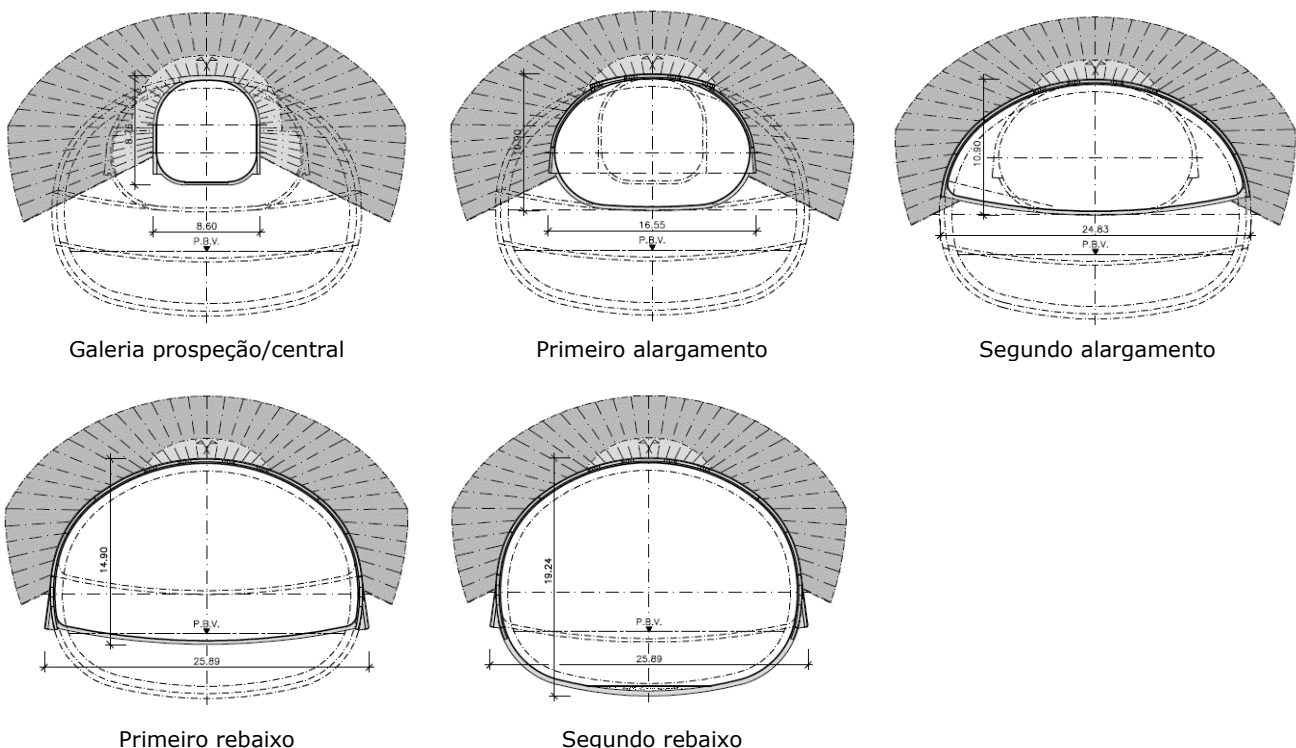


Figura 17 – Parcialização da escavação da nave central da Estação *Place des Martyrs*

Em relação às naves de extremidade, tendo em consideração a sua dimensão mais reduzida, foi prevista a escavação da secção recorrendo a uma parcialização que contemplava a execução de uma galeria central, correspondente à galeria de prospeção entretanto realizada, uma única fase de alargamento lateral para a materialização integral da meia-secção superior e os mesmos dois níveis de rebaixo. A Figura 18 apresenta a parcialização adotada para a abertura da meia secção superior, sendo a solução dos rebaixos idêntica à da nave central. O revestimento primário adotado foi também muito semelhante ao da nave central.

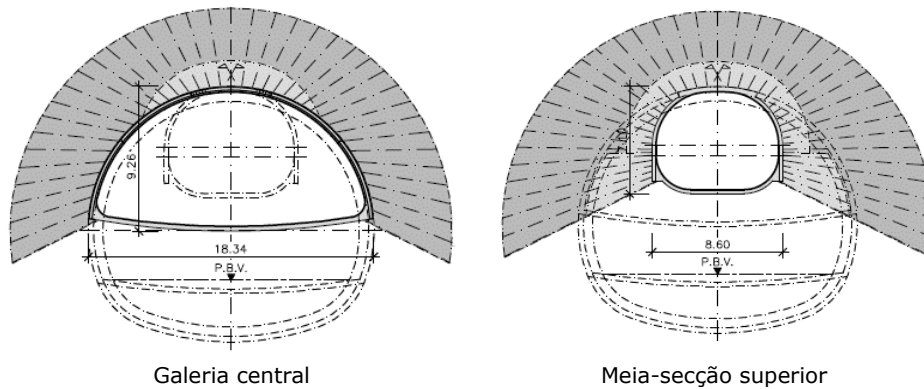
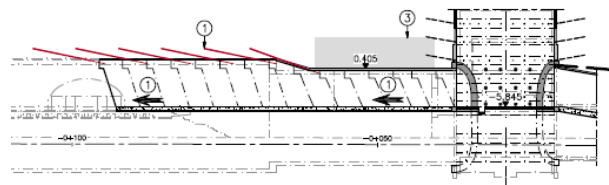
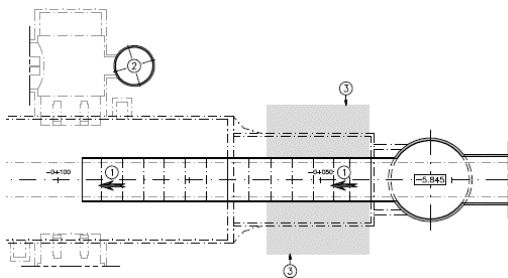


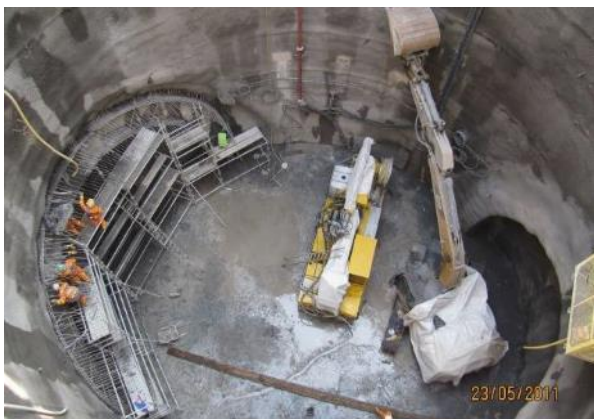
Figura 18 – Parcialização da escavação nas naves dos topos da Estação *Place des Martyrs*

Apresentam-se de seguida os princípios gerais do faseamento preconizado para a abertura das galerias que constituem as naves da estação. Tendo em consideração a elevada complexidade da obra, o faseamento executivo foi detalhado com grande pormenor nas peças de projeto, estabelecendo-se, de forma esquematizada, uma hierarquização das principais atividades a desenvolver. Salienta-se, ainda, que o faseamento era condicionado pela localização das zonas escolhidas para a realização dos primeiros alargamentos, o que podia conduzir à necessidade de estudar ajustamentos em fase de obra, sobretudo na definição das enfilagens. O esquema produzido contempla, assim, as sete fases principais que se descrevem de seguida.

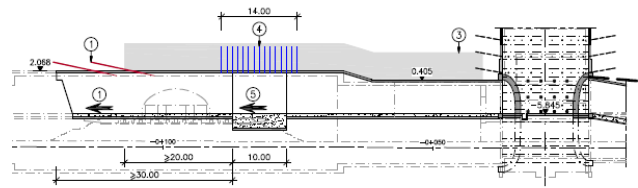
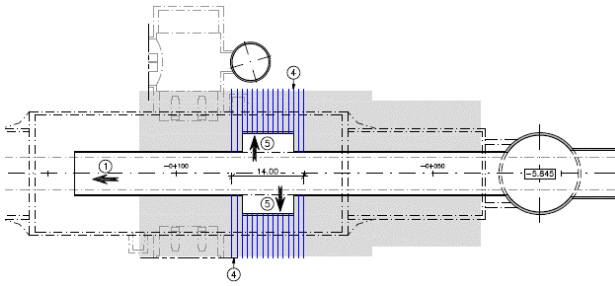
Fase I



- i. Atingida a cota -5.845 do poço de ataque, início dos trabalhos de escavação da galeria de prospeção;
- ii. Garantida a disponibilidade à superfície iniciaram-se os trabalhos de escavação do poço do elevador;
- iii. Com o avanço da galeria piloto foram sendo iniciados os tratamentos com injeções de calda de cimento;



Fase II

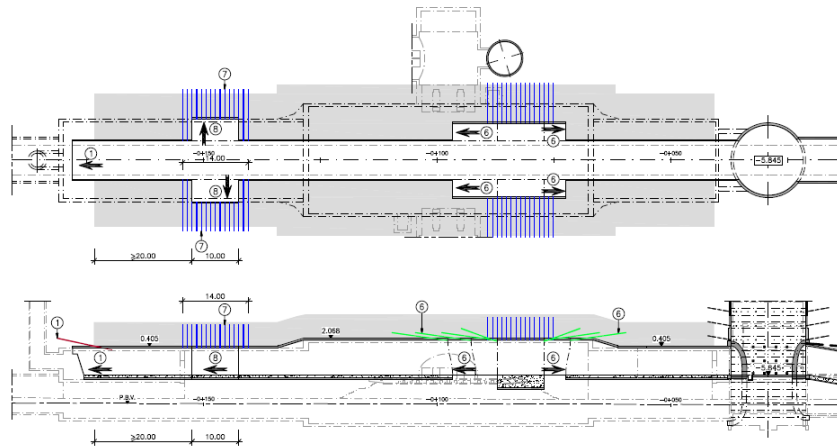


- i. Onde o maciço apresentou as melhores condições geotécnicas, e preferencialmente numa zona central da estação, iniciou-se a escavação do primeiro alargamento, a qual foi precedida pela execução do tratamento com pregagens radiais de fibra de vidro;
- ii. Materialização do primeiro alargamento inicial da nave central, correspondente a uma trecho de 10,0 m de comprimento;



Figura 19 – Aspeto do alargamento inicial central concluído

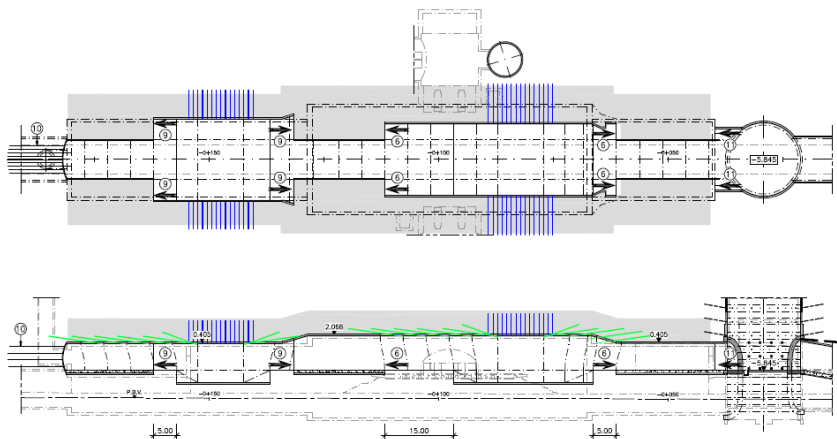
Fase III



- i. Avanço da escavação do primeiro alargamento ao abrigo de um pré-suporte constituído por um chapéu de enfilagens metálicas;
- ii. Possível criação de uma nova frente (não implementado);
- iii. Novo alargamento lateral no interior da nave de extremidade (não implementado);

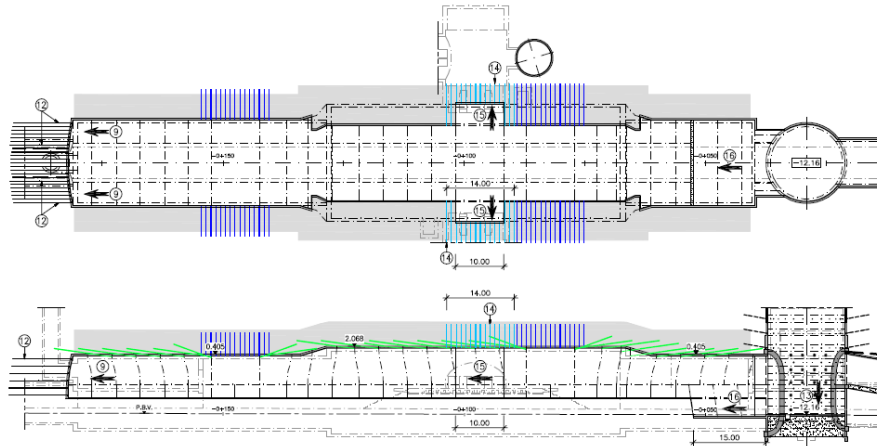


Fase IV



- iv. Avanço da escavação a partir da segunda frente criada (não implementado);
- v. Tratamento da parede de topo da galeria piloto com pregagens em fibra de vidro;
- vi. Alargamento da ligação entre a estação e o poço (realizado numa fase subsequente);

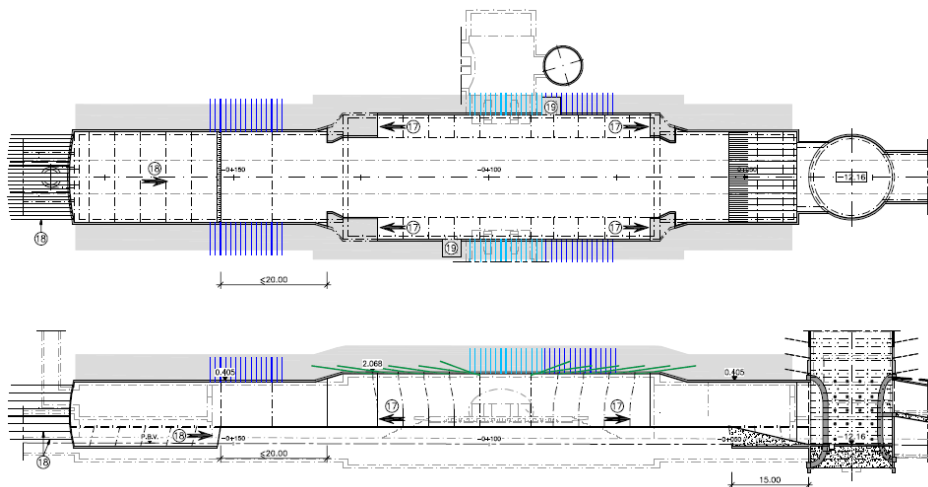
Fase V



- i. Tratamento da parede de topo com pregagens em fibra de vidro;
- ii. Conclusão da escavação do poço (não implementado);
- iii. Realização do tratamento com pregagens em fibra de vidro radiais para proteção dos trabalhos iniciais de escavação do segundo alargamento da nave central;
- iv. Materialização do segundo alargamento inicial da nave central, correspondente a um trecho de 10,0 m de comprimento;
- v. Ataque a partir do poço para execução do primeiro rebaixo da nave de extremidade Sul (não implementado);



Fase VI

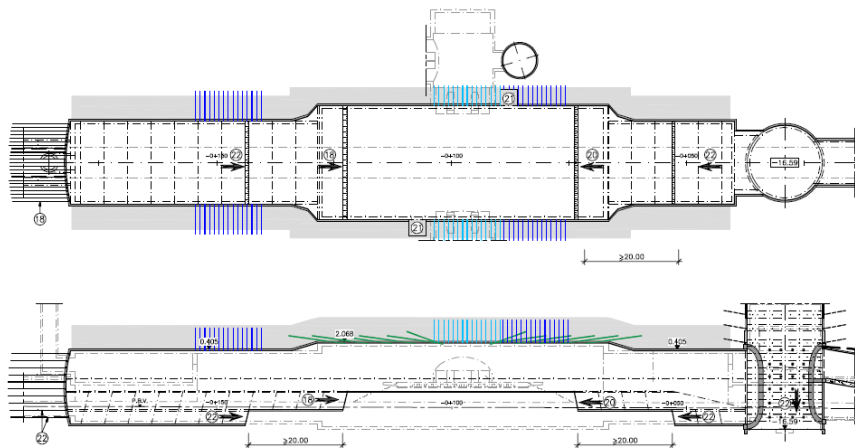


- vi. Avanço da escavação do primeiro alargamento ao abrigo de um pré-suporte constituído por um chapéu de enfilagens metálicas;
- vii. Início da escavação do primeiro rebaixo a partir do topo Norte da estação (avanços máximos previstos de 5,0 m), garantindo um afastamento mínimo de 20,0 m em relação aos trabalhos de alargamento da nave central;
- viii. Início da execução dos nichos dos elevadores;



As atividades xiii e xiv/xv podiam ser simultâneas ou mesmo invertidas. Do mesmo modo, as atividades xiv/xv podiam ser antecipadas uma vez concluída a primeira fase de alargamento da nave central e garantida uma distância superior a 25 m entre a zona de alargamento inicial das naves e as extremidades.

Fase VII



- i. Continuação das escavações do primeiro rebaixo, que decorreram em direção ao topo Sul;
- ii. Conclusão da escavação dos nichos dos elevadores;
- iii. Execução do segundo e último rebaixo em direção ao topo Sul (na ligação ao poço foi previsto um fa-seamento que permitiu a sua escavação simultânea).



No âmbito do projeto foram posteriormente definidos os faseamentos executivos particulares de cada uma das secções e os modos de avanço da escavação. Julga-se, no entanto, que a descrição apresentada das principais fases do faseamento executivo traduz suficientemente a conceção geral da solução e ilustra a elevada complexidade e o interesse desta obra de escavação subterrânea. Nas figuras seguintes apresentam-se algumas imagens das fases finais da materialização das galerias, incluindo a fase de execução do revestimento definitivo.



Figura 20 – Pormenores da escavação de um dos nichos para instalação dos elevadores e imagem do poço de ataque numa fase terminal das escavações no interior da estação



Figura 21 – Fases de instalação do sistema de impermeabilização e da montagem das armaduras do revestimento definitivo



Figura 22 – Estruturas especiais para instalação do sistema de impermeabilização e para betonagem do revestimento definitivo



Figura 23 – Estação na fase final da empreitada de toscos

4.3.2 - Obras subterrâneas para criação dos acessos à Estação

Dadas as particularidades da Estação *Place des Martyrs*, nomeadamente toda a sua envolveria com os importantes trabalhos de arqueologia com os quais conviveu a sua construção, a conceção e construção dos acessos foi por si só uma obra de grande complexidade e de diversidade de aplicação de soluções técnicas.

Assim, compreendeu a execução de um grande átrio a Sul, que permitirá a criação de um espaço museológico que integrará o importante espólio arqueológico existente na praça, e um segundo acesso a Norte. Estes acessos implicavam ainda a execução de duas galerias com forte inclinação que servem outras duas galerias de grandes dimensões que materializam os vestíbulos a partir dos quais foram estabelecidas as ligações ao corpo principal da estação. As galerias subterrâneas, executadas a partir de poços cuja conceção foi fortemente condicionada pelas restrições impostas pela ocupação à superfície e pelo planeamento dos trabalhos, foram definidas em rampa de modo a tornar viável a circulação de equipamentos, o que implicou o desenvolvimento de soluções de elevada complexidade técnica.

As galerias de acesso apresentavam secções com largura de escavação de 9,70 m e recobrimento mínimo de 6 m. Os dois vestíbulos, com largura de escavação igual a 13,0 m, foram concebidos paralelos ao corpo principal da estação e têm um recobrimento médio igual a 19,0 m. A conceção das ligações entre os vestíbulos e o corpo principal da estação, materializadas através da realização de túneis de pequeno diâmetro, implicou a definição de um faseamento executivo de elevada complexidade.

O acesso Sul à estação compreende então quatro corpos com especificidades diferentes. O primeiro desses corpos corresponde a uma ampla estrutura, realizada a céu aberto (átrio Sul), que tem duas importantes valências: por um lado permite a ligação entre a obra subterrânea e o exterior e, por outro, funcionará como espaço museológico. A partir do átrio Sul, o acesso desenvolve-se em subterrâneo ao longo de uma galeria descendente, que incluirá escadas mecânicas, até à galeria do vestíbulo (mais ampla que a anterior), a partir da qual são materializados três túneis de pequenas dimensões que garantem, por fim, a ligação destes corpos do acesso à estação. Na Figura 24 representa-se em planta a configuração dos trabalhos de escavação associados ao acesso Sul.

Salienta-se que a principal restrição para a realização destes trabalhos prendia-se com o facto de a escavação do átrio Sul, a partir da qual se poderiam iniciar os trabalhos de escavação subterrânea do acesso, estar fortemente condicionada por dois aspetos. Em primeiro lugar, os trabalhos de escavação do átrio punham em causa a manutenção em operação do poço de ataque da estação, fulcral para a continuidade dos trabalhos em subterrâneo no interior da estação e nos trechos em túnel adjacentes. Por outro lado, mesmo que se admitisse a resolução deste problema, existia uma grande incógnita em relação ao tempo necessário para a conclusão dos trabalhos de investigação arqueológica em curso em toda a área de implantação do átrio. Assim, concluiu-se que seria necessário conceber uma solução que garantisse uma frente de ataque independente para os trabalhos de escavação subterrânea deste acesso Sul.

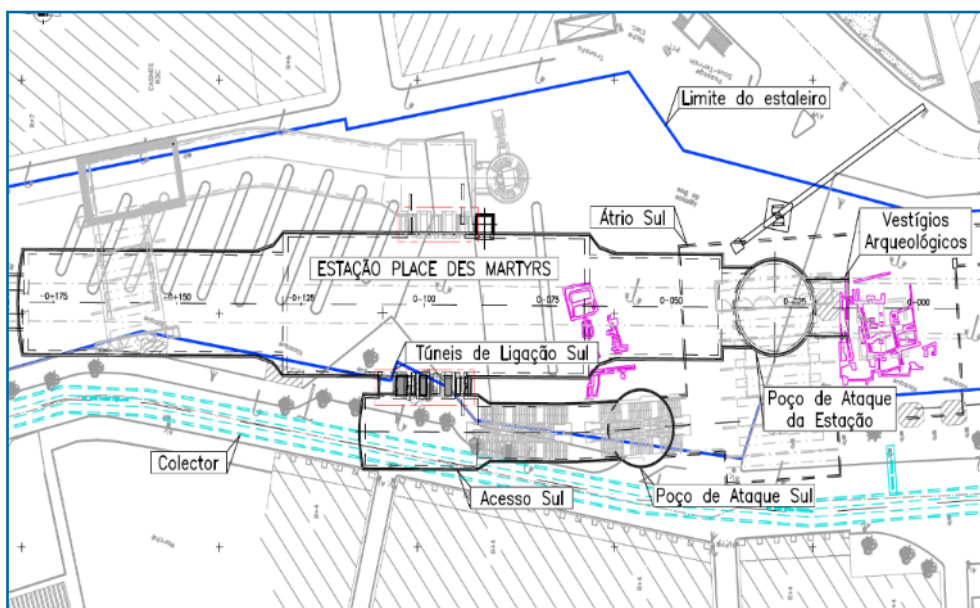


Figura 24 – Configuração dos trabalhos de escavação do acesso Sul

Deste modo, a realização de um poço circular, executado verticalmente segundo a metodologia NATM, mostrou ser a solução mais rápida e com a mínima interferência à superfície. Este poço seria uma estrutura provisória para aterrar após a conclusão das estruturas do acesso Sul. Visto o poço se encontrar implantado sobre o acesso, parte deste ficaria, no entanto, integrada nas restantes estruturas. As figuras seguintes ilustram claramente a geometria dos trabalhos de escavação a realizar até à materialização da galeria do vestíbulo Sul, onde seriam posteriormente executadas as ligações ao corpo da estação.

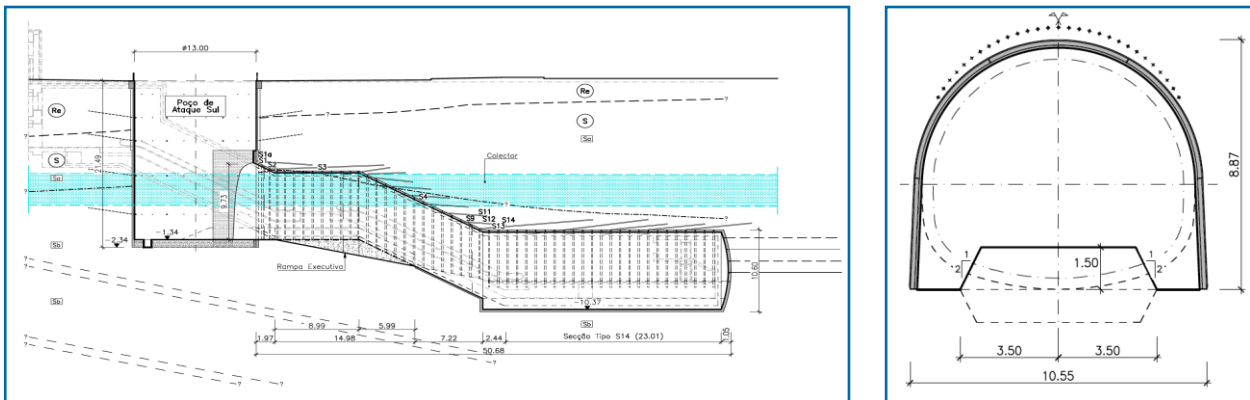


Figura 25 – Corte longitudinal da solução de escavação ao longo do alinhamento do acesso Sul e secção tipo do túnel descendente

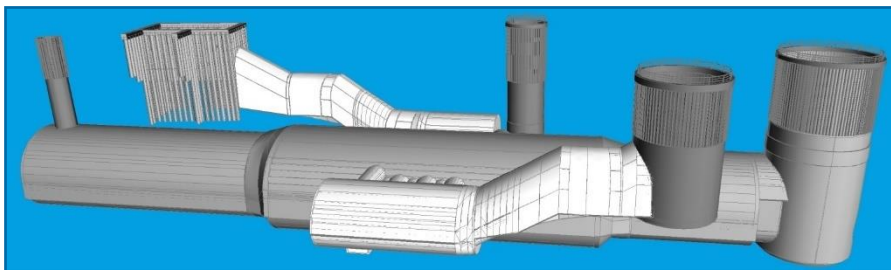


Figura 26 – Vista tridimensional das escavações com destaque para a configuração do acesso Sul

No caso do acesso Norte, este pode ser dividido em seis corpos de funcionalidades distintas. O primeiro desses corpos, mais próximo da superfície, refere-se à estrutura de saída do acesso, a qual estabelece a comunicação entre a obra subterrânea e o exterior. Esta estrutura é mais simples e de menor área do que a associada ao átrio do acesso Sul. Segue-se um importante conjunto de galerias subterrâneas, das quais fazem parte a galeria do acesso propriamente dita, a galeria do vestíbulo (mais ampla do que a anterior), os túneis de ligação entre o vestíbulo e a nave central da estação e, por fim, um pequeno túnel de ligação no topo do vestíbulo. Este último serve um poço circular, executado a partir da superfície, onde seria instalado um elevador que permitiria o acesso de pessoas com mobilidade reduzida ao interior da estação. Na Figura 27 representa-se em planta a configuração dos trabalhos de escavação associados ao acesso Norte.

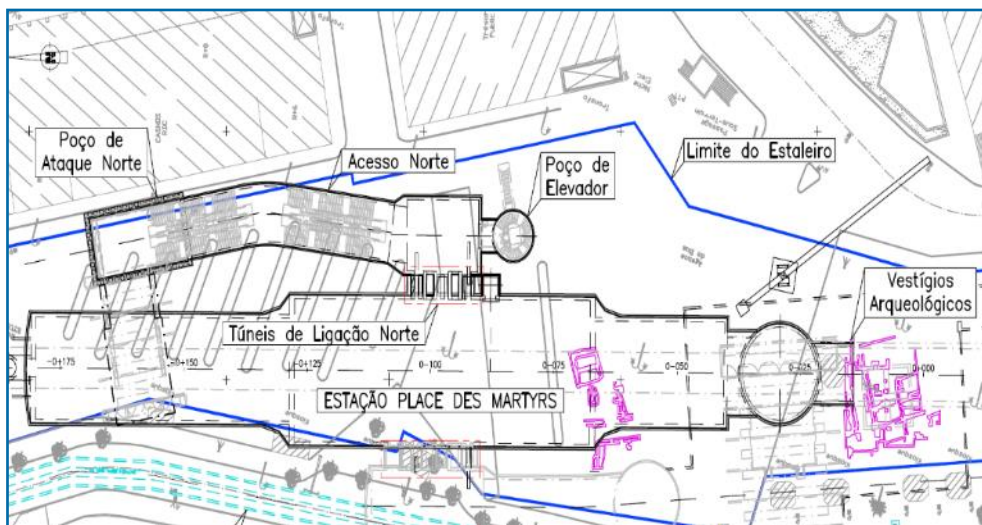


Figura 27 – Configuração dos trabalhos de escavação do acesso Norte

Apesar de também neste caso existirem fortes condicionamentos para fazer o ataque às escavações a partir da estrutura definitiva do acesso, dado não existir disponibilidade à superfície para executar um acesso provisório, foi necessário prever o ataque à galeria a partir do interior da estrutura de contenção do acesso, sendo esta fortemente condicionada pela proximidade aos edifícios.

Tendo em consideração o ponto de ataque à galeria, isto é, a distância entre o emboquilhamento e a galeria do vestíbulo, a rampa a materializar condicionou fortemente a solução, impondo um importante aprofundamento da escavação no interior da contenção e, em consequência, o aumento das alturas das secções de escavação da galeria. Sublinha-se, ainda, que este ponto de materialização da frente de ataque das escavações subterrâneas resultou num recobrimento mínimo bastante reduzido, aumentando a complexidade da solução. Refere-se que a solução concebida apresentava 6,0 m de recobrimento na primeira secção a ser escavada.

Perante estes condicionamentos, a solução preconizada para o poço Norte resultou numa cortina de estacas em betão armado com 0,80 m de diâmetro, escorada a diferentes níveis com perfis metálicos. A sua implantação materializava parte do futuro local de entrada deste acesso e a sua largura, embora condicionada pela existência de edifícios, foi definida de modo a garantir a largura necessária para o ataque. Assinala-se, ainda, que as cotas e a geometria dos diferentes níveis de escoramento foram estudadas de modo a permitir o ataque da galeria do acesso e a descida e circulação de equipamentos (ver Figura 28), o que impôs um faseamento executivo particular.

O faseamento executivo do poço foi fortemente condicionado pelo faseamento executivo adotado para a obra subterrânea, uma vez que as secções de escavação na zona de emboquilhamento, dada a sua elevada altura, eram parcializadas em altura. Como consequência desta opção, os trabalhos do poço tiveram uma paragem à cota de realização das secções superiores, sendo retomados apenas depois de concluído todo este trecho inicial escavado em meia secção superior do acesso subterrâneo.

Na Figura 29 constata-se que o túnel do acesso Norte tem cerca de 60,0 m de comprimento, medidos entre o poço Norte e a parede de topo da galeria do vestíbulo. O acesso subterrâneo prolongava-se ainda por mais 10,0 m com a ligação ao poço do elevador. A secção de maiores dimensões atingia uma altura de 13,0 m, diminuindo progressivamente até uma altura de 9,1 m. As larguras variavam entre 8,3 m e 5,5 m.



Figura 28 – Preparação da frente de ataque no interior do poço para as escavações subterrâneas do acesso Norte

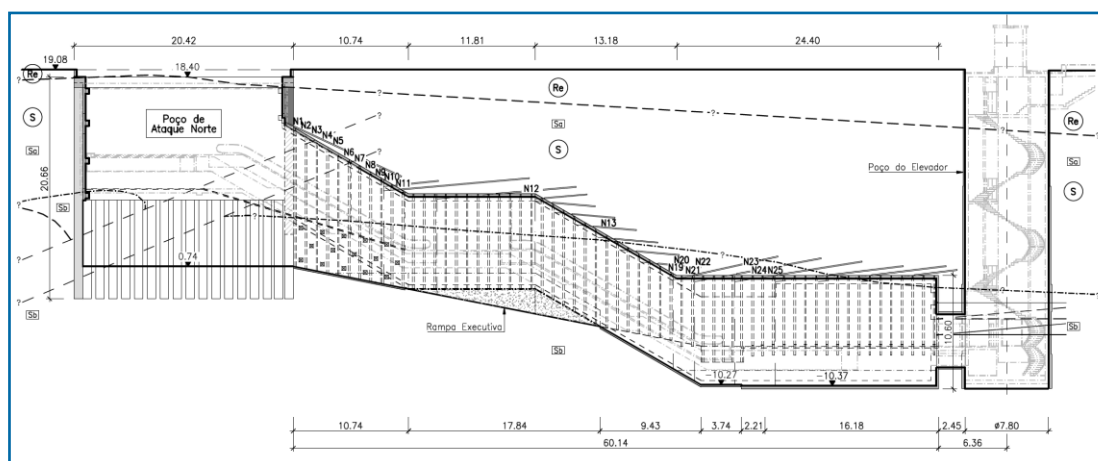


Figura 29 – Corte longitudinal da solução de escavação ao longo do alinhamento do acesso Norte e secção tipo do túnel descendente

Os trabalhos do túnel do acesso Norte foram realizados até à conclusão integral da galeria do vestíbulo, incluindo o fecho da secção na fase de rebaixo da meia-secção superior, incluindo a realização de um aterro para a circulação à cota prevista para o ataque dos túneis de ligação à estação.

Finalmente, no que respeita à Estação *Place des Martyrs*, apresenta-se uma breve descrição da conceção dos túneis de ligação entre os acessos e o corpo principal da estação, os quais tinham como grande desafio a conceção do modo de escavação das aberturas pretendidas.

Numa fase inicial de conceção da estação, e dadas as dimensões da mesma, foi acordado com a arquitetura que, ao invés de materializar duas grandes aberturas no suporte do corpo da estação, uma de cada lado, a ligação deveria ser garantida por três passagens, isto é, três túneis de menores dimensões para cada uma das ligações de acesso à estação, Sul e Norte.

Não obstante, a materialização destas aberturas implicava o corte e a demolição de troços significativos dos suportes das galerias, quer da estação, quer dos acessos, o que constituía um trabalho delicado e exigindo precauções adicionais. Assim, considerou-se que a opção de atacar estes túneis a partir do interior dos acessos preservaria pelo máximo período de tempo possível o suporte da estação, conduzindo a uma solução mais segura. Na Figura 30 apresentam-se dois cortes, para os túneis do lado Sul, sendo o primeiro visto a partir do interior da estação e o segundo a partir do interior da galeria do vestíbulo do acesso.

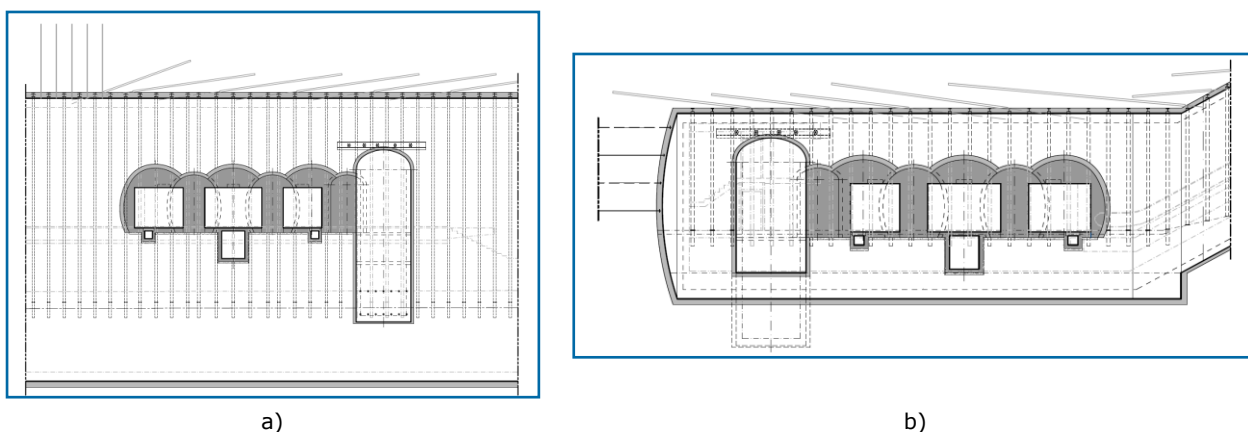


Figura 30 – Túneis de ligação do acesso Sul: a) vistos a partir do interior da estação; b) vistos a partir do interior do vestíbulo do acesso Sul

Para cada um dos acessos, os três túneis de ligação materializavam uma passagem central, com largura igual a 3,7 m, e duas passagens laterais, com largura de valores diferentes, tal como é visível na Figura 31 e na Figura 33. A altura é constante para todas as aberturas e igual a 4,5 m. Estas dimensões resultavam de restrições de arquitetura e segurança de exploração e conduziam à existência de pilares de maciço muito reduzidos entre aberturas. Desta forma, considerou-se indispensável a substituição dos pilares de maciço entre aberturas, por pilares de betão armado que integrariam a estrutura definitiva da estação. Assim, cada uma das aberturas a executar foi realizada por etapas, uma de cada vez, incluindo a execução progressiva do revestimento definitivo associado a cada uma. Este faseamento minucioso garantia a segurança das

galerias anteriormente escavadas, bem como o controlo dos deslocamentos à superfície durante os trabalhos de escavação.

Como mencionado anteriormente, o ataque de ambas as ligações foi definido a partir do interior da galeria do vestíbulo de cada um dos acessos. O primeiro passo para a materialização destas ligações consistiu, assim, na materialização das secções que permitiam a realização dos pilares em betão armado em substituição do maciço rochoso (ver Figura 31). É importante realçar que o faseamento executivo definido para a escavação destes túneis, a preencher com betão, não comprometia o suporte da nave da estação uma vez que não era demolida nem cortada nenhuma cambota metálica da mesma.

Assim, definiu-se o início da demolição do suporte da galeria através da demolição de três cambotas na zona de ataque ao primeiro túnel provisório para materialização dos pilares de reforço. Este túnel foi escavado com avanços de cerca de 1,0 m e com instalação imediata do suporte, em três avanços. Concluído este primeiro túnel, procedeu-se à sua betonagem de modo a materializar o primeiro pilar de reforço. Este faseamento repetiu-se para o seguinte pilar de reforço definido. Na Figura 32 ilustram-se dois momentos da realização desta fase da obra.

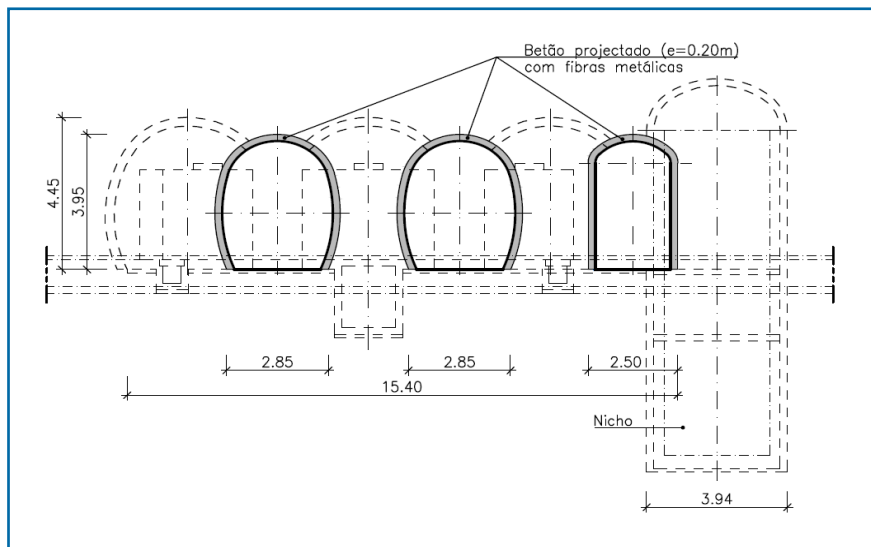


Figura 31 – Secções transversais dos túneis para criação dos pilares de reforço



Figura 32 – Faseamento executivo durante a execução dos pilares de reforço na ligação à estação

Em seguida, o ataque do túnel central de ligação à estação foi realizado em três avanços sucessivos até à demolição parcial do suporte da estação. Para concluir este primeiro túnel de ligação foi realizada a betonagem da estrutura definitiva, a qual ligava aos pilares de reforço. O mesmo procedimento descrito para a execução dos pilares de reforço foi implementado no último túnel de reforço, incluindo a betonagem da sua estrutura definitiva. Depois de ter todos os pilares de reforço executados, procedeu-se à realização dos dois restantes túneis de ligação laterais, segundo a metodologia descrita anteriormente, aplicada a cada um separadamente (ver Figura 33). O aspeto final das ligações é ilustrado na Figura 34.

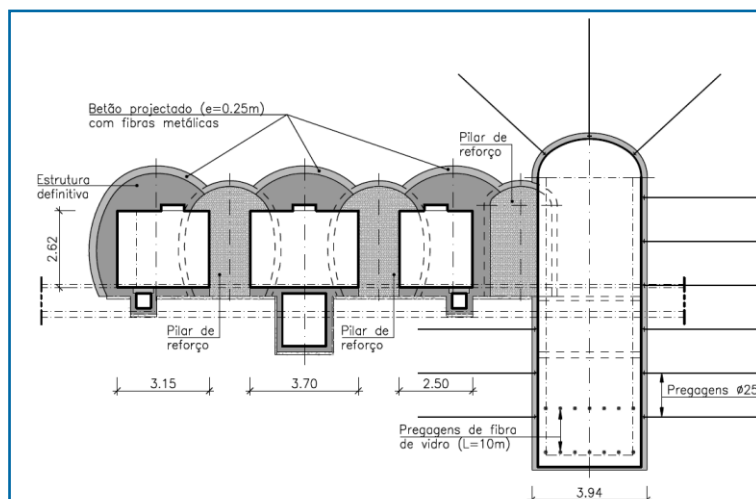


Figura 33- Perfil transversal dos túneis de ligação na fase executiva final



Figura 34 – Conclusão das ligações entre o vestíbulo e a laje do mezanino da estação

4.4 - Estação *Ali Boumendjel*

4.4.1 - Corpo principal

A Estação *Ali Boumendjel* está implantada numa zona densamente edificada e na qual confluem importantes artérias da cidade. A localização desta estação resultou na definição, ao nível do APD, de um conjunto de acessos de grande complexidade executiva e sem grande possibilidade real de serem utilizados como obras de ataque.

Com efeito, em resultado da sua localização no traçado e da inviabilidade de utilizar os poços PV2 e PV3 como obras de ataque aos trabalhos de escavação do túnel e da estação, tornou-se essencial, mesmo imperativo, conceber soluções que pudessem garantir, a partir dos referidos acessos que constituem os únicos espaços disponíveis à superfície, frentes de ataque às escavações subterrâneas, nomeadamente, ao trecho de túnel localizado entre a estação e a Praça *Emir Abdelkader*, onde se localiza o PV3, e à própria Estação *Ali Boumendjel*.

Deste modo, foram estudadas duas soluções a partir dos acessos previstos, uma primeira no acesso Sul da estação, que garantia o ataque ao túnel de via em direção à Place *Emir Abdelkader*, e uma segunda no acesso da Mesquita *Ibn Badis*, que garantia não só o ataque à estação ao nível do seu coroamento, mas também a criação e manutenção de uma rampa de ligação ao exterior com adequadas condições de circulação de equipamentos durante a maior parte da empreitada, com óbvias e importantes vantagens para a mesma. Na Figura 35 apresenta-se a localização da estação, indicando-se os acessos previstos no âmbito do projeto de execução. Uma vez que foi o acesso da Mesquita *Ibn Badis* o utilizado para o ataque à estação, descrevem-se de seguida alguns dos aspetos importantes associados à solução preconizada.

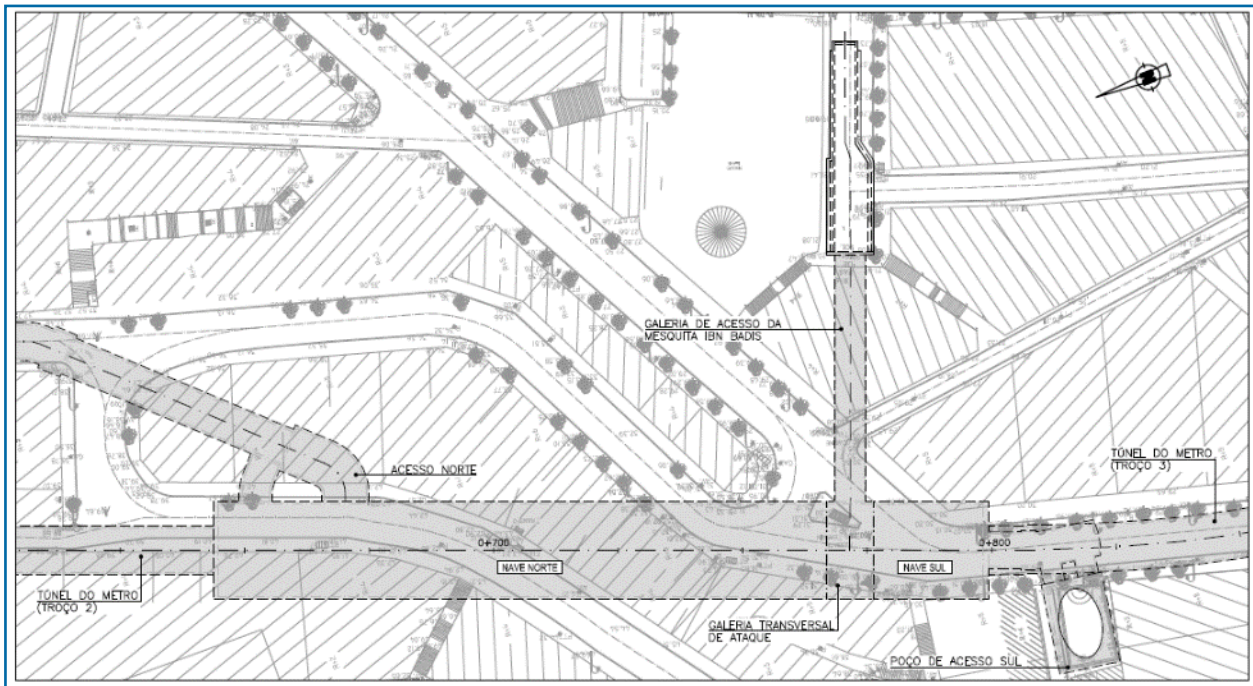


Figura 35 – Localização da Estação Ali Boumendjel

O acesso Este da Estação Ali Boumendjel, localizado junto à Mesquita *Ibn Badis*, foi concebido no projeto APD como uma galeria pedonal, com trechos ascendentes e descendentes, associada a uma trincheira com uma profundidade suficiente para permitir o desemboque dessa mesma galeria subterrânea executada a partir da estação. Esta galeria desenvolve-se sob um edifício de considerável valor patrimonial, razão pela qual se terá procurado garantir, no âmbito do APD, um confortável recobrimento. Em resultado de estudos desenvolvidos, considerou-se existirem condições para conceber uma solução para a inserção do acesso, em condições de segurança, com um recobrimento em relação às fundações do edifício que permitisse a execução da galeria a uma cota constante, garantindo-se, assim, as condições necessárias para utilizar este acesso como obra de ataque e, adicionalmente, melhorar as próprias condições de exploração. Na Figura 36 apresenta-se uma perspetiva exterior deste acesso e uma imagem da frente de ataque da galeria do acesso no momento de chegada à zona de intersecção com a estação.



a)



b)

Figura 36 – Acesso da Mesquita *Ibn Badis*: a) frente de ataque à obra subterrânea a partir de uma trincheira; b) frente de ataque da escavação da estação Ali Boumendjel a partir da galeria concebida

Os trabalhos de escavação subterrânea da estação corresponderam, na sua generalidade, à escavação de uma galeria de grandes dimensões com uma extensão de 155,0 m, uma largura máxima de escavação de cerca de 20,5 m e uma altura de 14,5 m, o que se traduz numa secção de escavação com uma área de 260 m². O recobrimento da estação varia entre 12 e 23 m, sendo a zona mais delicada a associada ao acesso Sul, onde confluem diversas galerias.

O ataque à estação apresentou, no entanto, duas dificuldades, ou dois desafios, a saber, o ataque à estação através de uma galeria de pequenas dimensões transversal à primeira, e o desejo de manter a rampa em funcionamento durante o maior período de tempo possível. A principal dificuldade estava, com efeito, associada ao facto da galeria de ligação do acesso à estação se desenvolver transversalmente ao corpo principal da mesma. Assim, a geometria de intersecção destas galerias e a necessidade de abrir uma nave de grandes dimensões a partir de uma galeria de dimensões bastante inferiores, implicaram a adoção de soluções pouco correntes em escavações subterrâneas realizadas numa envolvente com as complexas características mencionadas. Após o estudo de diversas soluções possíveis, considerou-se que a melhor era aquela que garantia a materialização imediata da geometria final da nave principal da estação.

Desta forma, preconizou-se a adoção de uma solução que previu a execução da galeria transversal de ataque através de um túnel de secção variável, escavado ao abrigo de um revestimento constituído apenas por betão projetado e pregagens, de modo a permitir o futuro alargamento transversal para uma "fatia" da secção transversal da nave da estação. A figura seguinte ilustra duas imagens tridimensionais esquemáticas da meia-secção superior da estação na zona de intersecção com a galeria do acesso, uma da galeria transversal de secção variável, antes do referido alargamento, e outra do aspeto final da secção após o alargamento que permite o ataque à nave principal da estação.

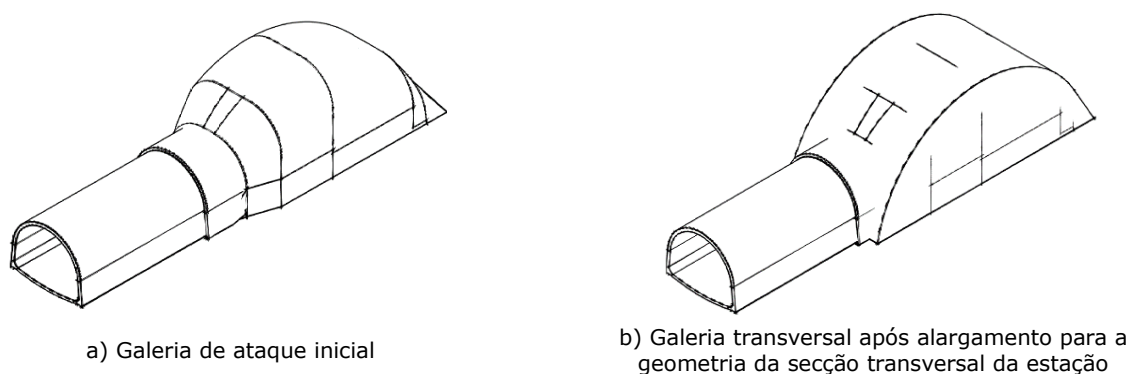


Figura 37 – Imagens tridimensionais esquemáticas da galeria transversal de ataque em duas fases distintas do processo de escavação preconizado

Para chegar a esta geometria final que permitia iniciar os trabalhos de escavação subterrânea da nave da estação em condições de segurança, foi necessário conceber um faseamento executivo de alguma complexidade que previsse, simultaneamente, a utilização da rampa de acesso ao longo das várias fases de escavação. A primeira etapa do faseamento concebido corresponde à conclusão da galeria do acesso da Mesquita Ibn Badis. Tendo em consideração a geometria complexa de intersecção com a nave da estação e a necessidade de posteriores demolições de parte do revestimento, optou-se pela execução deste trecho de túnel recorrendo a um revestimento de betão projetado incorporando fibras metálicas, bem como elementos de suporte constituídos por pregagens de varão de aço ordinário e de fibra de vidro. No interior desta galeria foi posteriormente materializada uma estrutura de reforço onde apoiará, numa fase de escavação subsequente, o revestimento da estação na zona da abertura associada ao acesso, desempenhando um papel fundamental na viabilização do faseamento preconizado.

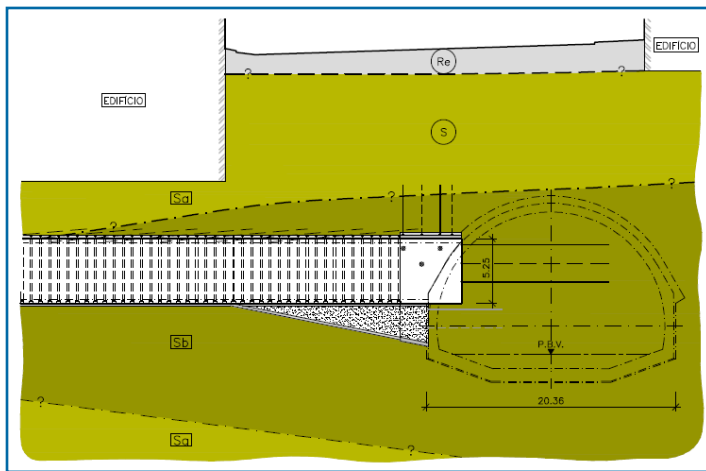
O rebaixamento desta secção resultou da pretensão de manter a rampa de acesso aos trabalhos de escavação durante toda a fase de escavação da nave da estação. Assim, de forma a evitar a realização de trabalhos de escavação após o carregamento da estrutura de reforço com as cargas provenientes do revestimento da secção da estação na zona da abertura, foi preconizada a materialização de toda a estrutura de reforço previamente à realização de quaisquer escavações da estação.

Para a materialização da estrutura de reforço, executada em betão projetado e, portanto, não integrante da estrutura definitiva, este trecho da galeria do acesso foi definido com uma secção superior ao restante trecho da galeria do acesso da Mesquita Ibn Badis. Adicionalmente, para permitir o fecho da estrutura de reforço na fase de escavação do rebaixo, foram ainda definidos apoios provisórios através de um ligeiro aumento da largura da meia secção superior e conseqüente aumento da dimensão da sua fundação.

A conclusão de todos estes primeiros trabalhos, denominados por Fase I, correspondeu ao aterro da zona rebaixada da galeria e à materialização de uma laje de circulação, garantindo-se, assim, uma plataforma de trabalho para início dos trabalhos de escavação da estação, nomeadamente da galeria transversal de ataque indicada na primeira imagem da Figura 37.

Na Figura 38 apresenta-se a situação dos trabalhos no final desta fase, altura em que a estrutura de reforço já se encontrava integralmente executada, a futura rampa de acesso à base da estação materializada e o aterro para início dos trabalhos de escavação da galeria da estação concluído. Apresenta-se, ainda, uma fotografia da fase final de fecho da estrutura de reforço durante as escavações para

materialização da rampa e previamente ao aterro provisório da mesma. Nessa imagem é visível a geometria da estrutura de reforço realizada em betão projetado fortemente armado, geometria essa condicionada pela intersecção com a secção da estação.



a)



b)

Figura 38 – Situação dos trabalhos após conclusão da Fase I da escavação da galeria transversal de ataque (a) e escavação do rebaixo da estrutura de reforço (b)

A Fase II correspondia à primeira fase de execução da galeria transversal de ataque, a qual estava associada a um túnel de altura variável, transversal ao eixo longitudinal da estação, materializando uma galeria em forma de “concha”, tal como se pode observar na Figura 37 a). Este túnel apresentava, na sua generalidade, uma largura útil de 9,0 m, excetuando um pequeno troço inicial de transição com largura inferior, o qual seria, no entanto, posteriormente alargado para uma secção de largura de 9,0 m durante a Fase III descrita mais à frente. A altura máxima da secção era de 8,2 m.

Uma vez que esta galeria seria posteriormente alargada para a “fatia” da estação ilustrada na Figura 37 b), implicando a demolição de parte do revestimento, optou-se pela execução deste trecho de túnel recorrendo a um revestimento de betão projetado incorporando fibras metálicas, bem como elementos de suporte constituídos por pregagens de varão e de fibra de vidro, as primeiras na zona do coroamento e as segundas nas zonas dos hasteados a demolir. Após a conclusão desta primeira fase de escavação da galeria transversal de ataque foram efetuados todos os trabalhos de tratamentos a realizar a partir do interior desta galeria, nomeadamente as enfilagens dos emboquilhamentos para ataque às escavações da nave principal da estação. Na Figura 39 apresenta-se a situação dos trabalhos no final desta fase. Na Figura 40 apresenta-se um conjunto de fotografias com várias perspetivas desta fase de construção da galeria transversal de ataque.

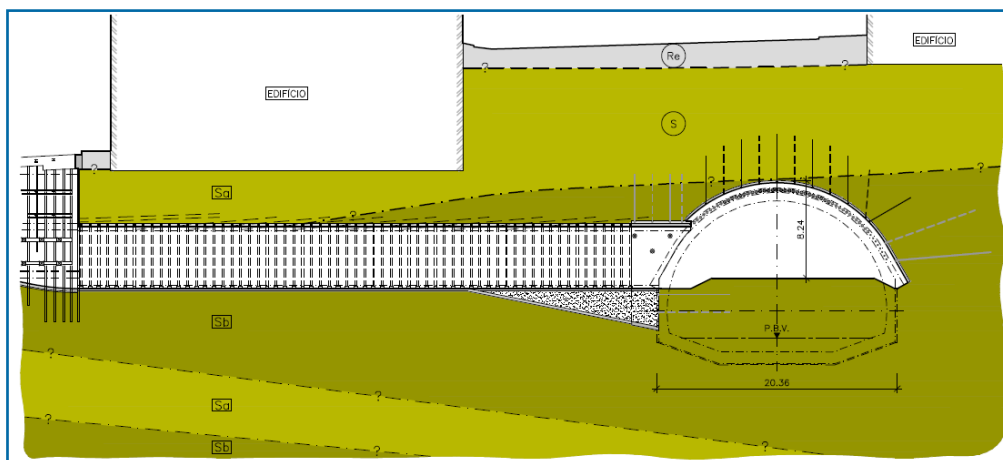


Figura 39 – Situação dos trabalhos após conclusão da Fase II da escavação da galeria transversal de ataque



a)



b)



c)



d)

Figura 40 – Imagens da fase de escavação da galeria transversal de ataque (Fase II): a) início dos trabalhos de escavação da estação a partir da galeria do acesso; b) e c) vistas da escavação da galeria transversal a partir do interior da galeria do acesso; d) perspetiva da galeria na fase final da escavação da galeria transversal

Finalmente, a Fase III consistiu na materialização de uma “fatia” da secção superior da estação, a qual permite o ataque aos trabalhos de escavação do corpo principal da estação. Para tal foi necessário transformar a galeria inicialmente escavada em forma de “concha” na secção definitiva da estação, atividade complexa e que implica uma importante rotação das tensões no interior do maciço. Com efeito, esta fase corresponde à transformação de um túnel transversal à estação num túnel longitudinal correspondente a um pequeno trecho da meia secção superior da estação.

Para que tal fosse possível, e uma vez que esta atividade implicava a demolição de parte do revestimento inicialmente executado, a geometria da galeria realizada na Fase II foi definida de forma a permitir a instalação de 5 cambotas metálicas do revestimento primário da estação antes desses trabalhos de demolição, as quais apoiam na estrutura de reforço já executada na galeria do acesso da Mesquita. Estas cambotas, uma vez integradas no revestimento em betão projetado definido, constituíam uma banda de revestimento da estação já executada que permitiu a redistribuição das tensões do maciço durante os trabalhos de escavação para transição entre as duas geometrias.

Seguindo o definido para a restante extensão da estação – cujo revestimento, dadas as características especiais da galeria a escavar, nomeadamente a sua grande secção, correspondia a um único suporte tipo constituído por cambotas metálicas HEB integradas num revestimento em betão projetado – o revestimento primário a aplicar nesta zona era constituído por cambotas metálicas HEB240 afastadas de 1,0 m, integradas num revestimento de betão projetado com 0,40 m de espessura.

A transição foi conseqüentemente realizada através de um apertado faseamento executivo que permitiu a instalação prévia de 3 cambotas adicionais de cada lado. Apesar de instaladas faseadamente, cada cambota foi aplicada numa única fase de escavação de toda a secção superior da estação. No final desta fase obtinha-se um trecho de 9,0 m da secção superior da estação com o revestimento instalado, com a abertura da galeria do acesso da Mesquita integralmente materializada e com dois topos preparados para o arranque dos trabalhos de escavação da restante extensão da estação. Na Figura 41 apresenta-se a situação dos trabalhos no final desta fase, bem como alguns detalhes da definição do apoio das cambotas sobre a estrutura de reforço da galeria do acesso, enquanto na Figura 42 se apresenta mais um conjunto de fotos, desta vez ilustrando os trabalhos realizados durante esta Fase III.

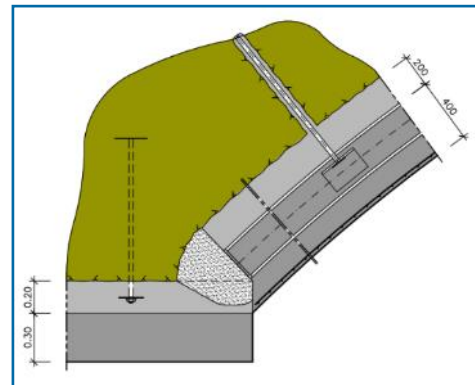
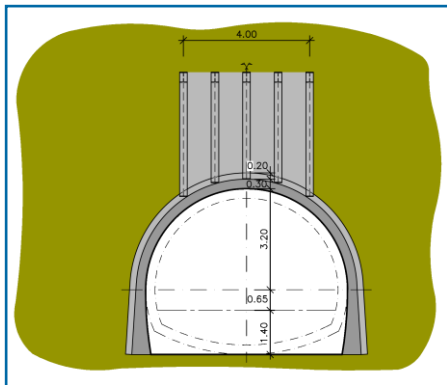
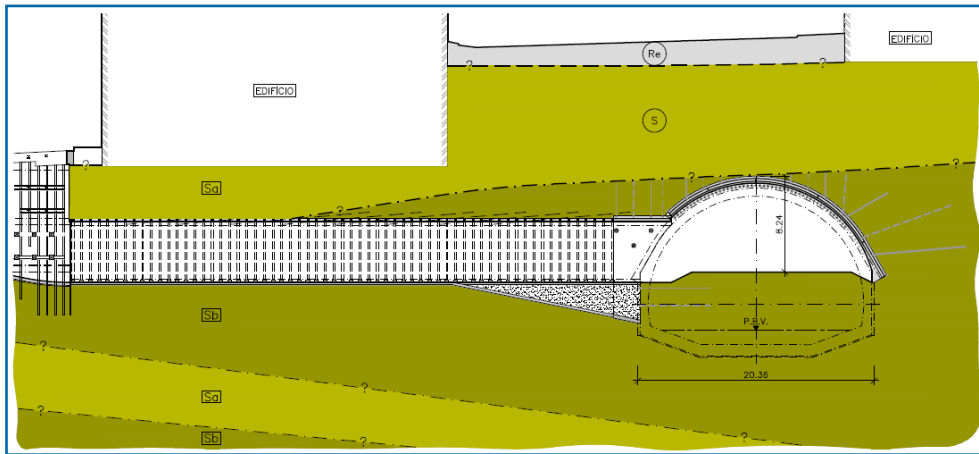


Figura 41 – Situação dos trabalhos após conclusão da Fase III da escavação da galeria transversal de ataque e detalhe do apoio das cambotas sobre a estrutura de reforço realizada no interior da galeria do acesso



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 42 – Imagens da fase de alargamento da galeria transversal de ataque (Fase III): a) início da instalação das cambotas na galeria transversal executada na Fase II; b), c), d) e e) fases de escavação do alargamento após instalação das 5 cambotas iniciais; f) aspeto final da “fatia” da estação já com os tratamentos concluídos (enfilagens) para os emboquilhamentos das fases seguintes

Após a conclusão dos trabalhos de escavação da galeria transversal, a obra ficava com duas frentes de ataque disponíveis para dar continuidade à materialização da ampla e extensa galeria subterrânea que constituía o corpo principal da Estação *Ali Boumendjel*. Dadas as diferentes restrições associadas aos trechos a Sul e a Norte da estação, doravante designados como nave Sul e nave Norte, foram concebidas duas soluções distintas de escavação, as quais, no entanto, partilham o mesmo revestimento primário para a secção final de escavação. No caso da nave Sul, dada a sua curta extensão e, sobretudo, a necessidade da execução da galeria do acesso Sul que ascende no topo do corpo da estação e ao longo do seu eixo longitudinal, foi prevista a escavação da secção através de uma parcialização que contempla a execução de uma galeria central, os respetivos alargamentos laterais para materialização da secção final da meia secção superior e três níveis de rebaixo. Na Figura 43 ilustra-se a parcialização da secção adotada para a nave Sul.

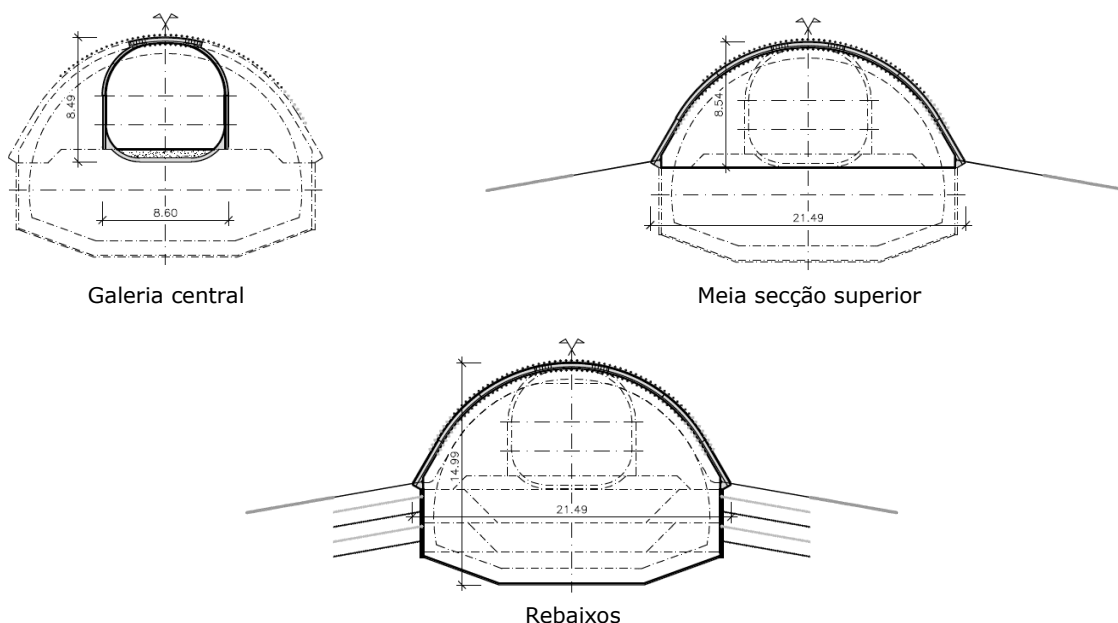


Figura 43 – Parcialização da escavação da nave Sul da Estação *Ali Boumendjel*

Como se pode concluir da análise da figura anterior, a solução prevista para o revestimento primário da estação contempla a individualização dos revestimentos associados à abóbada e aos hasteais, isto é, à consideração de funcionamentos independentes. Esta opção resultou sobretudo da geometria prevista para a estação ao nível do APD, tendo-se considerado que a solução proposta permitia não só garantir um melhor comportamento estrutural do revestimento primário da estação, como também otimizar o faseamento executivo, tirando partido das características rochosas do maciço. Assim, foi definido um revestimento da abóbada constituído por 0,4 m de betão projetado, incorporando cambotas metálicas HEB240 afastadas de 1,0 m e duas redes electrossoldadas, apoiado em duas “patas de elefante” com 0,6 m de largura, as quais garantiam um adequado apoio do revestimento final da meia secção superior. Antes de proceder aos

trabalhos de escavação dos rebaixos, os pés dos hasteais foram ancorados ao maciço com recurso a ancoragens afastadas de 2,0 m e pré-esforçadas a 600 kN, garantindo-se assim um adequado controlo do confinamento do maciço junto às fundações das cambotas.

Após a instalação das ancoragens e aplicação do pré-esforço, os rebaixos podiam então ser escavados recorrendo a um revestimento mais ligeiro constituído por 0,15 m de betão projetado incorporando fibras metálicas e pregagens afastadas de 1,0 m na vertical e 3,0 m na horizontal, dispostas em quincôncio. Estas pregagens foram definidas como auto-perfurantes tendo em consideração o estado de fracturação do maciço e a necessidade de garantir um eficaz e rápido funcionamento destes elementos. Adicionalmente, foi ainda definida a aplicação de um ligeiro pré-esforço nestes elementos, 30 kN, garantindo-se, assim, o seu funcionamento de modo ativo, isto é, sem implicar a mobilização de deslocamentos para que as pregagens pudessem contribuir para a estabilidade das faces da escavação.

O revestimento da galeria piloto é muito semelhante ao preconizado para a meia secção superior, tendo sido inclusivamente previsto o seu alargamento para esta última. Assim, o revestimento ao nível da abóbada correspondeu a um trecho do revestimento da meia secção superior, enquanto os hasteais eram constituídos por 0,25 m de betão projetado incorporando fibras metálicas e cambotas metálicas HEB160. Associado a este revestimento da galeria piloto estava ainda prevista a eventualidade da necessidade de recorrer a um arco invertido provisório em betão projetado com 0,25 m de espessura incorporando fibras metálicas. Em complemento aos revestimentos primários definidos, considerou-se ajustado prever o tratamento prévio do maciço interessado pela escavação da galeria. Assim, de modo a materializar um pré-suporte no contorno da secção das galerias da estação, foi definido um tratamento constituído por um chapéu de enfilagens em tubo metálico.

No caso da nave Norte, dada a sua grande extensão, considerou-se a escavação da secção através de uma parcialização ligeiramente diferente, contemplando a execução de uma galeria lateral, "side-drift", solução que, considerando apenas um alargamento lateral, garante um maior rendimento da escavação. A escavação dos rebaixos foi em tudo semelhante à nave Sul. Na Figura 44 ilustra-se a parcialização da secção adotada para a nave Norte, nomeadamente para a meia secção superior, a única que difere da nave Sul. Da mesma forma, os revestimentos primários da nave Norte são em tudo semelhantes aos da nave Sul.

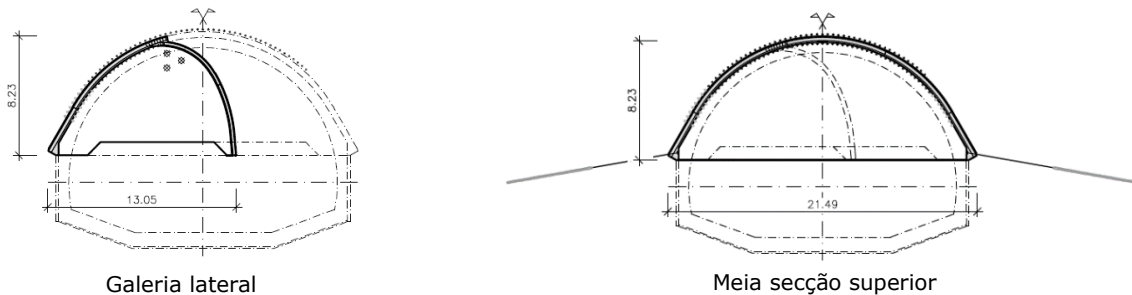


Figura 44 – Parcialização de escavação da nave Norte da Estação *Ali Boumendjel*

Na Figura 45 apresenta-se um conjunto de imagens que ilustram os ataques às duas naves a partir da galeria de ataque transversal apresentada.



a)



b)



c)

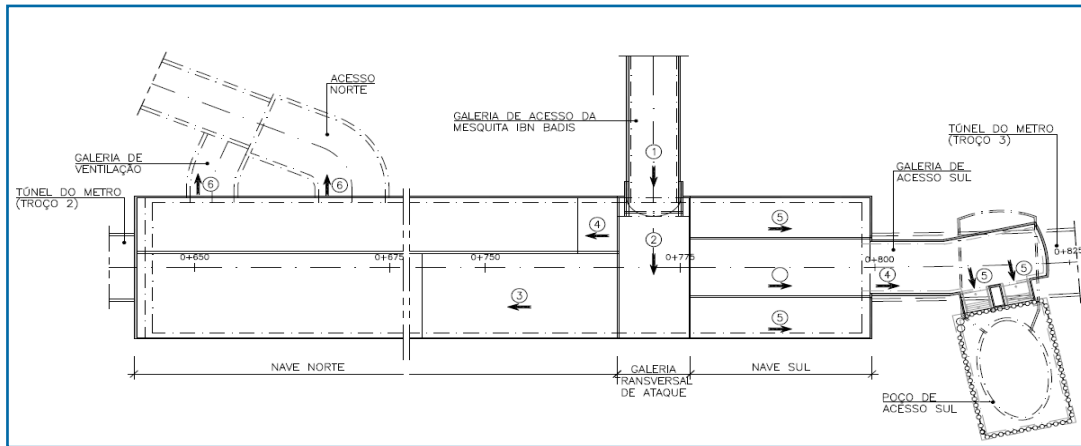


d)

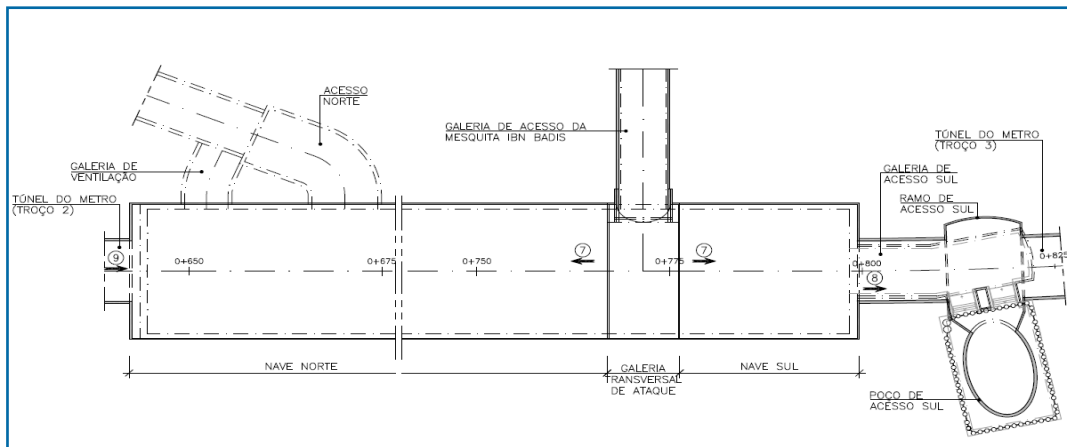
Figura 45 – Imagens do ataque às naves da estação a partir da galeria transversal: a) início dos trabalhos de escavação da nave Sul com a materialização da galeria piloto; b) primeiros avanços do “side-drift” da nave Norte; c) desenvolvimento dos trabalhos de escavação do “side-drift”; d) início do alargamento do “side-drift” da nave Norte

Tendo em consideração as características particulares desta obra, nomeadamente as várias soluções concebidas, a complexidade de algumas das escavações a realizar, associadas a grandes secções de escavação e, em algumas zonas, a baixos recobrimentos, foi definido um faseamento pormenorizado para cada uma das diferentes fases e soluções da obra, isto é, para a galeria transversal de ataque, para a nave Sul e para a nave Norte. No entanto, no âmbito do presente texto, apresenta-se apenas o faseamento geral das escavações da estação, procurando dar-se uma ideia da ordem dos principais trabalhos desenvolvidos. Este encontra-se ilustrado na Figura 46. Salienta-se que algumas destas obras sofreram alterações de conceção durante os trabalhos, nomeadamente as galerias de acesso e ventilação a Norte, pelo que este faseamento é representativo apenas do definido em fase de projeto. As variantes referidas serão ainda brevemente analisadas neste trabalho.

- Fase 1** - Conclusão da galeria do acesso da Mesquita *Ibn Badis*;
- Fase 2** - Execução da galeria transversal de ataque;
- Fase 3** - Escavação da galeria piloto da nave Sul e do « side-drift » da nave Norte;
- Fase 4** - Escavação da galeria do acesso Sul;
 - Alargamento da secção superior da nave Norte;
- Fase 5** - Escavação dos túneis de ligação do acesso Sul;
 - Alargamento da secção superior da nave Sul;
- Fase 6** - Ataque e escavação das galerias do acesso Norte;
- Fase 7** - Execução dos rebaixos das naves da estação;
- Fase 8** - Execução do trecho de túnel entre a estação e o ramal do acesso Sul;
- Fase 9** - Conclusão do trecho 2 do túnel e sua ligação à estação.



a)



b)

Figura 46 – Faseamento geral de escavação da Estação *Ali Boumendjel*: a) fases de escavação da meia-seção superior; b) fases de escavação dos rebaixos

Deste faseamento geral interessa salientar os seguintes aspetos. Em primeiro lugar, a execução da galeria do acesso Sul e respetivos ramais de ligação (Fases 4 e 5) tinha necessariamente de anteceder o início dos trabalhos de escavação dos rebaixos (Fase 7), uma vez que o ataque a estes túneis não seria posteriormente possível. Da mesma forma, caso se atacassem as galerias do acesso Norte a partir da estação, estes trabalhos teriam necessariamente de ser iniciados antes da escavação dos rebaixos (Fase 7).

O início dos alargamentos das duas naves apresentava condicionamentos diferentes. No caso da nave Sul (Fase 5), os alargamentos laterais só podiam ser iniciados após a conclusão da galeria piloto em toda a extensão da estação. Por outro lado, o alargamento da galeria lateral da nave Norte (Fase 4) podia ser iniciado assim que a frente desta última estivesse a uma distância superior a 20 m. Embora não se vá entrar em detalhe em como a obra foi efetivamente realizada em termos executivos, apresenta-se, nas imagens seguintes, algumas das fases mais interessantes da obra, as quais demonstram claramente a complexidade da sua execução, sobretudo devido à forte proximidade e interação de diferentes galerias nas zonas dos topos da estação.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 47 – Fases de escavação da Estação *Ali Boumendjel*: a) ataque à galeria do acesso Sul; b) vista da galeria de ataque transversal e das galerias no topo Sul (acesso e túnel); c) topo Sul, sendo visível as duas galerias de ligação ao acesso Sul (ver à frente); d) idem; e) e f) galerias do topo Norte (túnel de via, saída para acesso Norte sobre o anterior e galeria transversal de ventilação – ver à frente)



a)



b)



c)



d)

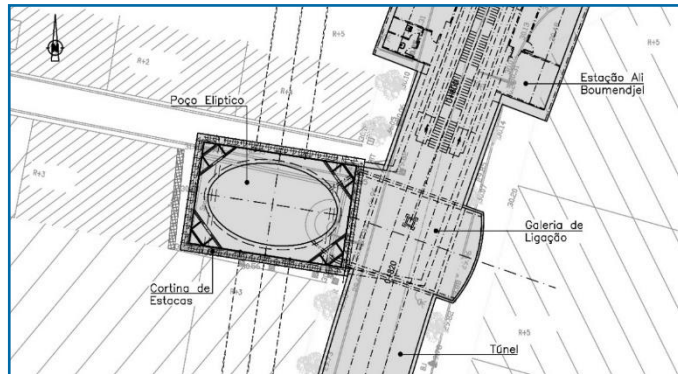
Figura 48 – Fases de escavação do rebaixo da Estação *Ali Boumendjel*: a) execução das ancoragens; b) escavação do primeiro rebaixo em bancadas alternadas; c) conclusão do terceiro rebaixo e fecho da secção; d) escavação concluída e início dos trabalhos de instalação do sistema de impermeabilização



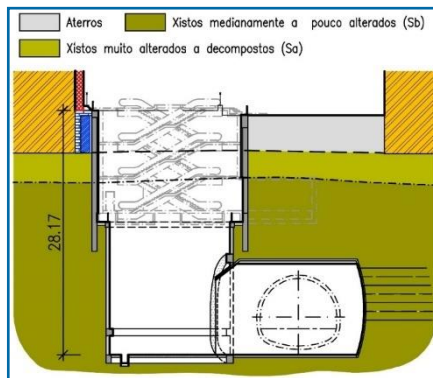
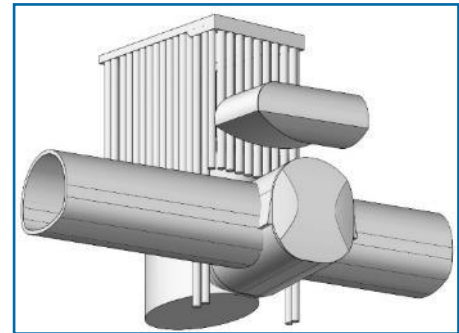
Figura 49 – Estação na fase final da empreitada de toscos

4.4.2 - Acesso Sul

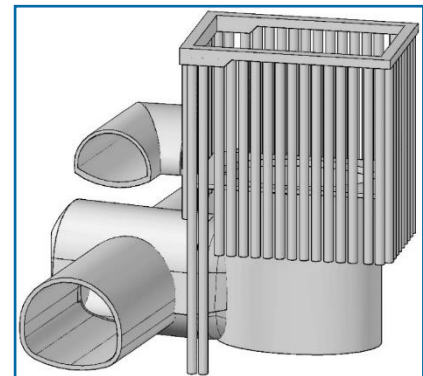
Com o objetivo de potenciar o acesso Sul como obra de ataque para o troço de túnel até ao PV3, concebeu-se uma solução que preconizava a realização de um poço de secção elíptica escavado segundo a metodologia sequencial (NATM) no fundo de uma escavação a céu aberto materializada ao abrigo de uma cortina de estacas ancorada. Por sua vez, na base do poço elíptico, foi criada uma abertura para a escavação de uma galeria na direção ortogonal ao túnel de via. Esta permitiria a posterior escavação do troço de túnel em direção à Praça *Emir Abdelkader*, bem como a retirada de terras durante o período em que a ligação à rampa prevista realizar junto à Mesquita *Ibn Badis* não se encontrava materializada. Refere-se que a galeria pedonal foi executada a partir do interior da estação e as obras provisórias, constituídas pelo poço elíptico e pela galeria de ligação, foram posteriormente aterradas de modo a repor a geometria da solução prevista no projeto de base. A Figura 50 apresenta um conjunto de imagens que ilustram a solução concebida, enquanto a Figura 51 duas fotografias do poço elíptico usado para executar a galeria que permitiria o ataque ao troço 3 do túnel de via.



a) planta do acesso Sul



b) corte longitudinal



c) esquemas 3D

Figura 50 – Solução concebida para criação de frente de ataque no Acesso Sul da Estação *Ali Boumendjel*



Figura 51 – Imagens da frente criada para ataque ao túnel de via a partir do acesso Sul da Estação *Ali Boumendjel*

4.4.3 - Variante do acesso Norte, novo acesso ao Teatro e interligação ao PV2

O projeto base previa soluções, não só de implantação, mas também de configuração bastante distinta daquelas que viriam a ser desenvolvidas no âmbito do projeto da solução variante. A Figura 53 ilustra a implantação das soluções patenteadas no APD, as quais se descrevem de seguida de um modo mais detalhado.

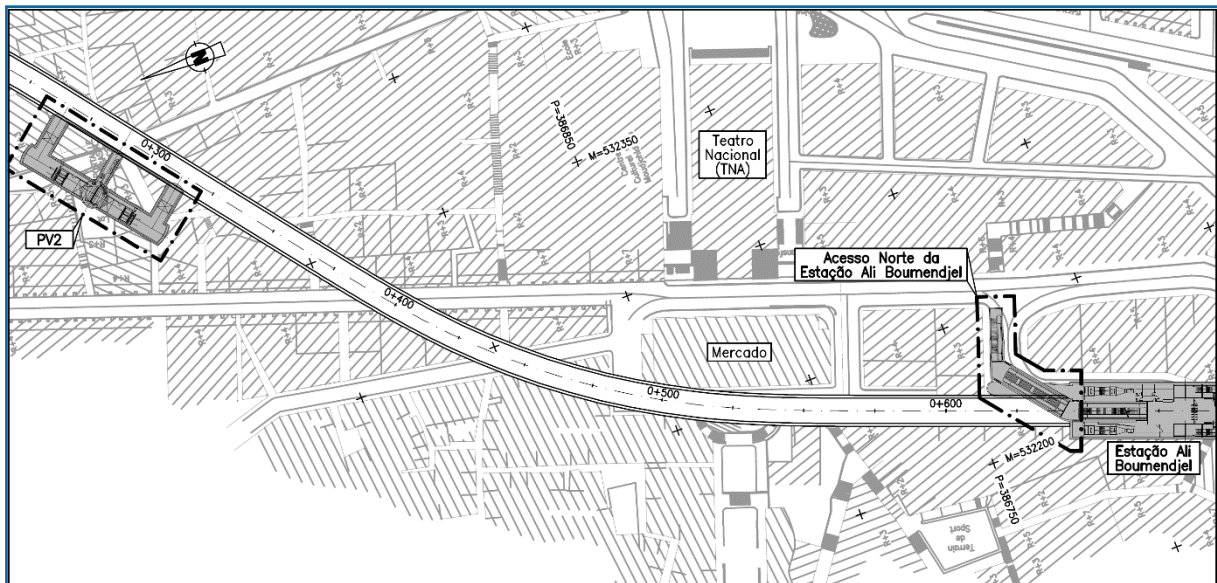


Figura 52 - Implantação do Acesso Norte da Estação Ali Boumendjel e do PV2 segundo o APD

No que se refere ao acesso Norte da Estação Ali Boumendjel, a estrutura de saída do acesso encontrava-se implantada num arruamento aberto ao trânsito próximo da estação, disposta ortogonalmente ao eixo desta. A ligação entre a referida estrutura de saída do acesso, materializada através de uma obra a céu aberto, e o corpo da estação, era garantida através de uma galeria subterrânea que intersectava, numa extensão importante, a abóbada da estação. Do ponto de vista estrutural, esta configuração era extremamente desfavorável para a secção da estação.

No mesmo topo estava ainda prevista, para além das aberturas correspondentes à galeria do acesso e ao túnel de via situado a uma cota inferior, a materialização de uma terceira abertura a partir da qual se desenvolvia, paralelamente ao túnel de via, um túnel de ventilação. Este túnel desembocava num poço, integrado na estrutura da saída do acesso, que assegurava a circulação de ar entre a estação e o exterior.

Para uma melhor perceção do que atrás foi descrito e uma melhor apreciação da complexidade das obras em questão, apresenta-se na Figura 53 uma planta da zona circundante do acesso Norte, um perfil longitudinal ao eixo deste e um alçado do topo Norte da estação segundo a configuração original do APD.

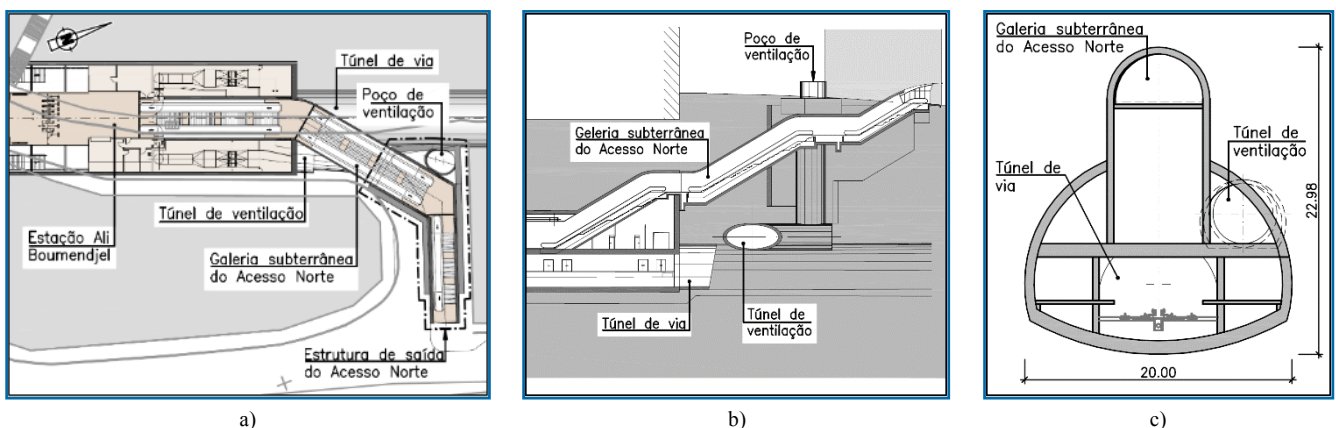


Figura 53 - Solução preconizada no APD para o acesso Norte da Estação Ali Boumendjel: a) planta; b) corte longitudinal ao eixo do acesso; c) topo Norte da estação

Quanto ao PV2, a solução inicial previa a execução de um poço circular de cerca de 10 m de diâmetro e de sensivelmente 24 m de profundidade, servindo simultaneamente para fins de ventilação e de acesso técnico. O espaço destinado à implantação do poço correspondia à área ocupada por um antigo edifício que havia colapsado na sequência de um sismo que abalou a cidade de Argel no início do século XXI.

Em profundidade, a ligação entre o poço e o túnel de via era materializada através de um complexo conjunto de obras subterrâneas constituído por uma galeria de ventilação paralela ao túnel de via com 58 m de comprimento (na qual desembocava o poço) e por três túneis transversais a estes últimos, dois dos quais de ventilação e um terceiro constituindo um acesso técnico. Esta solução encontra-se representada graficamente na Figura 54.

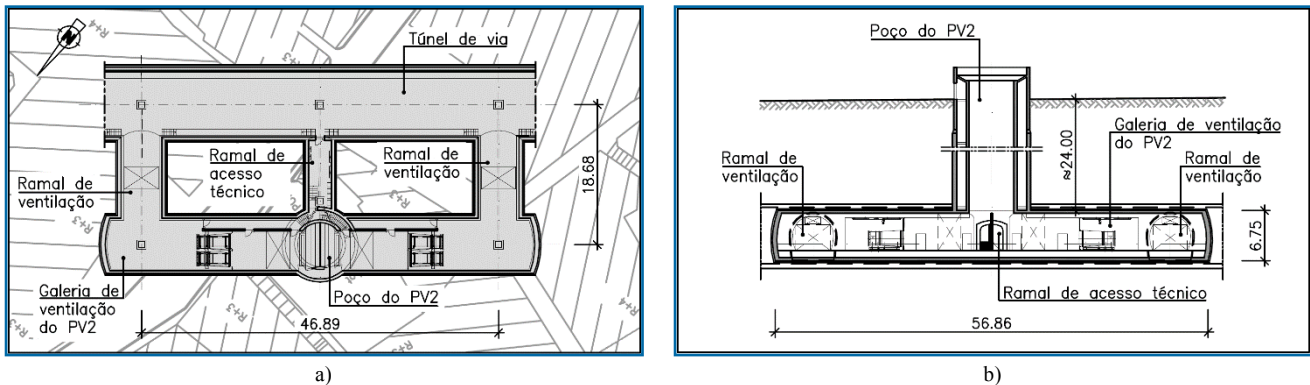


Figura 54 – Solução preconizada no APD para o PV2: a) planta; b) corte longitudinal ao eixo da galeria de ventilação

A descrição atrás apresentada correspondia à situação inicial que se registava no arranque do projeto de execução e que havia sido delineada pelo projeto base patente a concurso. Esta situação deixou desde logo antever alguns condicionamentos à implementação em obra das soluções propostas, condicionamentos esses que viriam a ser agravados pelas informações recolhidas no decorrer de uma campanha de prospeção complementar realizada, conforme se verá de seguida.

Os principais condicionamentos associados à implementação da solução do acesso Norte apresentada no projeto base resultavam, essencialmente, da implantação do acesso e das dificuldades de natureza executiva e estrutural. Do ponto de vista executivo e estrutural, a solução apresentava-se extremamente complexa, uma vez que envolvia a materialização da galeria de acesso subterrânea ao nível da abóbada da estação, aspeto que, aliado ao facto de a galeria se desenvolver sobre o túnel de via e ao lado do túnel de ventilação da estação, contribuiria para a introdução de importantes perturbações no maciço envolvente. A implementação de uma tal solução revelava-se extremamente difícil, apenas sendo possível através da construção de uma secção envolvente às obras indicadas, cuja secção de escavação seria da ordem de 500 m². Quaisquer outras soluções executivas imporiam graves restrições ao faseamento executivo da estação e, como tal, um incomportável agravamento dos prazos executivos. As dificuldades enumeradas acarretariam, naturalmente, um risco muito elevado, sobretudo tendo em conta o estado de fracturação do maciço em que se realizariam os trabalhos de escavação e o reduzido recobrimento (14 m para as secções próximas do topo da estação), bem como a significativa ocupação à superfície.

No caso do PV2, os condicionamentos associados à implementação da solução original diferiam substancialmente dos identificados para o acesso Norte da Estação Ali Boumendjel. A localização do poço constituía, desde logo, um importante condicionamento, uma vez que o local de implantação previsto no APD, anteriormente ocupado por um edifício, era propriedade privada. Assim, antes de poder realizar qualquer intervenção no terreno seria necessário que o Dono de Obra movesse um processo de expropriação contra o proprietário, situação que se receava poder retardar o início dos trabalhos.

Ao mesmo tempo, verificou-se que uma parte significativa dos edifícios envolventes se encontrava em avançado estado de degradação e exibindo graves deficiências estruturais resultantes do sismo que havia feito colapsar o edifício que existia no local onde o poço se encontrava implantado. Analisando à escala da Extensão A, estes edifícios eram os que apresentavam as patologias mais significativas e inspiravam maiores cuidados.

O edifício mais próximo do poço, cuja fachada se encontrava a uns escassos metros da escavação a realizar, foi alvo de uma análise mais aprofundada, a qual incidiu sobre as medidas que seria necessário implementar de modo a garantir a segurança dos trabalhos a efetuar. Neste contexto, importa sublinhar que era muito pouca ou até mesmo inexistente a informação relacionada com as fundações dos edifícios, incluindo o edifício contíguo ao poço. Tendo em conta o aspeto exterior deste edifício e o facto de que o adjacente havia sucumbido perante o sismo, considerou-se que a única forma de assegurar a segurança do edifício durante a realização dos trabalhos de escavação (tanto os mais superficiais associados ao poço como os mais profundos, referentes às galerias) seria através da implementação de uma solução de reforço das fundações do edifício, não prevista e como tal não estudada no âmbito do projeto base. Na Figura 55 apresentam-se, a título ilustrativo, duas fotografias do edifício contíguo ao poço representativas do avançado estado de degradação em que este se encontrava.



Figura 55 – Aspeto exterior do edifício contíguo ao poço do PV2

Não menos importante, a localização do poço, em pleno coração da cidade velha de Argel e com acessos muito limitados, constituía uma grave limitação ao acesso de qualquer tipo de equipamentos, o que praticamente inviabilizava a remoção do escombros de escavação a partir da superfície.

Acrescia ao que já foi referido anteriormente, os condicionamentos de natureza geológica geotécnica, designadamente a forte possibilidade de ocorrência de um acidente geológico não detetado nas fases de estudo anteriores ao projeto de execução. Com efeito, na sondagem realizada nas proximidades do local de implantação do poço, foi identificada uma zona com percentagens de recuperação nulas ao longo de uma profundidade significativa, a qual se entendeu poder estar associada a um acidente geológico de risco acrescido. Para além do referido, essa mesma sondagem revelou igualmente fortes indícios da ocorrência de fenómenos de artesianismo. Por outro lado, e ainda que não tenha sido possível recuperar quaisquer amostras ao longo da zona correspondente ao acidente geológico, verificou-se, durante a execução da sondagem e no atravessamento dessa zona, que à boca do furo surgia um material argiloso de cor escura, extremamente plástico, indiciando a existência de uma caixa de falha de dimensões consideráveis e com um preenchimento de materiais argilosos de fracas características geomecânicas. O facto de os edifícios localizados nas proximidades desta zona apresentarem os danos mais significativos de todo o trecho em estudo, corroborava também a hipótese da existência de um eventual problema geológico geotécnico.

Não tendo sido possível interpretar o dispositivo associado ao eventual acidente geológico com apenas uma sondagem, preconizou-se a realização de três sondagens adicionais estrategicamente implantadas em redor da primeira. Apesar de a nova campanha não ter sido inteiramente conclusiva e de não ter esclarecido inequivocamente a natureza do dispositivo geológico-geotécnico, permitiu reinterpretar e afinar o modelo geológico-geotécnico existente, o qual se considerou estar associado à ocorrência de múltiplas zonas de falha. A complexidade do modelo, associado ao facto de não se ter identificado acidente semelhante em qualquer outra zona da obra, inspirou grandes reservas aos trabalhos de escavação a realizar, os quais, conforme já se teve oportunidade de ver, eram extremamente complexos.

Uma vez identificados os condicionamentos associados à implementação das soluções originais, procedeu-se ao estudo das alternativas que os permitiam ultrapassar. No caso do acesso Norte, a prioridade consistia em eliminar ou minimizar os problemas estruturais causados pela intersecção do arranque da galeria do acesso com a abóbada da estação. Ao nível do PV2, face aos riscos inerentes aos condicionamentos identificados, entendeu-se que a solução teria de passar preferencialmente por encontrar um local alternativo, suficientemente próximo do inicial, para implantar o poço, tarefa que não se adivinhava fácil dada a densa ocupação à superfície. Após algum trabalho de pesquisa, constatou-se não existir efetivamente nenhum espaço livre nas proximidades capaz de acolher uma estrutura com as características apresentadas no APD.

Perante este cenário, impôs-se uma reformulação da conceção da solução que se encontrava estabelecida. A flexibilidade para desenvolver novas soluções tinha, contudo, algumas limitações associadas, designadamente a necessidade de assegurar que o novo ponto de ligação do PV2 ao túnel de via se encontrava localizado sensivelmente a meio das estações, ou seja, próximo do antigo.

Iniciaram-se novos estudos, agora focados numa área menos restrita e mais próxima da Estação Ali Boumendjel, de modo a identificar potenciais locais onde pudesse ser executada a referida estrutura exterior do PV2. A solução inicialmente pensada correspondia a um muro de grande altura existente próximo do mercado ao lado do qual tinha sido previsto materializar a nova saída do acesso Norte. O muro, em alvenaria, revestia uma estrutura interior de grande altura, presumivelmente realizada durante a época colonial e que, durante um período recente, tinha sido utilizada como área de armazenamento do Teatro Nacional adjacente (Théâtre National Algérien), edifício datado da época colonial e situado junto a uma

importante praça de Argel, a Place Port Saïd. Vários lanços de escadas contíguos ao muro exterior permitiam vencer o forte desnível registado nesta zona da cidade.

Visitas realizadas ao local mostraram um abandono desta estrutura, pelo que se antevia ser possível integrá-la nos trabalhos a realizar no âmbito da variante. Na Figura 56 apresentam-se duas fotografias da envolvente do Teatro Nacional (vista a partir da Praça Port Saïd) e do muro adjacente onde se pretendia materializar a estrutura de exaustão de ar do PV2 e a saída do acesso técnico.



a)

b)

Figura 56 – Fotografias da envolvente: a) do Teatro Nacional; b) do muro adjacente a este

Analisadas em conjunto, as novas soluções concebidas para o acesso Norte e para o PV2 apresentavam um enorme potencial de interligação que se traduziria na criação de um novo ponto de acesso servindo simultaneamente o Teatro Nacional e a zona baixa da cidade, o que poderia ser facilmente alcançado mediante o prolongamento da galeria subterrânea do Acesso Norte ao longo de uma pequena extensão adicional. Face à relação custo/benefício envolvida, entendeu-se que esta hipótese deveria ser explorada e colocada à consideração do Dono de Obra juntamente com as restantes soluções encontradas para o acesso Norte e para o PV2.

Esta primeira hipótese de fazer sair a exaustão da ventilação no muro do Teatro teria, no entanto, que ser abandonada ainda numa fase preliminar após se terem detetado condicionamentos que introduziam riscos importantes. Esses condicionamentos estavam, em grande parte, associados à existência de uma camada de aterros de espessura considerável coincidente com o arruamento situado no tardo da estrutura e do muro adjacentes ao Teatro Nacional.

Esta informação, recolhida no decurso de uma campanha complementar de sondagens entretanto iniciada que visava a continuação destes estudos, contrariava a ideia inicial de que a estrutura do muro teria sido executada “contra” o maciço rochoso. Com uma espessura máxima de cerca de 8 m, esta camada constituía um forte condicionamento à escavação subterrânea que se pretendia realizar, cujo recobrimento médio era de cerca de 6 m. Complementarmente, foram encontrados registos da existência de uma galeria de defesa passiva subterrânea situada abaixo desta camada de aterros, interferindo com uma grande parte da escavação a realizar.

Assim, a solução finalmente concebida procurava minimizar as interferências com o muro adjacente ao Teatro Nacional, tanto mais que, segundo informações recolhidas durante o desenrolar do processo, este edifício integrava a lista de património classificado da cidade de Argel. Esta mantinha, no entanto, o objetivo de ser uma solução integrada cuja principal vantagem residiria na criação de um quarto acesso à Estação Ali Boumendjel, o qual contribuiria significativamente para a requalificação desta zona nobre da cidade.

Tendo por base estes pressupostos, começou-se por fixar a solução do acesso Norte. A solução que se entendeu ser mais vantajosa passava por adotar, no trecho inicial da galeria do acesso, o mesmo alinhamento da estação, conforme definido na solução original do APD. Contudo, propunha-se introduzir modificações ao nível do perfil longitudinal de modo a evitar os condicionamentos inicialmente identificados. Através de uma redução das cotas do acesso, foi possível implantar a abertura da galeria sensivelmente no topo da estação e assim praticamente anular as interferências com a sua abóbada. O traçado desenvolver-se-ia de seguida para Norte, com uma ligeira inflexão após entrar em patamar, atingindo finalmente a saída do acesso.

Ainda no que se refere ao acesso Norte, mas no que concerne em particular ao túnel e ao poço de ventilação da Estação Ali Boumendjel, avaliou-se a adequação das soluções concebidas na primeira solução variante à luz deste novo cenário, tendo-se concluído que estas deveriam ser também reformuladas e otimizadas. Neste sentido, repôs-se o poço de ventilação sensivelmente na localização original do projeto base (o que não constituía à partida um condicionamento) mas alterou-se a configuração do túnel de ventilação, o qual descreveria, em planta, uma curva pronunciada, o que permitia literalmente contornar as dificuldades estruturais associadas ao topo da estação.

Não sendo prudente, como se referiu atrás, instalar a estrutura específica para a exaustão de ar no muro do Teatro, era essencial encontrar um local alternativo onde esta última pudesse ser instalada. Uma praça situada nas traseiras do mercado que agora se encontrava servido pelo acesso Norte apresentava-se como o único local plausível. Contudo, a área restrita deste espaço apenas permitiria aí implantar um poço de dimensões reduzidas, significativamente inferiores às do APD. Surgiu então a hipótese de materializar, nesse local, um poço de menores dimensões servindo unicamente para fins de ventilação.

Em subterrâneo, a galeria seria desviada e o túnel subiria progressivamente em direção à superfície até intersectar o poço ao nível da abóbada, o que permitia assegurar plena funcionalidade no que à ventilação diz respeito. Restava apenas resolver a saída para o acesso técnico, a qual não poderia ser feita através do poço visto este não poder dispor de área adicional que pudesse ser usada para este fim.

A solução encontrada previu prolongar simultaneamente a galeria subterrânea do acesso Norte e o acesso técnico do túnel de ventilação de modo a ambos poderem comunicar ortogonalmente. Tirando partido desse prolongamento da galeria do acesso, efetuou-se um novo prolongamento em direção ao muro adjacente ao Teatro Nacional e manteve-se a proposta de criação de um quarto acesso à Estação Ali Boumendjel. Perante as inequívocas vantagens da nova solução variante desenvolvida, apresentada na Figura 57, esta viria a ser aprovada pelo Dono de Obra.

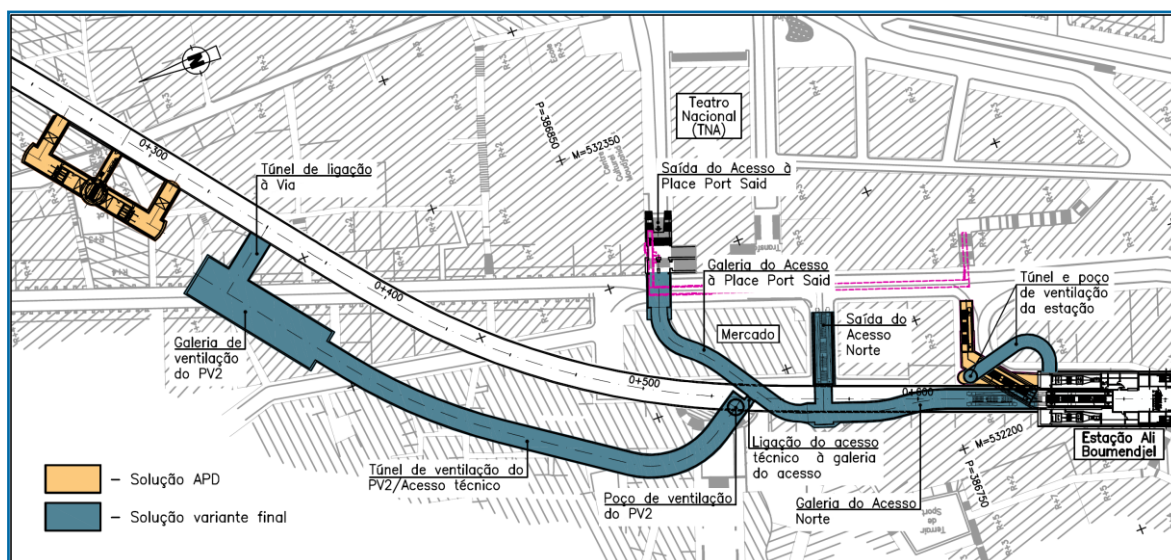


Figura 57 – Planta da solução variante final

Nas figuras seguintes ilustra-se, com recurso a dois perfis longitudinais, o desenvolvimento subterrâneo da solução concebida. Na Figura 58 a galeria que liga a estação ao acesso Norte e ao novo acesso ao Teatro, enquanto na Figura 59 a galeria de ventilação e o túnel de ventilação que faz a ligação da ventilação à superfície graças ao poço PV2, onde também se materializa a saída do acesso técnico para a galeria do acesso à *Place Port Said* e, assim, à superfície.

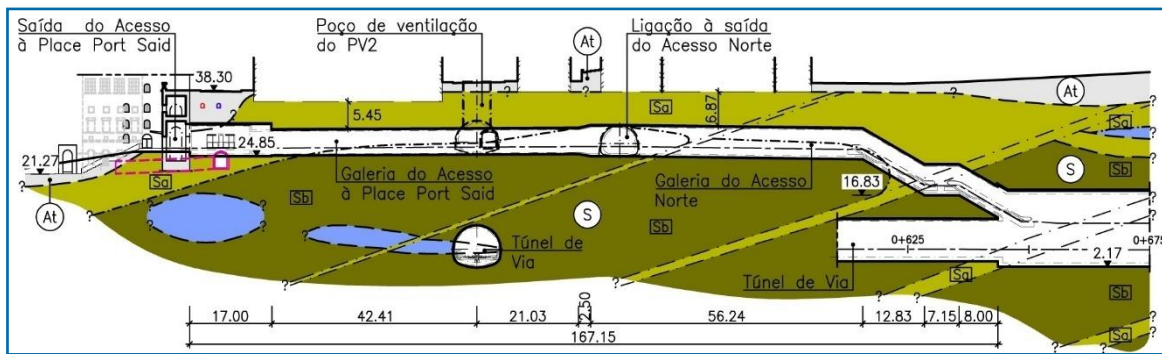


Figura 58 – Perfil longitudinal das galerias associadas ao Acesso Norte e ao Acesso à Praça Port Said

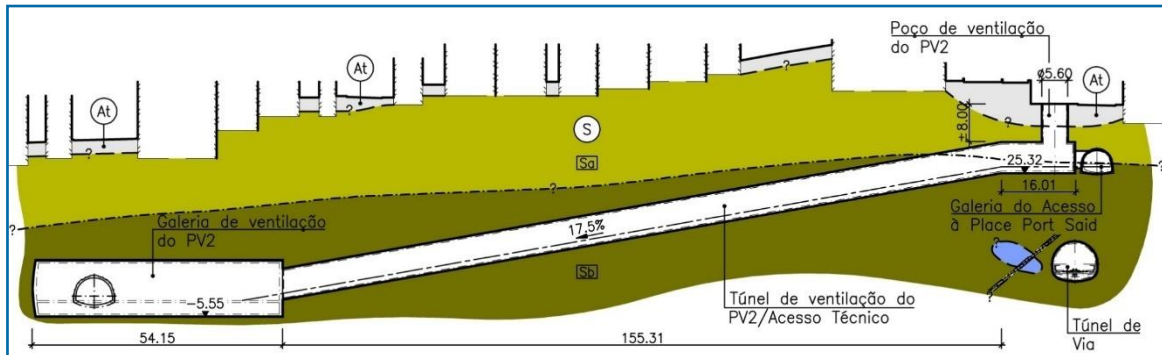


Figura 59 – Perfil longitudinal das obras associadas ao PV2

Não sendo possível, dada a dimensão da solução variante, apresentar com detalhe a conceção de todas as obras, apresentam-se nas figuras seguintes algumas imagens associadas à materialização da frente de ataque no muro adjacente ao Teatro Nacional, a qual se crê corresponder a um dos casos de maior interesse.



a)



b)



c)

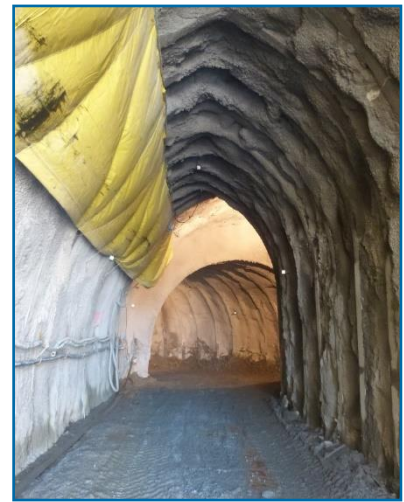
Figura 60 – Ataque da obra a partir do muro adjacente ao Teatro Nacional: a) materialização da rampa temporária de trabalho; b) desmonte da alvenaria exterior em ambas as aberturas; c) instalação das enfilagens e das pregagens de fibra de vidro na frente de ataque



a)



b)



c)

Figura 61 – Ataque junto ao Teatro Nacional: a) escavação em side-drift; b) side-drift terminado, sendo visível o alargamento à frente; c) alargamento terminado e escavação em direção ao topo Norte da Estação *Ali Boumendjel*



a)



b)

Figura 62 – Ataque junto ao Teatro Nacional: a) alargamento, em direção ao exterior, da secção escavada inicialmente com recurso a side-drift; b) conclusão do alargamento e materialização da segunda abertura no muro



Figura 1 – Imagens de uma fase terminal da realização dos toscos

5 - DESAFIOS E ASPETOS CONSIDERADOS INOVADORES OU RELEVANTES

- Um dos desafios evidentes desde o primeiro instante foi o facto de ao longo de todo o traçado se verificar uma densa ocupação à superfície, predominantemente constituída por edifícios de habitação de épocas bastante distintas. Entre estes, destacavam-se os edifícios centenários da época de ocupação colonial francesa, de porte considerável (até seis pisos), e as edificações pertencentes à zona histórica do Casbah (citadela), base da cidade medieval e reconhecida como património mundial pela UNESCO em 1991. De uma maneira geral, estes edifícios encontravam-se significativamente degradados e fragilizados, não só devido à sua avançada idade e falta de conservação, mas também aos abalos sísmicos que frequentemente afetam a região. Assim, o controlo dos deslocamentos associados às escavações, muitas delas de grande secção e complexidade, foi um aspeto de primordial importância;
- Face a este e outros importantes condicionamentos, o estudo das obras de ataque resultou absolutamente fulcral para o sucesso da obra e o cumprimento das metas estabelecidas a nível contratual para o prazo de execução da mesma. Com efeito, da análise do projeto base patente a concurso verificou-se existirem apenas duas frentes de ataque efetivas para o início dos trabalhos de escavação, nomeadamente o poço de ventilação PV1, localizado no início do trecho em direção à Estação Place des Martyrs, e a própria estação Place des Martyrs, à data concebida realizar por escavação a céu aberto. As restantes localizações admitidas para as possíveis obras de ataque não constituíam soluções viáveis, pelo que foi exigido um desafiante trabalho de conceção para encontrar soluções que garantissem a realização deste imenso projeto dentro dos prazos contratualmente estabelecidos, o que resultou na criação de um conjunto de soluções particularmente inovadores e reveladores da capacidade técnica e criativa da engenharia portuguesa;
- A materialização das naves principais da Estação Place des Martyrs, sobretudo a sua nave central com dimensões únicas para este tipo de escavações, apresentando uma largura máxima de escavação de 26,0 m e uma altura de 19,2 m, o que equivale a uma área de escavação de 397 m², exigiu a conceção de um complexo faseamento executivo que previu todo o ataque à estação a partir de um poço, bem como um tratamento do material ocorrente ao nível do seu recobrimento, o qual para além de extremamente reduzido, cerca de 18,0 m, ou seja, inferior ao diâmetro equivalente da secção máxima da estação, interessava xistos alterados e fraturados. Também os acessos à estação exigiram a conceção de faseamentos de elevada complexidade que resultaram não só das dimensões únicas das galerias em causa, mas também de todos os condicionamentos à superfície resultantes do elevado valor do património arqueológico descoberto na praça;
- O faseamento executivo implementado para a abertura das galerias da Estação Place des Martyrs foi particularmente inovador uma vez que os condicionamentos existentes, nomeadamente o facto de toda a estação ter que ser realizada a partir de um poço de reduzidas dimensões, resultaram na necessidade de que os alargamentos progressivos da escavação fossem atacados no interior das galerias, implicando um conjunto de soluções técnicas e métodos executivos particulares, entre eles o tratamento com injeções de calda de cimento do horizonte de xistos sobre a abóbada;
- Toda a obra de ataque à Estação Ali Boumendjel, para além de apresentar grande complexidade técnica, é reveladora do espírito inovador que foi exigido aos projetistas desta desafiante realização “fora de portas”. O exemplo mais marcante é a obra do Acesso da Mesquita Ibn Badis, na qual se executou uma galeria a muita curta distância das fundações de um edifício de grande porte para que a mesma se pudesse desenvolver a cota constante, garantindo assim as condições necessárias para utilizar este acesso como obra de ataque à estação e, adicionalmente, melhorar significativamente as próprias condições de exploração;
- O ataque propriamente dito a esta estação, através de uma galeria de pequenas dimensões perpendicular ao corpo da estação, foi conseguido graças a um faseamento executivo inovador que recorreu a todo o engenho e experiência em obras subterrâneas adquiridos pela empresa ao longo das muitas obras realizadas “dentro de portas”;
- Todo o estudo da solução variante para o PV2, que inclui a deslocação de um dos acessos da Estação Ali Boumendjel e a criação de um novo acesso a esta estação, o último com entrada através do edifício do Teatro Nacional de Argel, considera-se ser também um trabalho de grande inovação e arrojo técnico, o qual contribui não só para a resolução de complexos problemas de realização como também para a melhoria do produto final entregue à população;
- Também as estruturas definitivas das grandes galerias que materializam as estações constituíram um enorme desafio técnico para o projeto, uma vez que o seu dimensionamento foi fortemente condicionado pela localização da obra no centro da cidade e pela presença de níveis freáticos muitas vezes próximos da superfície, mas sobretudo pelo facto de Argel se localizar numa zona de sismicidade muito elevada, pelo que foi necessário dar uma especial atenção ao dimensionamento sísmico de todas as estruturas. A análise sísmica foi efetuada impondo aos modelos de cálculo deslocamentos variáveis em profundidade

e considerando a interação solo-estrutura. Nas estações os deslocamentos impostos variaram ainda ao longo do seu comprimento;

- Particularmente desafiante e inovadora foi a betonagem das imensas galerias da Estação Place des Martyrs, tanto pelas dimensões únicas dos moldes necessários como pelo faseamento a adotar, sobretudo nas zonas de ligação aos acessos;
- Finalmente, salienta-se que o reconhecimento da qualidade do trabalho executado foi um dos principais fatores que pesou na decisão de adjudicar os projetos de duas novas empreitadas a um agrupamento projetista que integra a equipa que concebeu o presente projeto. Trata-se da extensão para o Aeroporto de Argel, com 9,5 km e 9 estações, e um trecho da extensão entre Ain Nadja e Baraki com cerca de 1700 m, que inclui o túnel de via e um poço de ventilação.

PRINCIPAIS QUANTIDADES DE TRABALHO

EXCAVAÇÕES E ENTIVAÇÕES

| | |
|---|------------------------|
| Escavação a céu aberto | 3 500 m ³ |
| Escavação subterrânea em NATM | 310 000 m ³ |
| Escavação manual no âmbito dos trabalhos de investigação arqueológica | 2 100 m ³ |
| Execução de aterros | 11 400 m ³ |
| Execução de microestacas | 1 400 ml |
| Estacas de 0,8 m de diâmetro | 2 000 ml |
| Estacas de 0,6 m de diâmetro | 1 800 ml |
| Estacas de 0,25 m de diâmetro | 3 500 ml |
| Escoramentos metálicos | 66 000 kg |
| Ancoragens pré-esforçadas | 2 000 ml |
| Ancoragens auto-perfurantes | 3 900 ml |

BETÕES

| | |
|------------------|------------------------|
| COFRAGENS | 95 000 m ³ |
| | 100 000 m ² |

AÇOS

| | |
|--|--------------|
| Armaduras em aço A500NR para betão armado | 4 120 000 kg |
| Malhas electrossoldadas em aço A500NR. | 2 150 000 kg |
| Ferrolhos | 15 000 ml |
| Cambotas metálicas HEB para suporte provisório dos túneis e galerias | 2 050 000 kg |
| Fibras metálicas em aço para betão projetado | 180 000 kg |

SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DAS OBRAS SUBTERRÂNEAS

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Geotêxtis e membrana em PVC de 2,0 mm | 72 000 m ² |
|---------------------------------------|-----------------------|

TRATAMENTOS DE TERRENO

| | |
|--|-----------|
| Pregagens em varão □25 mm | 8 000 ml |
| Pregagens em fibra de vidro | 25 000 ml |
| Enfilagens em tubo de aço | 55 000 ml |
| Furação para tratamento com injeções de calda de cimento | 22 000 ml |
| Pregagens do tipo SWELLEX | 26 000 ml |

| | |
|----------------------|--------|
| CUSTO DA OBRA | 140 M€ |
|----------------------|--------|

PUBLICAÇÕES TÉCNICAS

Tendo em consideração a evidente impossibilidade de descrever integralmente a presente realização no contexto desta descrição, remete-se o aprofundar dos aspetos técnicos e executivos mais relevantes da mesma para a leitura das diversas publicações técnicas trazidas a público em diversos eventos técnicos nacionais e internacionais.

- Conception et construction de la station Place des Martyrs du Metro d'Alger, Ligne 1. Conceição, M. ; Baião, C.; K. Ibouchoukene; M. Haouchine. 1er Colloque International Sol, Eau et Environnement (CISEE'2014). Annaba, Argélia. 2014;
- A concepção e construção de uma galeria com características únicas para a Estação Place des Martyrs do Metro de Argel". Miguel F. Menezes da Conceição; Carlos J. Oliveira Baião; António J. Mateus de Brito; Rui Correia. XVII Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia. Goiânia, Brasil. 2014 ;
- Uma solução subterrânea como resolução de complexas interferências à superfície próximo da Estação Ali Boumendjel da Linha 1 do Metro de Argel". Santos, Artur; Conceição, Miguel; Baião, Carlos; Prado, Rubens; Barradas, Alberto. 14º Congresso Nacional de Geotecnia. Covilhã. 2014;
- Concepção dos Acessos Subterrâneos à Estação Place des Martyrs da Linha 1 do Metro de Argel. Oliva, R.; Conceição, Miguel; Baião, Carlos; Correia, Rui. 14º Congresso Nacional de Geotecnia. Covilhã. 2014;
- Design and construction of the Place des Martyrs Station of the Metro Line1 of Algiers, Conceição, M., Baião, C., Santos, A., Oliva, R., Martins, A., Prado, R., Hadbi, A., Haouchine, M.; Congresso Mundial de Túneis. Geneve. Suíça 2013;
- Design and construction of the Ali Boumendjel Station of the Metro Line1 of Algiers, Conceição, M., Baião, C., Santos, A., Oliva, R., Martins, A., Prado, R., Hadbi, A., Haouchine, M.; Congresso Mundial de Túneis. Genebra. Suíça. 2013;
- Metro de Argel. Linha 1 – Extensão A – Place Emir Abdelkader-Place Des Martyrs. Concepção geral das estações subterrâneas. Conceição, Miguel F. Menezes; Baião, Carlos J. Oliveira; Santos, Artur; Oliva, Rita; Cruz, Francisco; Martins, Alexandre; Prado, Rubens; 13º Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa. 2012;
- Metro de Argel. Línea 1 - Ampliación A - Place Emir Abdelkader-Place des Martyrs. Concepción General de las Estaciones Subterráneas". Conceição, M.; Baião, C.; Santos, A.; Oliva, R.; 10º Seminario Venezolano de Geotecnia. Caracas. 2012;
- Algiers subway. Line 1 - Extension A. Place Emir Abdelkader - Place des Martyrs. General Design of the Attack Solutions for the Underground Excavations". Cruz, F; Conceição, M.; Baião, C.; Santos, A; Oliva, R; Prado, R; 13th AFTES International Congress. Lyon. França. 2011;
- Metro de Argel. Linha 1 – Extensão A. Place Emir Abdelkader – Place des Martyrs. Concepção geral das obras de ataque às escavações subterrâneas". Cruz, Francisco; Conceição, Miguel; Baião, Carlos; Santos, Artur; Oliva, Rita; Prado, Rubens. Encontro Nacional sobre o Espaço Subterrâneo e a sua utilização – ENESU 2010. LNEC. Lisboa. 2010;
- Metro de Argel – Extensão A da linha 1. Monteiro, Fortes; Alves, Cristina; Boim, Miguel; Baião, Carlos; Conceição, Miguel. Artigo na revista "Estruturas de betão em Portugal 2010-2014" publicada pelo Grupo Português de Betão Estrutural (GPBE).

ENTIDADES INTERVENIENTES

– **DONO DE OBRA: Entreprise Metro d'Alger**

Engº A. Hadbi

Engº M. Haouchine

Engº M. Nacereddine

– **FISCALIZAÇÃO: Dessau**

Engº Nizar Smaoui (Diretor técnico)

– **EMPREITEIRO: GMAC – Groupement Metro Alger Centre (Andrade Gutierrez S.A., Teixeira Duarte S.A., Gesi-TP e Zagope – Construções e Engenharia S.A)**

Engº Alexandre Martins/ Engº Paulo Gonçalves Silva

Engº Victor Cruz/ Engº Rui Correia/ Engº Rubens Prado

– **PROJECTISTA: Cenor, Consultores SA (atual TPF – Consultores de Engenharia e Arquitectura, S.A.)**

Engº Carlos Baião/ Engº Miguel Conceição/ Engº Artur Santos/ Eng. Francisco Cruz/ Engª Rita Oliva

Dr. Sérgio Rosa/ Eng. Nélon Rodrigues/ Dr. António Gaspar\Engº Rui Fortes Monteiro/ Engª

Cristina Alves\Engº Miguel Boim/ Engº Pedro Mateus