

CONSTRUÇÃO DO METROPOLITANO DE LISBOÁ

Lisbon's underground construction

por

J. S. BRAZÃO FARINHA

RESUMO – Projecto de ampliação da rede actual (12 para 27 km). Tipos de solos atravessados na 1.^a fase das obras e tipos de galerias e estações construídas. Fases de construção correspondentes e custos de obras, referidos a 1 de Julho de 1973.

SYNOPSIS – Enlargement project of the present network (12 to 27 km). Crossed soils types on 1st phase of the works and galleries and constructed stations types. Correspondent construction phases and cost of works, referring to the 1st of July, 1973.

1 – ESQUEMA DA REDE

Vamos apresentar um rápido resumo das obras realizadas até esta data, daquelas que estão em curso e do que se pretende iniciar para próximo alongamento das linhas em exploração.

A rede do metropolitano de Lisboa tem actualmente a extensão total de 12 km, e projecta-se neste momento a ampliação para cerca de 30 km. Actualmente estão em curso de adaptação quatro estações, com cais de 2 para 6 carruagens, seguindo nos próximos anos as restantes, que estão nas mesmas condições.

Na extensão em referência pretende-se começar por rectificar uma situação anterior que hoje em dia já não se adapta às exigências do serviço, representada pela existência de uma bifurcação da linha que, vinda de sul, se separa em duas, para norte do Marquês de Pombal. Com efeito qualquer das direcções Benfica ou Lumiar tem hoje um tráfego tão importante como o de Alvalade, o que impõe a transformação do Y num X.

* Eng.º Chefe da Divisão de Projectos e Obras Novas. Metropolitano de Lisboa.

Simultaneamente com a individualização das linhas n.ºs 1 e 1 Bis, prolongar-se-á a linha n.º 1 (Entre-Campos-Rotunda) até Alcântara e pretende-se igualmente separar no Rossio a actual linha n.º 1 em duas independentes, uma das quais a prolongar de Sete Rios a Benfica e de Restauradores a Santa Apolónia (linha n.º 2) e a outra a prolongar do Rossio a Cais do Sodré, ficando a constituir a linha n.º 3.

Além do referido a linha n.º 3 será prolongada desde Alvalade no sentido do Lumiar e a linha n.º 1 será prolongada de Entre-Campos no sentido de Olivais. Passarão portanto a existir três pontos de cruzamento das três linhas, respectivamente na Rotunda, na nova estação da Baixa que provisoriamente designamos por Garrett, e em Alvalade. As novas linhas permitirão também estabelecer correspondências com as linhas de caminho de ferro da C.P. em três pontos fundamentais, que corresponderão a términos, em Cais-do-Sodré, Santa Apolónia e Alcântara, e ainda possivelmente em outros pontos intermediários, Restauradores, Entre-Campos e Sete Rios.

A Fig. 1 representa o esquema de linhas em projecto.

2 – FORMA DA SECÇÃO

Na linha actual, com 12 km de extensão, a forma adoptada nas galerias foi condicionada pelas necessidades de circulação dos comboios e instalação do equipamento fixo. De entre as que respeitavam as folgas mínimas regulamentares, obstrução de material, etc., escolheram-se aquelas que conduziam à solução mais económica. Adoptou-se uma estrutura constituída por uma abóbada descarregando em pés-direitos verticais.

As galerias são, em regra, de via dupla, a que corresponde um vão livre de 7,35 m em alinhamento recto e de 8,00 m em curva. Nas bifurcações de linhas e nos alargamentos de galerias os vãos são maiores, até ao máximo de 22,50 m nos términos. Às galerias de via simples corresponde um vão da ordem dos 4,00 a 5,00 m.

As galerias de estação tem em regra 14,00 m de vão interior, para 2 vias com cais laterais, atingindo porém o valor de 20,50 m na estação Alvalade, que é de 3 vias.

Em relação à parte actualmente em exploração, a construção efectuou-se quase toda a céu aberto. Apenas na extensão de 900 m, entre o Marquês de Pombal e S. Sebastião se construiu um trecho em túnel, que atravessou basalto encimado por formações oligocénicas constituídas por conglomerados bem cimem-

PLANTA DA CIDADE DE LISBOA



ESCALA-1:20000

Fig. 1

tados. O traçado do túnel seguiu em perfil longitudinal paralelamente à inclinação do contacto eocénico-oligocénico.

Na zona da Baixa, na vizinhança da rua do Amparo e da rua João das Regras, e na passagem da rua Padre Manuel da Nóbrega para a rua S. João de Deus a galeria passou sob prédios, que obrigou ao recalçamento destes.

Finalmente na parte superior da rua S. João de Deus para a avenida de Roma veio a construir-se um trecho em túnel, que atravessou, na extensão de 300 m, argilas miocénicas.

Nos novos troços projectados também haverá limitada oportunidade para a construção em túnel. Contamos com 430 m no basalto e calcário e 1.520 m no miocénico (areolas e argilas). Surgirá pela 1.^a vez a possibilidade de construção em viaduto (1.320 m), e possivelmente também em trincheira.

3 – TERRENOS ATRAVESSADOS

Em relação aos trechos já construídos os solos atravessados são constituídos por:

- *Aluviões* em geral argilosas, mas quase sempre mais ou menos arenosas, estáveis e de fraca permeabilidade. Exceptua-se a zona entre os Restauradores e Intendente em que os níveis freáticos se localizam a cerca de 3,50 m de profundidade e os caudais são apreciáveis.
- *Aterros* quase sempre argilosos, de permeabilidade fraca, e dispendo-se em espessuras geralmente bastante inferiores às profundidades atingidas pelas obras. Uma única excepção foi localizada na praça do Marquês de Pombal, onde os aterros são de grande espessura, prolongando-se localmente até às cotas de fundação.
- *Formações miocénicas* marinhas, do Burdigaliano e do Helveciano Inferior, ocorrendo também margas, areias e calcários margosos. É um bom terreno para a construção, tendo-se todavia atravessado na rua da Palma desde o Socorro, e na avenida Almirante Reis até ao largo do Intendente, uma camada instável de solo arenoso fino, que se deslocava sob a acção de bombagem tradicional – praticada ao longo de todo o restante traçado – e, que, de início, acarretou sérias dificuldades à construção.

A utilização de um equipamento Wellpoint da Millars não resultou por excesso de potência das bombas. O problema só veio a ter solução através do recurso a bombas de caudal regulável.

A referida camada voltou a aparecer na extensão de cerca de 80 m a norte

do topo da estação Intendente, ultrapassando a rua do Regueirão dos Anjos, verificando-se então que se prolongava ao longo de todo o vale da antiga ribeira de Arroios.

Foi identificado como pertencente ao M²_{II}.

Calcários miocénicos ocorreram em intercalações na argila na avenida de Roma até Alvalade, e em camadas de grande espessura na estação Entre-Campos.

- *Formação de Benfca*, constituída por conglomerados ao longo do túnel da rua Sidónio Pais – e por grés na estação S. Sebastião. Em Sete Rios os solos são argilosos, de cor avermelhada.
- *Formações basálticas* lávicas na maior parte da extensão do túnel mas também sedimentar, de apreciável espessura, a poente da estação Parque, em extensão apreciável. O basalto lávico apresentava-se fissurado, com intercalações calcárias ou de amianto, sempre com fraca permeabilidade, e seco nas argilas.

As formações basálticas ocorreram também a partir da praça de Espanha, ao longo da rua Columbano.

As camadas de calcário cretácico afloraram localmente no seu contacto com o basalto na parte inicial do túnel, em correspondência com o início da praça Marquês de Pombal, junto ao parque Eduardo VII.

4 – MATERIAL UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO

Com referência ainda aos trechos já construídos, no caso da via dupla a abóbada é abatida de três centros nas zonas construídas a céu aberto, e de volta inteira nos troços em túnel. Nas galerias de via simples a abóbada é também de volta inteira, mesmo quando construída a céu aberto.

Nas galerias de plena via as secções são, em regra, de betão simples excepto em casos localizados de atravessamento de terrenos remexidos, ou de zonas muito superficiais, com falta de carga verticais estabilizadoras ou com falta de espessura de almofada de distribuição de cargas concentradas. Nas galerias de estação, devido ao facto das abóbadas serem muito abatidas, elas foram reforçadas com armaduras.

As galerias em túnel foram construídas de betão simples nas zonas de rocha, mas nas argilas da avenida S. João de Deus as galerias foram duplamente armadas para atender à existência de cargas excêntricas dos taludes da trincheira e da linha da C.P.

Atendendo aos preços de betão e do ferro verificou-se que às galerias de tecto plano corresponde um agravamento de custo de pelo menos 20%, tendo-se

recorrido a tais tipos de galerias apenas em casos especiais.

As soleiras são planas no caso de terrenos secos e compactos, e arqueadas no caso de galerias mergulhadas no nível freático. No primeiro caso as soleiras constituem um simples revestimento do terreno, no segundo a sua forma permite que resistam à sub-pressão e impeçam a entrada de caudais apreciáveis para dentro das galerias. No caso do terreno, ao nível das soleiras, ser remexido, ou não ter suficiente capacidade de suporte, as soleiras são sobre-espessadas, podendo ser reforçadas com armaduras apenas no caso de serem sobrejacentes a passagens inferiores.

5 – PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

No processo de construção em vala provisória a sequência das principais operações é em regra a seguinte, de acordo com a Fig. 2.

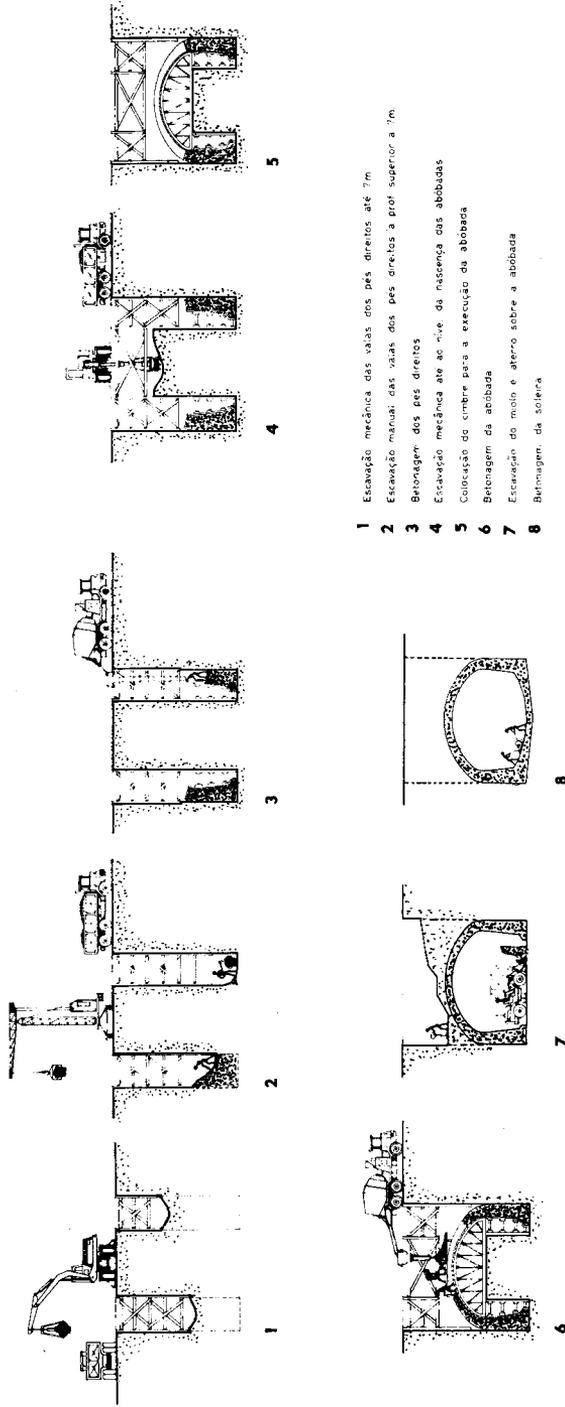
- a) Desmonte dos pavimentos e escavação mecânica das valas laterais e respectiva entivação, correspondentes aos pés-direitos.
- b) Aprofundamento manual da escavação de duas valas estreitas para além dos 7 m de profundidade.
- c) Betonagem dos pés-direitos das galerias, utilizando moldes fixos, montados no próprio local.
- d) Betonagem das abóbadas das galerias utilizando moldes fixos.
- e) Escavação do terreno, deixado dentro das galerias depois de betonadas, até ao nível das soleiras.
- f) Assentamento da drenagem e betonagem das soleiras das galerias.
- g) Aterro sobre a abóbada e reconstrução do pavimento.

Em geral os desmontes dos pavimentos e as primeiras escavações, até 1,00 m de profundidade para a descoberta das ocupações do sub-solo, são executadas manualmente. As restantes escavações, porém, são sempre que possível mecanizadas, por forma a garantirem uma maior economia e rapidez de execução da obra. Este esforço no sentido da mecanização tem vindo a ser crescente nos sucessivos trechos que se tem construído.

No processo de construção dos túneis, tanto no basalto como nas argilas compactas, todo o trabalho foi executado pelo sistema clássico, dentro da seguinte sequência das operações principais.

- a) Preparação das frentes de ataque da construção, através da abertura de poços, que permitam a entrada de pessoal, ferramentas e máquinas e a saída

FASES DA CONSTRUÇÃO DAS GALERIAS · ESCAVAÇÃO MECÂNICA



- 1 Escavação mecânica das vaías dos pés direitos até 7m
- 2 Escavação manual das vaías dos pés direitos a prof superior a 7m
- 3 Betonagem dos pés direitos
- 4 Escavação mecânica até ao nível da massa das aboboadas
- 5 Colocação do cimbra para a execução da aboboadas
- 6 Betonagem da aboboadas
- 7 Escavação do molin e ferro sobre a aboboadas
- 8 Betonagem da solera

Fig.2

dos produtos de escavação.

- b) Abertura da galeria de avanço superior, junto ao fecho da abóbada, a qual é convenientemente entivada.
- c) Assentamento das linhas para circulação de vagonas destinadas ao transporte dos produtos escavados, até os poços de extracção.
- d) Alargamento da galeria de avanço, através das escavações laterais suplementares, as quais são igualmente entivadas.
- e) Betonagem da abóbada por forma a garantir boas condições para o prosseguimento do trabalho.
- f) Escavação da parte central, inferior e restabelecimento, a um nível mais baixo das linhas de circulação das vagonas.
- g) Escavação, em troços alternados, das partes laterais que apoiavam a abóbada já construída, betonando os pés-direitos correspondentes.
- h) Assentamento da drenagem e betonagem das soleiras das galerias.

6 – CUSTO DAS OBRAS

De acordo com os elementos de custo que houve possibilidade de coligir podem apresentar-se os seguintes números índices relativos aos custos unitários da construção das galerias e das estações sem qualquer equipamento instalado, preços estes referidos a 1 de Julho de 1973.

a) Custos por quilómetro de galerias de via dupla,	
em túnel, em condições fáceis	150.000
em túnel, em condições médias	200.000
em túnel, em condições difíceis	300.000*
a céu aberto, em condições fáceis	60.000
a céu aberto, em condições normais	80.000
a céu aberto, em condições difíceis (junto a prédios ou com água).	130.000
à superfície do terreno	5.000
em viaduto	60.000**

* Ou mais; não temos experiência destes tipos de construção.

** Valores obtidos através da C.M.L. por análise dos custos dos viadutos ferroviário de Entre-Campos e rodoviário do Campo Grande.

b) Custo de uma estação com cais de 6 carruagens e 2 átrios:

em túnel, em condições normais	100.000
a céu aberto em condições fáceis	40.000
a céu aberto em condições difíceis	60.000
à superfície do terreno	8.000

Em relação às obras executadas apuramos a seguinte distribuição dos custos totais da construção a céu aberto: Mão de obra 33%, materiais e máquinas 67%.

	Mão-de-obra	Materiais e máquinas
Escavação	0,111	0,028
Transporte a vazadouro.	0,009	0,027
Aterro sobre a galeria	0,011	0,017
Entivação	0,032	0,127
Betão.	0,065	0,261
Moldes	0,025	0,048
Armaduras	0,017	0,081
Diversos	0,057	0,085
	<u>0,327</u>	<u>0,674</u>

Existem três actividades que representam por si só 95% dos custos da obra, sem acabamentos das estações e sem equipamento, mas incluindo drenagem e toscos das estações. Essas actividades são o movimento de terras, a entivação e o betão, incluindo as escavações e os transportes a vazadouro, as armaduras e os moldes.

Os acabamentos de uma estação (sem equipamento mecânico e eléctrico) orçam pelos 10% do custo dos toscos da estação.

7 – RECALÇAMENTO DE PRÉDIOS

Um outro aspecto a referir é o do recalçamento dos prédios, situação que ocorreu entre o Rossio e o Martim Moniz e entre a rua Padre Manuel da Nóbrega e avenida S. João de Deus.

No recalçamento dos prédios da Baixa, que se fundavam em velhas aluviões areno-argilosas, utilizaram-se estacas metálicas. A construção iniciou-se pela substituição dos massames das caves dos prédios por elementos constituídos por

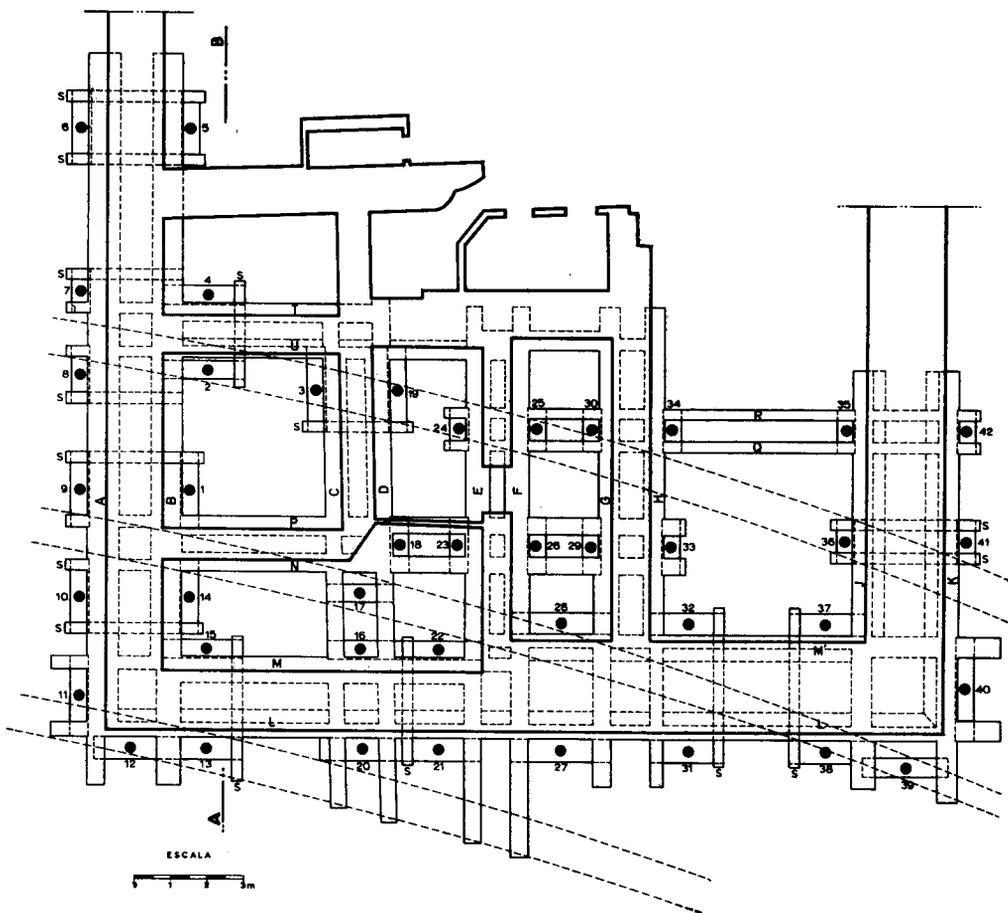


Fig. 3 – Disposição em planta das vigas e das estacas de recalçamento do edifício com frentes para a praça D. Pedro IV, rua do Amparo e praça da Figueira

lajes pré-esforçadas. Estas apoiaram-se em vigas de betão armado dispostas nas duas direcções longitudinal e transversal dos edificios, na correspondência das paredes, ao nível das caves. As Figs. 3 e 4 que se referem a um dos prédios recalçados, mostram a disposição de tais vigas, designadas pelas letras A a U.

As vigas em referência foram construídas na base das paredes e lateralmente a estas, em caixas previamente abertas nas alvenarias, e com ressalto de ligação. À medida que as galerias se afastavam, em planta, da prumada dos prédios,

estas vigas prolongavam-se por forma a apoiarem nas paredes das galerias (de tecto plano) e transmitirem a estas as cargas dos prédios.

Para a cravação das estacas por prensagem, dispunham-se, onde necessário, vigas metálicas suplementares (uma ou duas por estaca) em consola, que permitiam a criação de zonas de cravação laterais às paredes. São representadas pela letra S na planta*.

A cravação das estacas de recalçamento foi obtida através de apoio de uma prensa inferiormente na estaca e superiormente numa viga metálica de encabeçamento, apoiada nas vigas anteriormente referidas, Fig. 5. No apoio final das vigas de encabeçamento nas vigas auxiliares da cravação foram interpostos macacos Freyssinet de ajustamento, dimensionados para as cargas em jogo.

As estacas eram metálicas, conforme já referido, e constituídas por dois perfis U soldados formando uma secção tubular (ou então simples I) em troços de 2 m de comprimento, ligando entre si. O primeiro troço de estaca que se cravava era munido de uma ponta metálica de forma piramidal quadrangular de secção mais larga que o fuste das estacas. Tal ponta abria no terreno uma cavidade vertical que impedia o contacto entre o fuste e o terreno, cavidade esta que se enchia de argamassa de cimento fluido, que se injectava na base de um tubo ligado à ponta das estacas. A esta argamassa era adicionada um retardador que permitia atrasar de 20 horas a presa, possibilitando assim a cravação de estacas até 20 m de comprimento, na proporção do avanço 1 m/hora.

8 – AMPLIAÇÃO DAS ESTACAS

Para finalizar, referimos as obras actualmente em curso para adaptação de quatro estações (S. Sebastião, Saldanha, Restauradores e Intendente) de cais de duas para seis carruagens. Estas obras são executadas após a demolição dos trechos de galeria correspondentes ao alongamento.

Tais obras iniciaram-se pela montagem de pórticos metálicos em cujas abas se apoiou tabuado longitudinal, de modo a constituir um túnel provisório, para abrigo das carruagens em circulação. Trata-se de um árduo trabalho, até porque o perfil e o traçado das linhas em planta só previa a ampliação das estações até 4 carruagens. Todas as obras estão a ser executadas a céu aberto, como anteriormente, havendo apenas a exceptuar daqui a algum tempo a estação Parque, quando vier

* Instalação do metropolitano na Baixa, publicação da Sociedade.

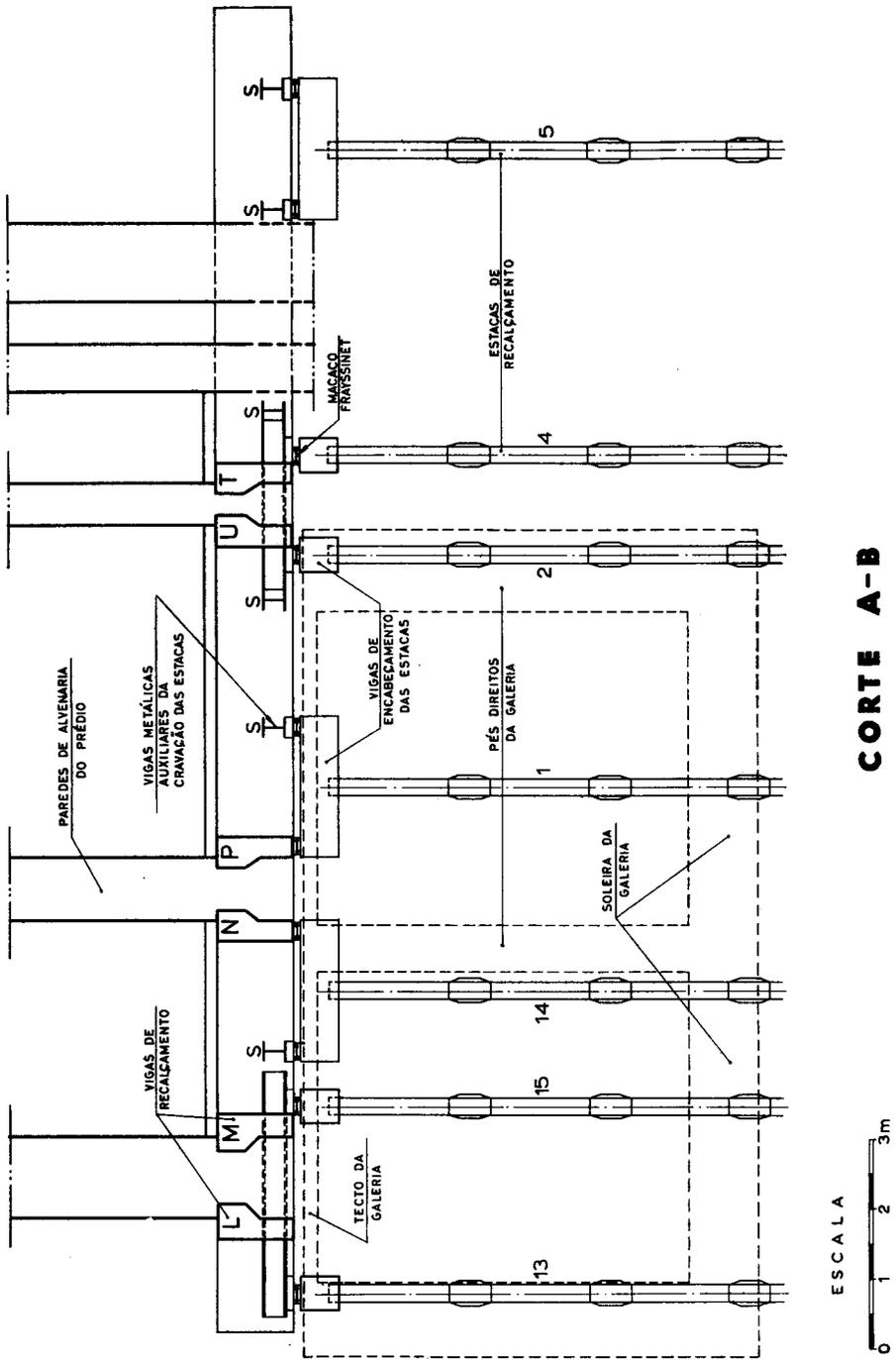


Fig. 4 - Corte A-B do sistema de recalçamento indicado em planta na Fig. 29

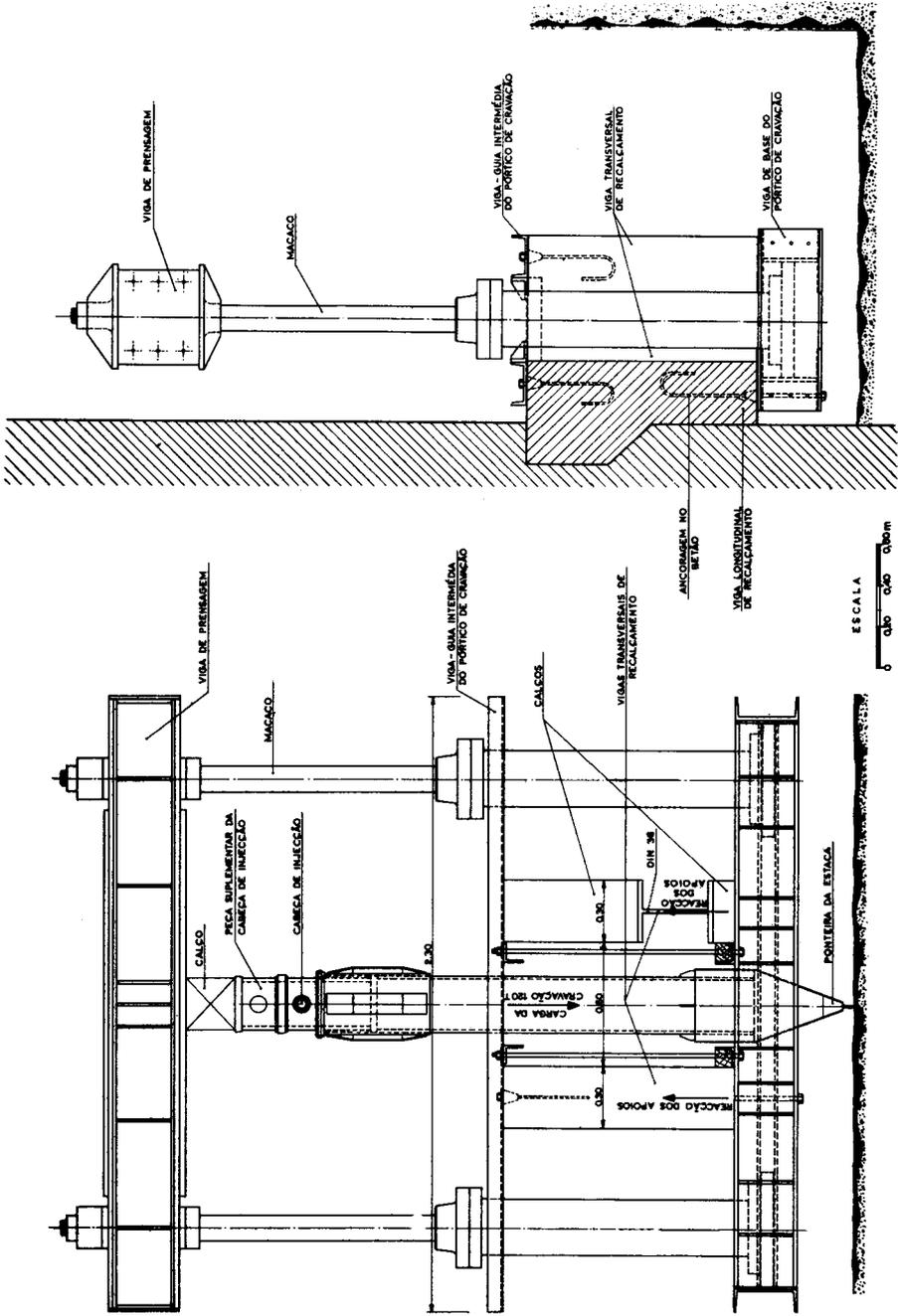


Fig. 5 - Instalação da prensa de cravação das estacas de recalço

a iniciar-se as respectivas obras.

Os sistemas de entivação são diversos, adaptados às condições locais, desde a entivação de tipo clássico, com elementos transversais metálicos (na largura dos 17 m da vala), até à entivação de tipo Berlim, com vigas metálicas verticais e madeiramento horizontal apoiado nas abas dessas vigas.

Na estação Intendente, dada a má qualidade do solo e a proximidade de prédios, optou-se pela execução de uma parede de betão armado em valas escavadas com bentonite, parede essa que ficará incorporada na obra definitiva.

No Saldanha e no Intendente as entivações são ancoradas ao solo, através de dois níveis de tirantes.