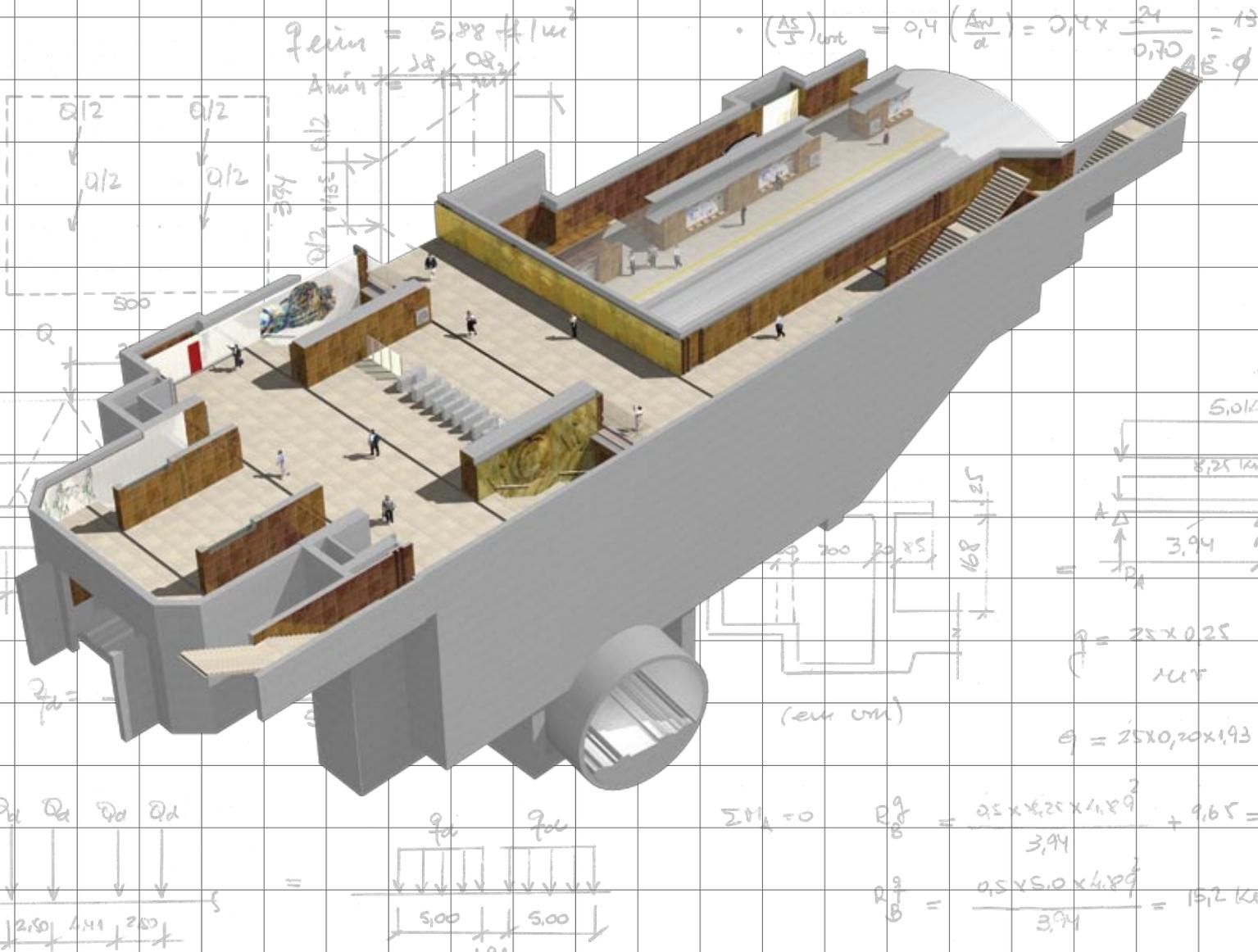


Remodelação da Estação Saldanha I



Metropolitano de Lisboa

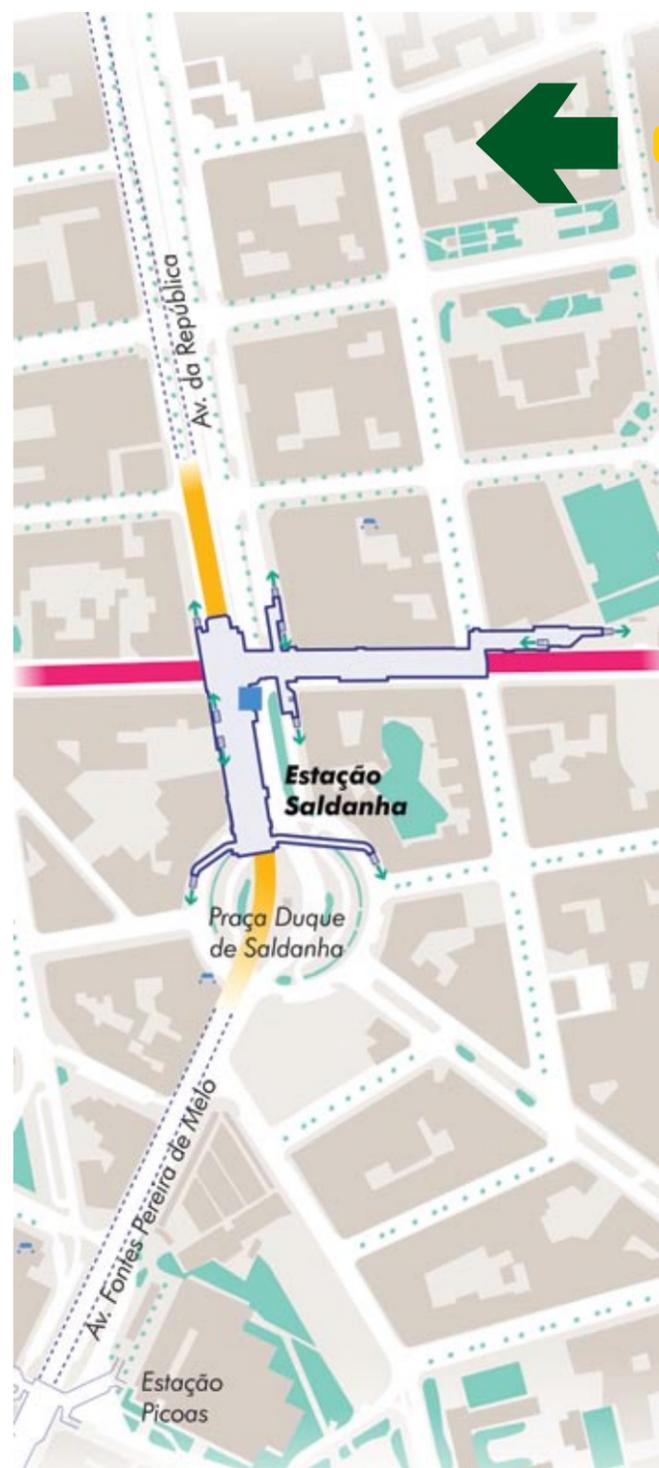


Sumário

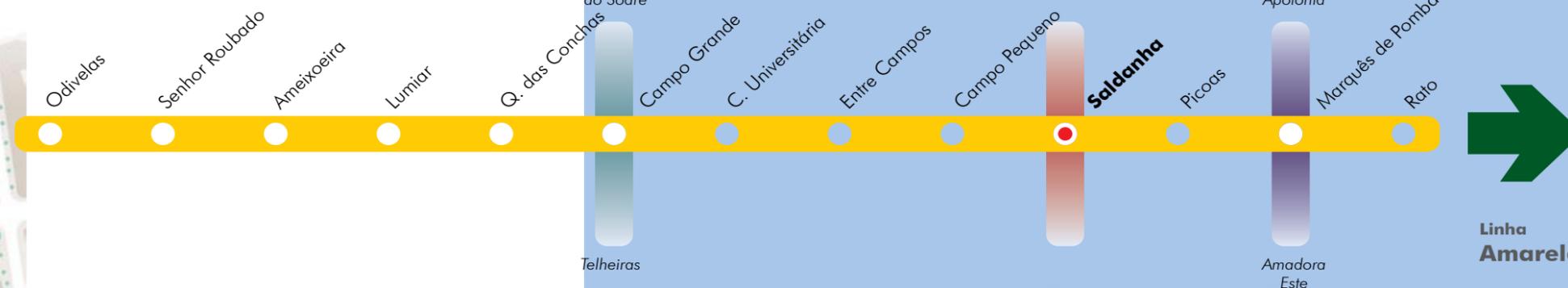
Introdução	4	Estruturas de contenção	18
Histórico	6	Galerias escavadas em NATM	20
Visão geral da obra	7	Instrumentação e monitoramento	21
Quantitativos principais	11	Estruturas em concreto armado	22
Metodologia construtiva	12	Desenhos técnicos	26
Estruturas metálicas de proteção da via	16	Equipe técnica do projeto	31
Estrutura de subfundação da abóbada	17		



Introdução



Mapa de localização da Estação Saldanha



Localizada sob a Avenida da República, umas das principais vias de circulação de Lisboa, e próxima à Praça Duque de Saldanha, da qual empresta o nome, a renovada Estação Saldanha da Linha Amarela do Metropolitano de Lisboa insere-se no âmbito das obras de prolongamento da Linha Vermelha, Alameda-São Sebastião.

O projeto da remodelação desta estação que interliga as Linhas Amarela e Vermelha foi realizado pela empresa brasileira Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto S/A em associação com a portuguesa Ferconsult, Consultoria, Estudos e Projectos de Engenharia de Transporte S/A.

A Figueiredo Ferraz foi responsável pelos projetos das estruturas, dos túneis NATM sob a via e das contenções periféricas da Estação Saldanha I, cabendo à Ferconsult os projetos das demais especialidades.

Trata-se de um projeto de elevada complexidade técnica e condições particulares impostas por requisitos de execução de uma obra com aproveitamento de estruturas existentes, manutenção em operação de uma importante estação do Metropolitano



de Lisboa, e intervenção superficial em uma zona urbana comercial e de escritórios.

A execução da obra foi adjudicada ao consórcio construtor formado pelas empresas Somague, Bento Pedroso, Mota-Engil e Spie Batignoles em ACE, e o acompanhamento técnico a obra (ATO) ficou a cargo da Figueiredo Ferraz.

Praça Duque de Saldanha

Histórico

Desde a sua inauguração em 1959, a Estação Saldanha passou por diversas alterações em sua estrutura. O projeto arquitetónico original é de autoria de Falcão e Cunha e as intervenções plásticas da pintora Maria Keil. Em 1977, a Estação foi ampliada com base no projeto dos arquitetos Falcão e Cunha e Sanchez Jorge e as intervenções plásticas da pintora Maria Keil.

A ampliação da Estação implicou o prolongamento das plataformas de embarque e a construção de um novo átrio (Norte). Para tanto, foram necessárias a eliminação de alguns pilares e a execução de vigas-parede transversais com grandes vãos. O projeto de estruturas foi elaborado pela empresa SOMEC. Em 1996 o Átrio Norte da Estação foi remodelado

com base no projeto de autoria do arquiteto Paulo Brito da Silva e as intervenções plásticas do escultor Jorge Vieira e do artista plástico Luis Filipe de Abreu. Em 1997 seria a vez do Átrio Sul da Estação ser remodelado, com base no trabalho destes mesmos autores.

No ano de 2005, já no âmbito das obras de prolongamento da Linha Vermelha, foi executado um trabalho de recalçamento de pilares, para permitir a passagem do shield sob a Linha Amarela. O projeto e o acompanhamento dos trabalhos foram realizados por técnicos da Figueiredo Ferraz. Foram executadas sapatas adicionais e uma série de injeções de compensação, de modo a controlar as deformações previstas ao nível da via em operação.

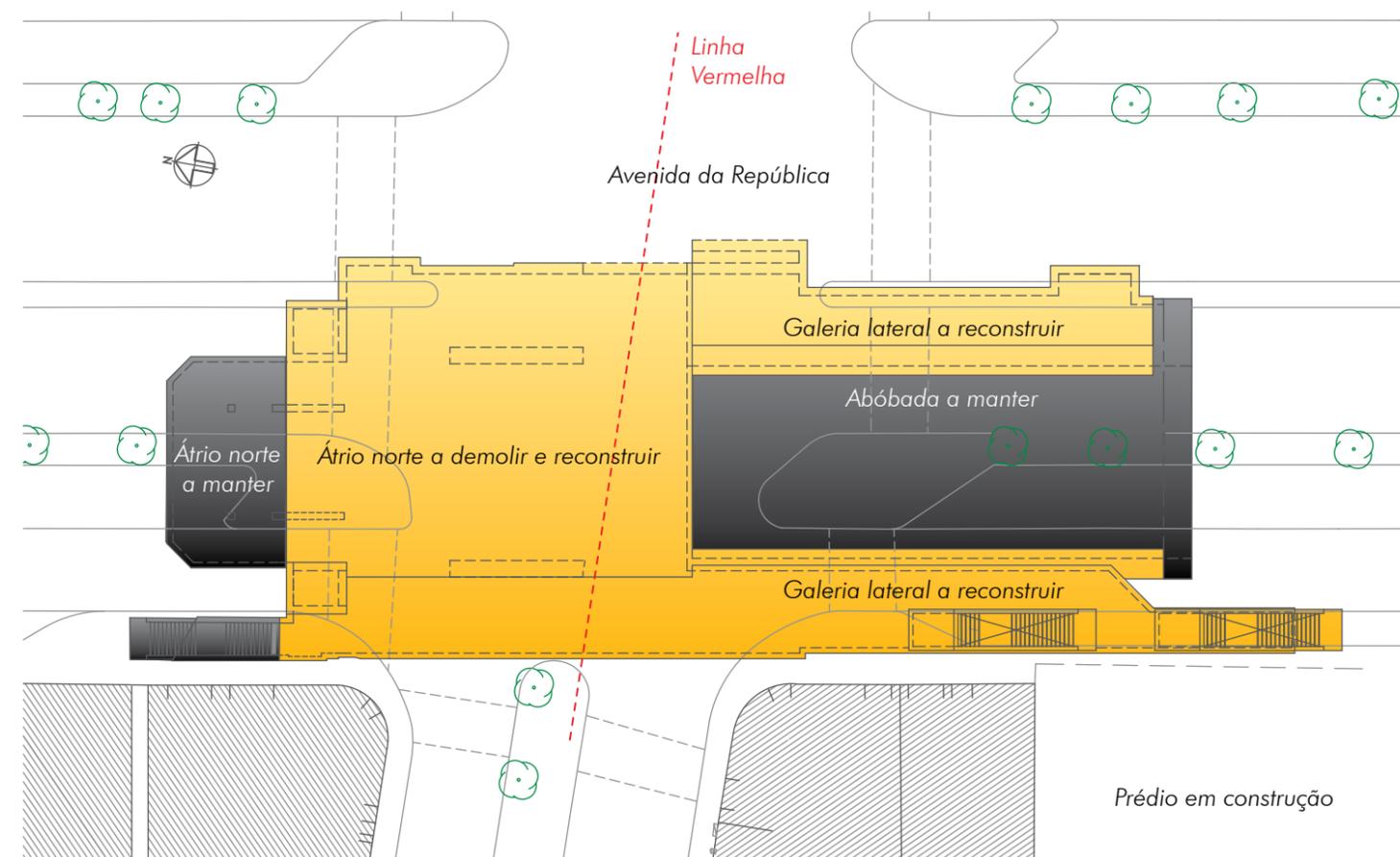
Visão geral da obra

O projeto arquitetónico da remodelação da Estação Saldanha foi desenvolvido pelos arquitetos portugueses Germano Venade e Paulo Brito e Silva.

As principais alterações foram no Átrio Norte e nas galerias de acesso às plataformas. Foram preservadas uma pequena área do Átrio Norte e quase toda a abóbada da via existente, um túnel falso, de parede espessa, construído em concreto com pouquíssima armadura, solução estrutural muito comum no Metrô de Lisboa.

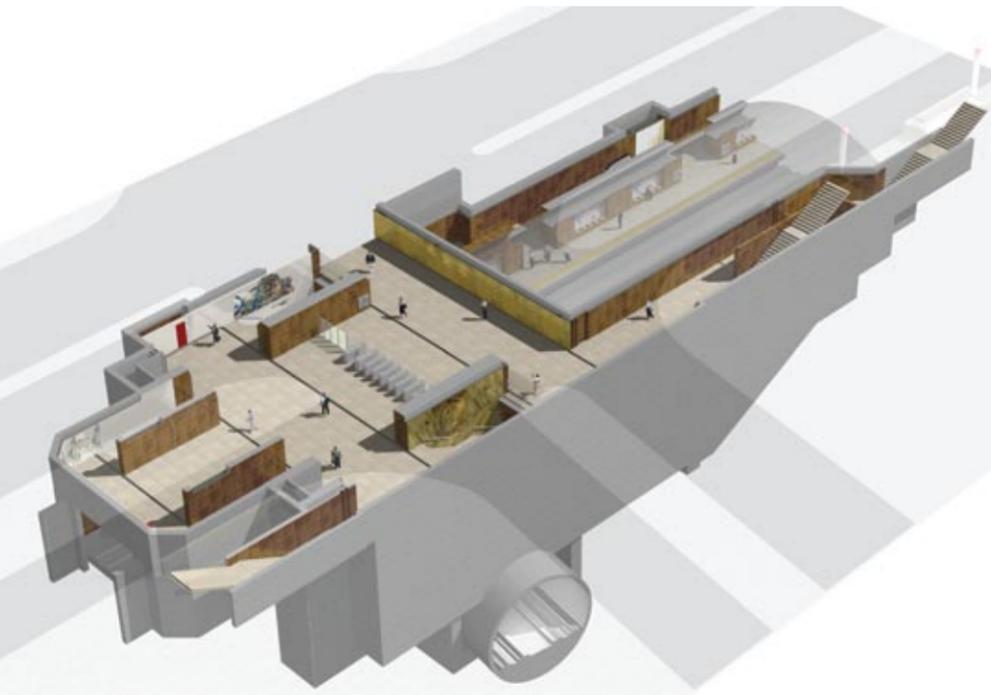
A área do Átrio Norte foi ampliada de 100 para 350 m², obtida graças à demolição das salas reservadas ao uso operacional. As galerias laterais à via foram completamente demolidas e reconstruídas, precisando ser aprofundadas em mais 8 metros, a fim de permitir o acesso à Linha Vermelha do Metrô.

Para interligar as galerias laterais, foram executados dois pequenos túneis sob a via existente.

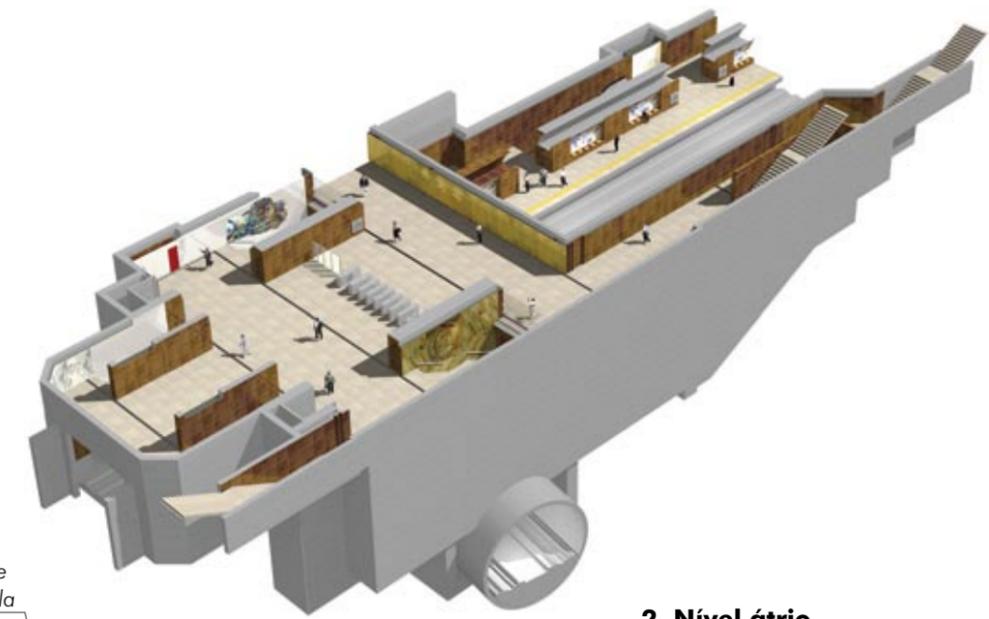


Planta geral da obra

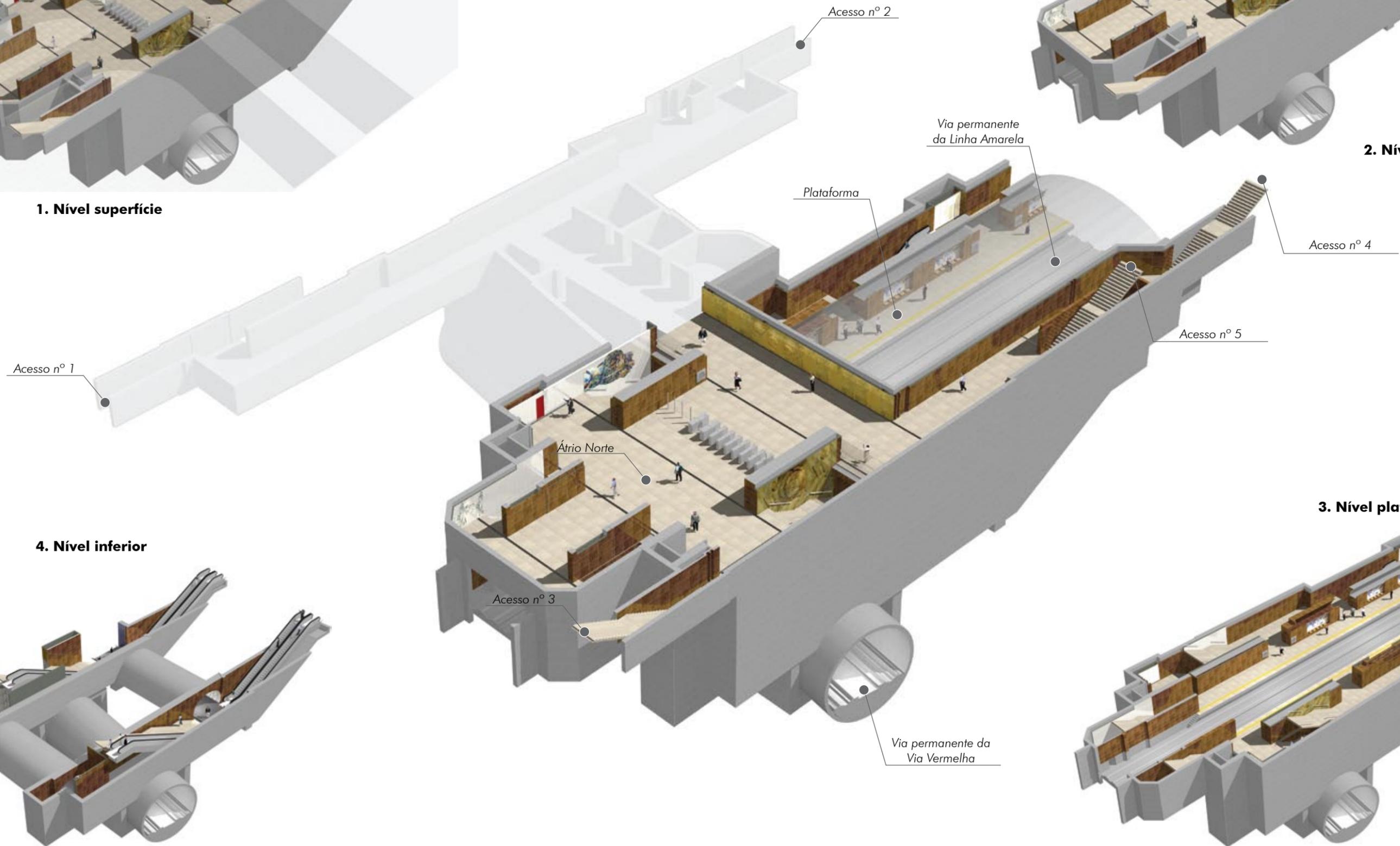
Plataforma de embarque da Estação Saldanha



1. Nível superfície



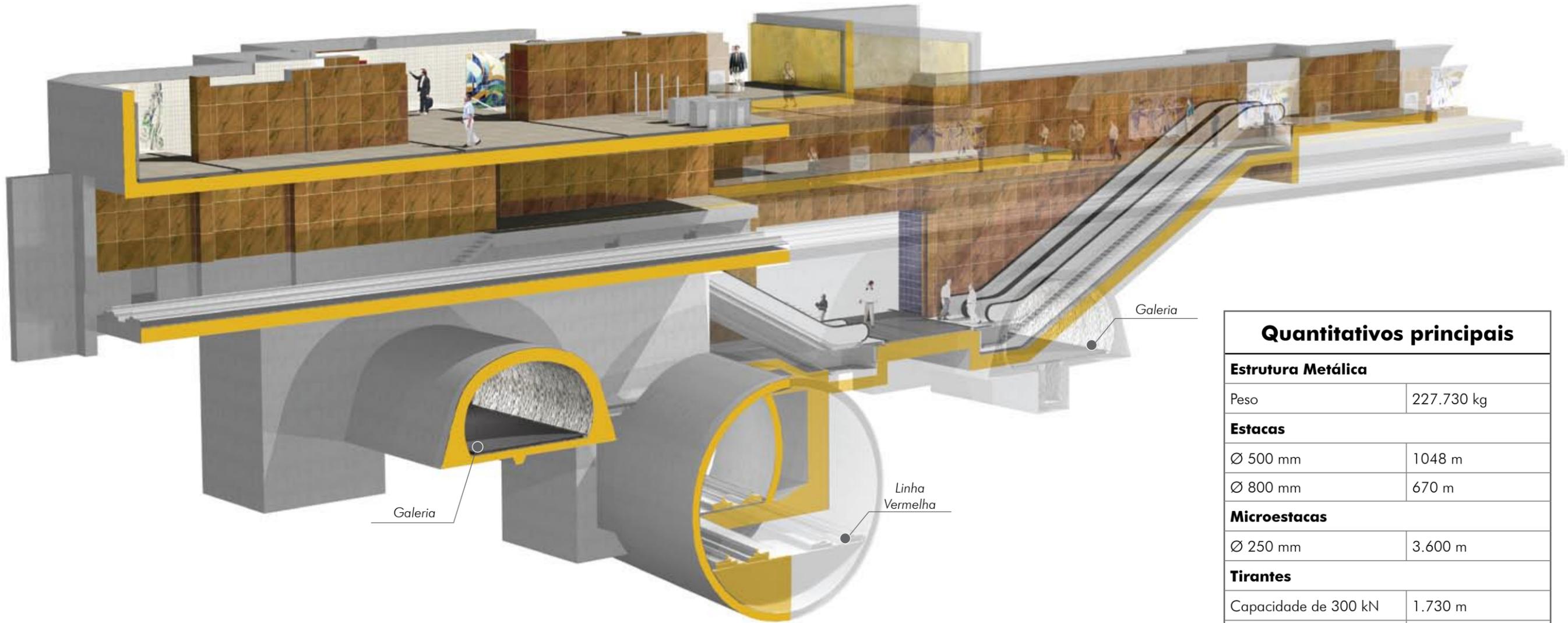
2. Nível átrio



4. Nível inferior

3. Nível plataforma

Estação Saldanha I - Corte Longitudinal



Painéis artísticos da Estação Saldanha I.



Quantitativos principais	
Estrutura Metálica	
Peso	227.730 kg
Estacas	
Ø 500 mm	1048 m
Ø 800 mm	670 m
Microestacas	
Ø 250 mm	3.600 m
Tirantes	
Capacidade de 300 kN	1.730 m
Capacidade de 600 kN	1.700 m
Escavação	
Volume	14.895 m ³
Estruturas de Concreto	
Concreto C30/37 f _{ck} = 30 MPa	5.440 m ³
Aço A500NR f _{yk} = 500MPa	922.000 kg
Luas (vários diâmetros)	2.600 un

Metodologia construtiva

A primeira intervenção das obras de remodelação da Estação Saldanha ocorreu em 2005, quando do reforço de suas fundações para a passagem do shield sob a Linha Amarela. O projeto e acompanhamento desta obra ficaram por conta da projetista Figueiredo Ferraz.

Em 2006, iniciaram-se as obras de remodelação da Estação, com o desvio do trânsito e o remanejamento das utilidades sob a Avenida da República.

Ao nível da plataforma, foram instaladas as estruturas metálicas de suporte do Átrio Norte e de trecho da abóbada, com a finalidade de proteger a via e os usuários das demolições de parte da estrutura em concreto armado. Por segurança, também foram instaladas estruturas metálicas de suporte sob o trecho de abóbada a ser preservado.



Demolições



Detalhe de demolição - vigas paredes



Armadura da laje de piso do Átrio Norte





Demolição com ferramenta tipo “mandíbula”

Da superfície, foram executadas as estacas periféricas para a contenção do solo. Em seguida, iniciaram-se as escavações que deixaram descobertas as estruturas do átrio e parte da abóbada.

Para permitir a interligação das Linhas Vermelha e Amarela, o projeto de arquitetura previu a demolição quase integral do Átrio Norte e um pequeno trecho da abóbada. O corte das lajes e das paredes foi executado com serra de fio diamantado e com giratórias equipadas com ferramentas tipo “mandíbula”. Em razão da proximidade aos edifícios, o uso de martelos pneumáticos foi limitado.

A escavação prosseguiu até o nível da plataforma, de onde foram executadas microestacas verticais, para a contenção interna do solo sob a região do Átrio Norte, e microestacas inclinadas, para a sustentação da abóbada e a contenção do solo sob a via. Em seguida, foram escavadas as regiões das galerias laterais até atingir a cota de fundo.

A partir deste ponto, iniciou-se a concretagem das estruturas internas, realizada em várias etapas para contemplar a execução das duas galerias em NATM e a demolição parcial dos anéis do túnel em shield da Linha Vermelha, que interferiam com a caixa das escadas rolantes.

Por segurança, os túneis das galerias de passagem foram embocados com a estrutura interna parcialmente executada até o nível da plataforma. Apenas uma região no entorno da abertura dos túneis (block-out) foi deixada livre. A continuidade das armaduras interrompidas nestas juntas de concretagem foi viabilizada pelo uso intensivo de luvas.

A concretagem prosseguiu com a execução das galerias laterais e das lajes do Átrio

Norte e da cobertura. Particular atenção recebeu a concretagem da laje de cobertura, cujo cimbramento foi realizado com perfis metálicos, posicionados sobre a laje, que sustentaram a fôrma por meio de tirantes. Este processo foi controlado topograficamente, a fim de garantir o cumprimento das deformações e contra-flechas previstas em projeto.

Após a cura das lajes de cobertura do Átrio Norte e das novas galerias laterais, procederam-se à impermeabilização com manta asfáltica, ao reaterro da vala e à restauração da superfície. A face superior da abóbada também recebeu imprimação asfáltica após tratamento de fissuras e infiltrações pré-existentes.



Montagem da armadura da laje de cobertura

Estruturas metálicas de proteção da via

Na zona do átrio a ser demolido, foi montada uma estrutura metálica em forma de treliça. Devido ao gabarito necessário a respeitar para a passagem dos trens, foi preciso escarificar ou mesmo demolir previamente trechos de vigas existentes, para permitir a montagem das partes superiores das treliças.

O cálculo previu também que a estrutura suportasse as cargas resultantes da concretagem das lajes do novo átrio, uma vez que não seria possível a instalação de cimbramento convencional



Proteção de via sob o átrio



Proteção de via sob a abóbada



Modelo da estrutura de proteção do átrio



Modelo da estrutura de proteção da abóbada

sobre a via e as lajes da plataforma em operação comercial.

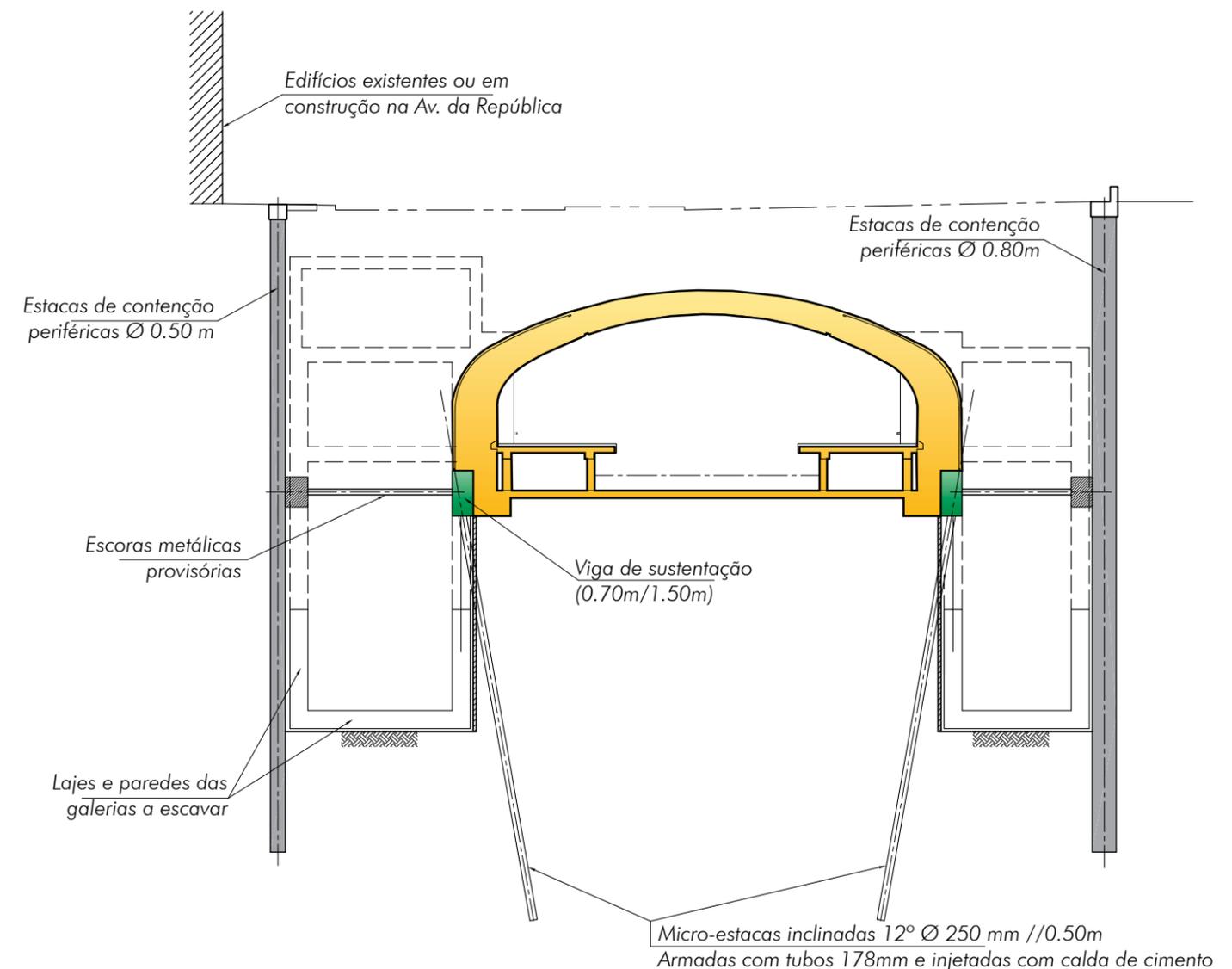
Na zona a preservar da abóbada, o projeto previu a montagem de uma estrutura metálica em forma de arco, calculada para suportar o peso próprio do concreto armado, caso houvesse uma eventual movimentação da abóbada ou o desprendimento do seu revestimento provocado por vibrações durante as escavações, demolições ou reaterro, conferindo assim proteção aos usuários nas plataformas e aos trens em circulação durante o período de obras.

Estrutura de subfundação da abóbada

Na zona a preservar da abóbada, previu-se a execução de microestacas inclinadas com dupla função: contenção do solo e suporte da abóbada durante a escavação.

O projeto de arquitetura previu a escavação de galerias laterais alinhadas com as faces exteriores da abóbada existente, o que impôs a execução das microestacas com uma inclinação de 12 graus em relação à vertical.

A execução das microestacas foi realizada com a demolição alternada de trechos da base da abóbada, os quais eram refeitos em concreto tipo C30/37 e reforçados para atuarem como vigas de sustentação. A continuidade destas vigas foi garantida por meio de luvas instaladas em cada etapa de execução. Também foram instaladas luvas para a conexão com as lajes e as paredes das estruturas internas a serem executadas posteriormente.



Corte esquemático na zona da abóbada

Estruturas de contenção

As estruturas de contenção foram concebidas como obra provisória e se dividem em periféricas e internas.

A contenção periférica foi constituída por estacas de concreto armado, escavadas com diâmetros de 800 mm e 500 mm, espaçados entre 1,20m e 1,60m. Foi executada com aplicação de concreto projetado e malha eletrosoldada, utilizando-se de 1 a 5 níveis de tirantes de 300 kN e 600 kN, de acordo com a profundidade da escavação. Em razão da existência de subsolos em alguns edifícios vizinhos, alguns tirantes de níveis mais superficiais foram substituídas por pregagens curtas em aço.

Após a realização de sondagens exploratórias, a implantação das estacas foi ajustada em obra em razão das interferências com as redes urbanas, muitas delas divergentes dos cadastros disponíveis.

Para o dimensionamento das estacas foram consideradas, além dos empuxos de solo, as sobrecargas de equipamentos usados durante a construção e as cargas devidas à fundação de edifícios vizinhos.

As contenções internas, em função das restrições de espaço, foram definidas em micro-estacas armadas, com tubo de aço N80 com 127 mm ou 178 mm de diâmetro, espessura de 9 mm e injetadas com calda de cimento.



Estacas periféricas



Perfuração de estacas



Posicionamento de armadura das estacas



Microestacas



Escoramento provisório

Galerias escavadas em NATM

A interligação entre as galerias laterais é feita por dois túneis, escavados sob a via existente pelo método NATM (New Austrian Tunneling Method). As escavações realizaram-se com o maciço drenado, embocadas a partir de um dos lados das valas, com avanços de 80 cm. Nesta fase, foram empregados concreto projetado e cambotas metálicas. O projeto previu a escavação em seção plena sem arco invertido. O revestimento de segunda fase foi executado em concreto moldado,

tipo C30/37, com 30 cm de espessura, e laje de fundo de mesma espessura.

Em razão da baixa cobertura dos túneis (cerca de 2m abaixo da via) e da manutenção em operação da Linha Amarela, foram necessários cuidados adicionais durante as escavações, visando garantir a segurança dos operários e manter a estabilidade requerida do teto, da frente e do maciço.



Instrumentação e monitoramento

Face ao caráter geotécnico da obra e às escavações muito próximas de edifícios e instalações, a instrumentação recebeu atenção especial. A preocupação com alguns edifícios vizinhos de construção muito antiga, tipo “gaioleira”, muito comuns em Lisboa, resultou em uma campanha de inspeções prévias que permitiu definir o grau de monitoramento a implementar.

O primeiro evento que mobilizou um trabalho especial de monitoramento, não só dos edifícios, mas também da via permanente da Linha Amarela, foi a passagem do shield sob a Estação, em 2005.

Com o avanço das escavações a céu aberto, foram

implementadas leituras de convergência das valas, além de pinos de recalque nas estacas, marcos de superfície e inclinômetros.

Com o início dos tratamentos para a escavação das galerias em NATM, a instrumentação automatizada, anteriormente utilizada quando da passagem do shield, voltou a ser empregada. Isto permitiu controlar quase que instantaneamente as deformações totais e diferenças nos trilhos nas fases mais críticas, de acordo com os critérios de alerta estabelecidos. As leituras da instrumentação ficaram a cargo da equipe especializada da FERCONSULT, seguindo a orientação do projeto da Figueiredo Ferraz e do acompanhamento técnico à obra.



Monitoramento geral e instrumentação



Monitoramento de edifício Colégio Acadêmico



Detalhe do pino de recalque



Monitoramento topográfico do cimbramento da cobertura

Estruturas em concreto armado

As estruturas em concreto armado foram concebidas para atuarem como um sistema monolítico de lajes e paredes, formando o amplo espaço do átrio e as galerias de acesso às vias permanentes das Linhas Amarela e Vermelha.

As lajes inferiores das galerias laterais servem de fundação direta para a estrutura e foram executadas com espessuras de 60 e 80 cm.

Para atender os requisitos arquitetónicos, a laje de piso do Átrio Norte, antes suspensa por vigas transversais de grande rigidez, precisou ser projetada para vencer um vão de aproximadamente 14 m, com apenas 35 cm de espessura, face à limitação imposta pelo gabarito da via.

Da mesma maneira, devido à pequena cobertura superficial, à limitação de pé-direito e a um vão livre de 14 metros, a laje de cobertura foi projetada em concreto armado com 1,00 m de espessura e elevada taxa de armadura, a fim de atender os requisitos de resistência, durabilidade e deformabilidade.

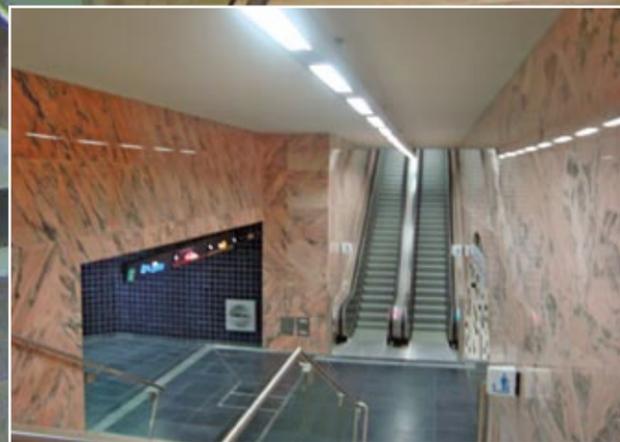
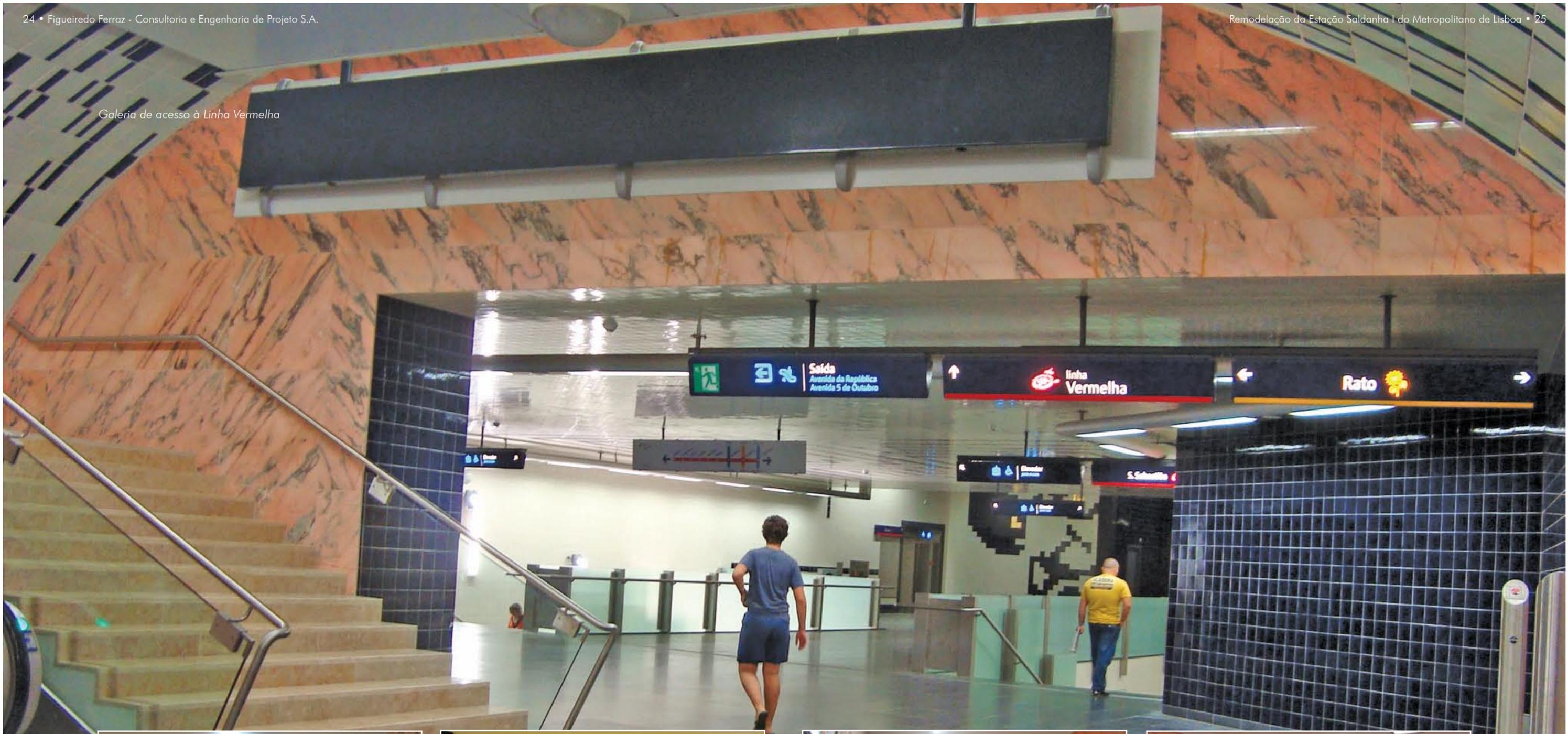
As paredes das galerias, executadas com espessura de 60 cm, têm a função de transferir as cargas verticais para a fundação e de resistir ao empuxo lateral do solo e aos acréscimos resultantes da ação sísmica, conforme prescrição do Eurocódigo 8.

Entretanto, durante a construção, partes destas estruturas foram projetadas para resistir esforços originados do faseamento da Obra. Por esse mesmo motivo, o detalhamento da armadura tornou-se complexo, a fim de contemplar as paralisações de concretagem e atender a execução de elementos especiais. O estudo de esperas e o uso de luvas de conexão exigiram grande atenção dos engenheiros. Em razão dessa complexidade, a análise estrutural contou com o emprego de modelos em elementos finitos bi e tridimensionais.



Túnel de conexão entre as galerias laterais

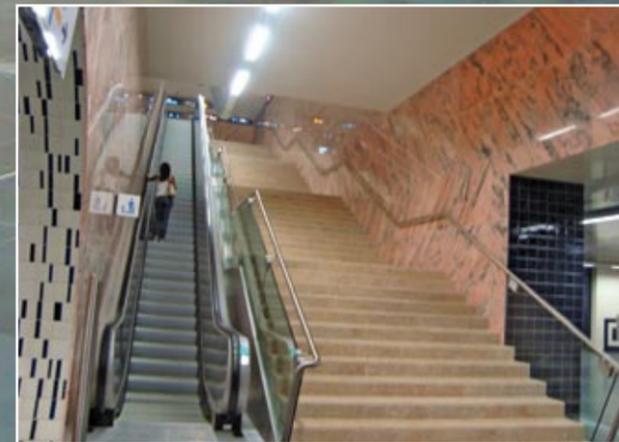
Galeria de acesso à Linha Vermelha



Escadas rolantes



Átrio Norte



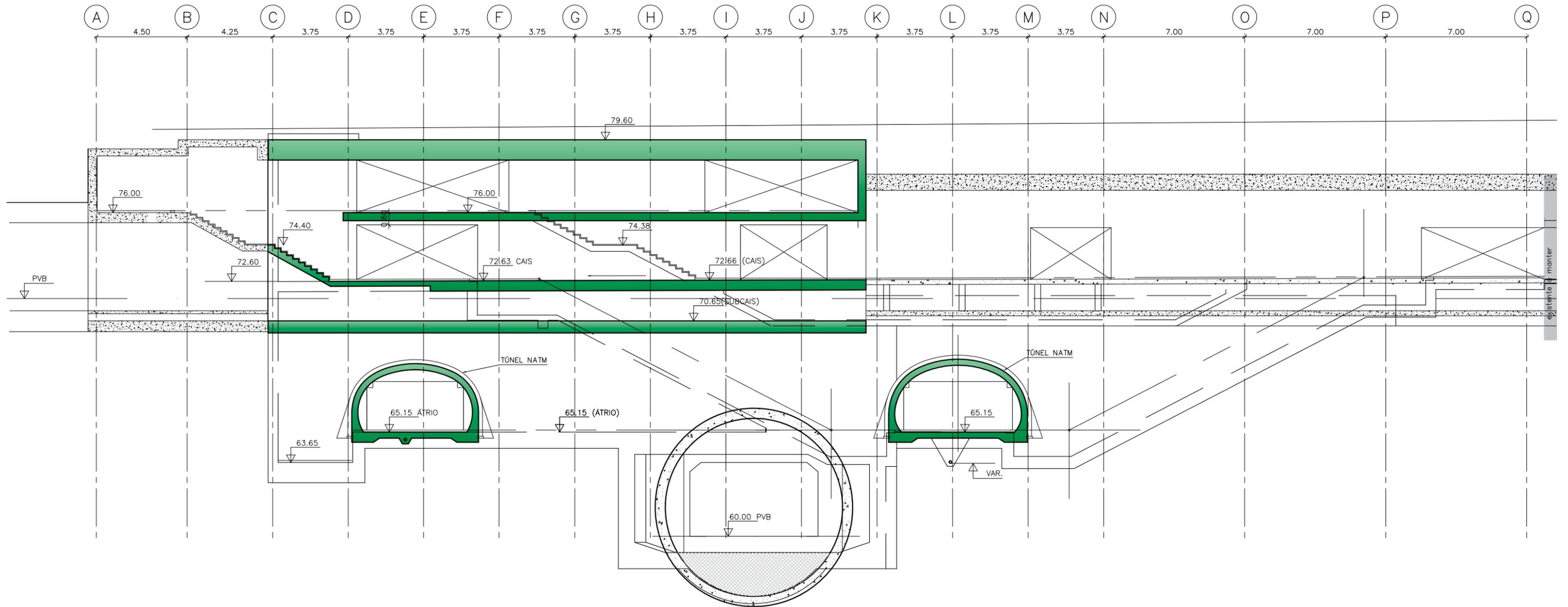
Escadarias



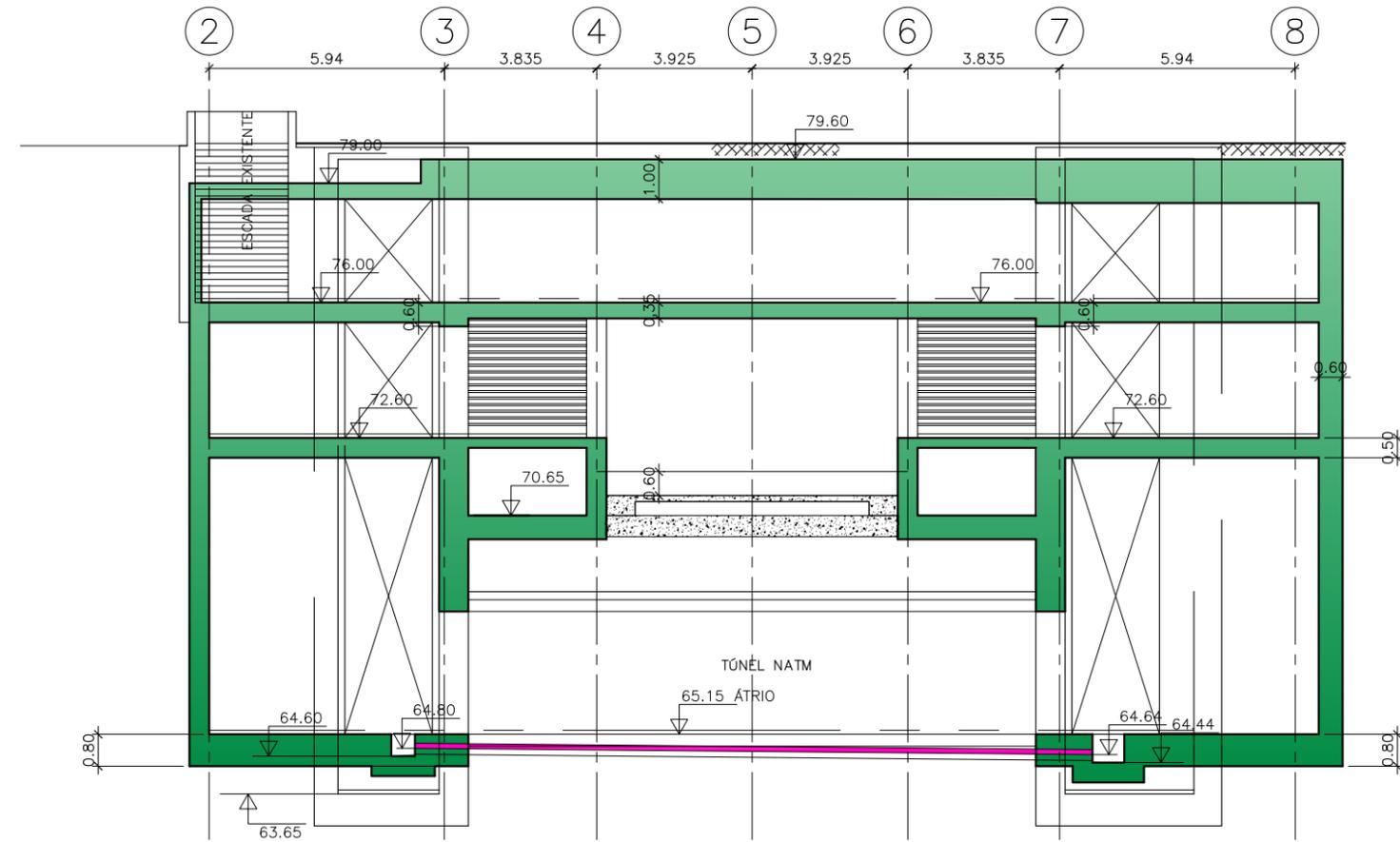
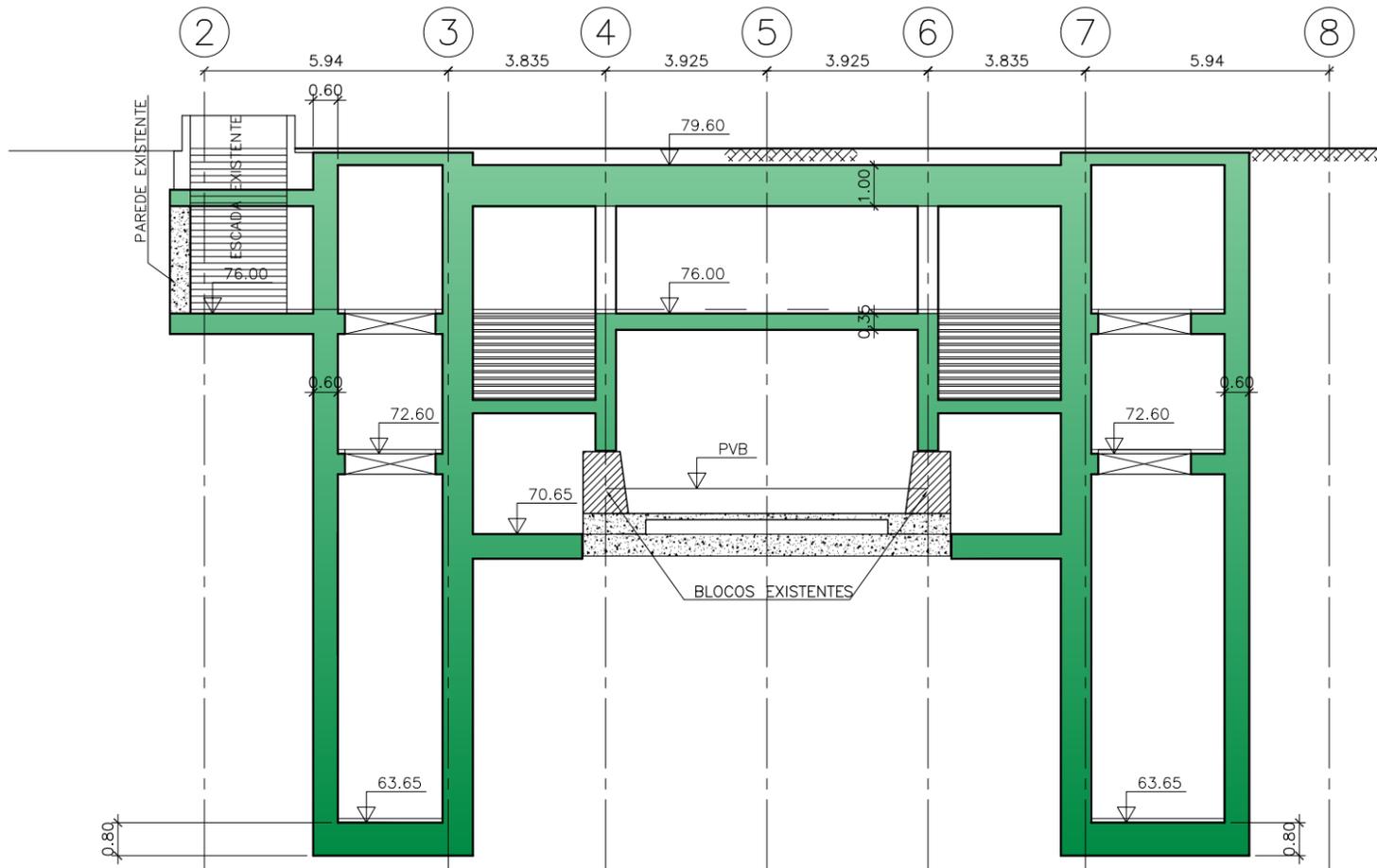
Acesso ao Átrio Norte

Desenhos técnicos

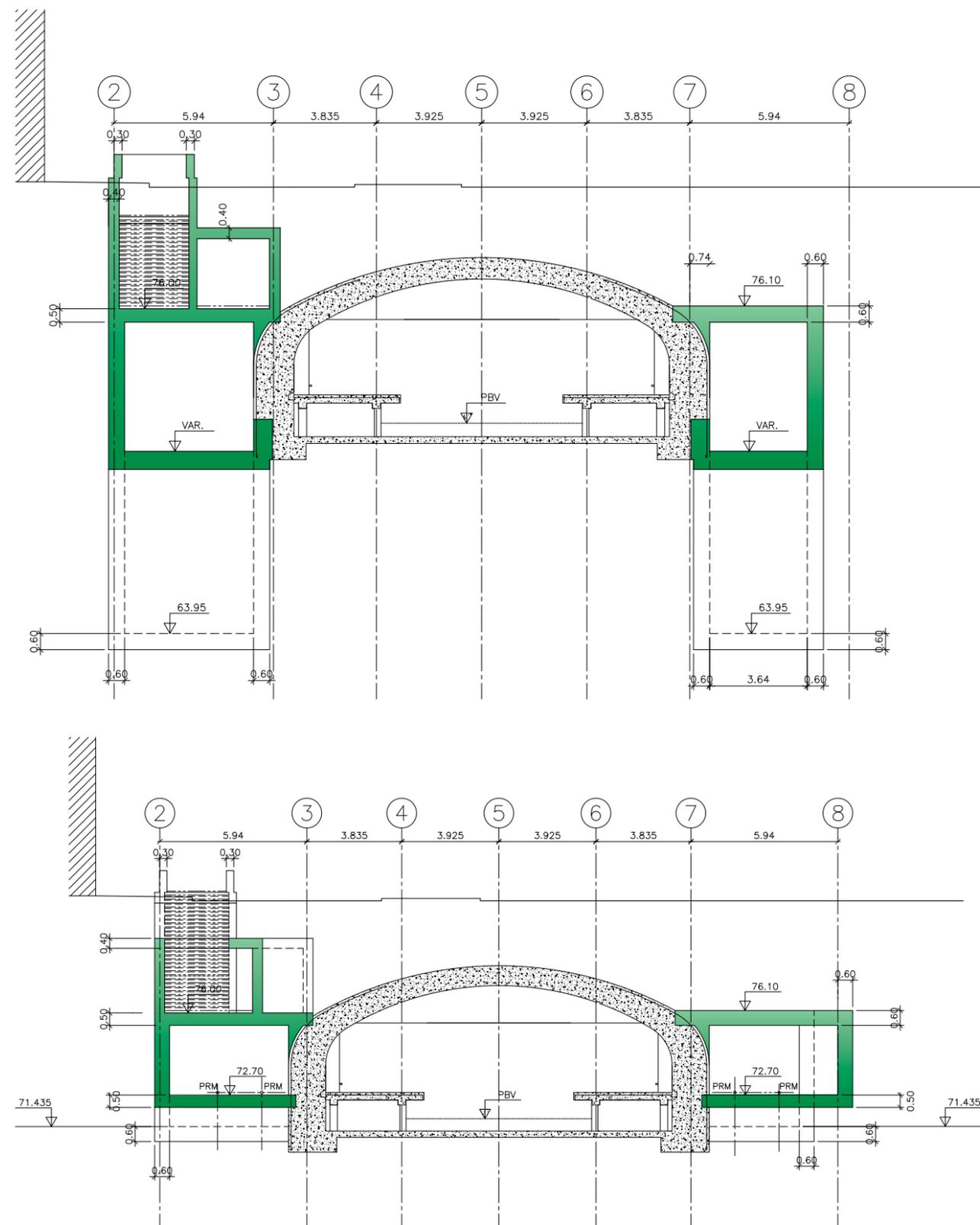
Corte longitudinal



Cortes transversais na região do Átrio Norte



Cortes transversais na região da abóbada



Equipe técnica do projeto

Direção Técnica



Eng. João Antonio del Nero



Eng. José Lourenço Braga de Almeida Castanho



Eng. Mosze Gitelman

Coordenação Geral



Eng. Márcio Coelho Rocha



Eng. Alice Satiko Nakamura

Estruturas de Concreto



Eng. Ivan José de Godoy Mazella



Eng. Alessandra Mayumi Odan



Eng. Alice Mendes Quintanilha Sierra

Estruturas Metálicas



Eng. Roberto Romani



Eng. Danton Soares Jr.



Eng. Guilherme Magossi Rodrigues



Eng. Renato Romani

Túneis



Eng. Carlos Augusto Campanhã



Eng. Sérgio de Gouveia Franco

Geotecnia e Fundações

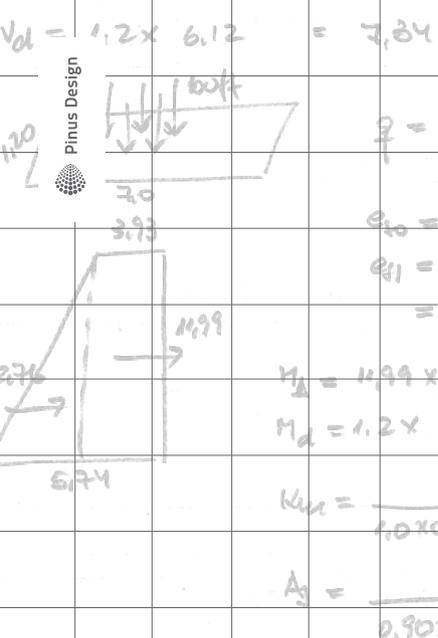


Eng. Mário Mori

Assistência Técnica à Obra



Eng. José Eduardo Simões Pereira



$V = 11,99 + 2,76 = 14,75$
 $V_d = 1,2 \times 14,75 = 17,7$

NOTA: $\phi 16 @ 15$

