

40. Características dos veículos do metrô

40.1. Escolha da menor unidade de tração elétrica

40.1.1. Considerações gerais

Após as considerações do capítulo 13.1., foi escolhido para o Metrô de São Paulo como unidade padrão um trem de seis carros com tração em todos os eixos. Para a construção técnica do trem padrão a escolha da menor unidade elétrica é de extrema importância.

Teoricamente todas as combinações possíveis, que resultem em uma composição de 6 carros, entram em cogitação:

6 unidades de 1 carro
3 unidades de 2 carros
2 unidades de 3 carros
1 unidade de 6 carros

As alternativas:

6 unidades de 1 carro e
1 unidade de 6 carros
pelos motivos abaixo expostos não devem ser consideradas.

A unidade elétrica de um só carro não é interessante do ponto de vista do tráfego, pois que o mesmo em São Paulo é muito intenso. Mas a principal desvantagem com exceção da repartição do equipamento para a corrente de alta intensidade, vem a ser a duplicação de todo o equipamento de cada carro com todos os aparelhos de controle, o que acarreta aumento excessivo de peso e custo.

Mesmo com a necessidade da instalação de equipamento de comando de força, que eventualmente se tornaria necessária por motivos de demasiada carga de corrente, em cada uma das unidades de 2 ou 3 carros, as desvantagens da unidade de um só carro seriam ainda tão grandes que não seria aconselhável recomendar o seu uso.

A composição elétrica de 6 carros ainda seria aconselhável do ponto de vista do tráfego de São Paulo, pois a intensidade deste, mesmo nas horas de menor movimento, não necessitaria uma divisão do trem. Tecnicamente, porém, esta solução tem a desvantagem de que em caso de falha de um carro, toda a composição estará fora de serviço. Além disso, existe uma montagem bastante complexa das ligações. A instalação dos diversos aparelhos elétricos de comando, reguladores e resistências, assim como a sua distribuição de peso pela unidade, traria dificuldades não mínimas.

Para a execução prática, portanto, resta somente a escolha das seguintes variações da unidade de 2 ou 3 carros, a serem analisadas em seguida.

Nestas análises parte-se do princípio de que uma separação desta menor unidade só será possível nas oficinas.

Além disso o alojamento do equipamento elétrico deverá ser feito de tal maneira que seu peso ofereça uma carga igual sobre eixos, porém, com um mínimo de ligações. Independentemente disso, resta a possibilidade de uma repartição do equipamento da tração em cada um dos carros, sem que por isso venha a ser afetada a menor unidade, seja operacional, seja eletricamente.

40.1.2. O trem de 2 carros como a menor unidade de tração

A montagem mais simples, com necessidade mínima de instalações, é a do trem de 2 carros com a utilização de um motor por truque (p. ex. em forma de um motor para truque com eixo cardã ou com tração Duewag).

Neste caso existem entre os dois carros de equipamento elétrico auxiliar diferente, no mínimo 16 pontos de acoplamento para o circuito da tração, considerando que, para o equilíbrio de peso, o equipamento de resistências de frenagem, as resistências de marcha de valor ôhmico elevado, assim como o motor gerador, serão instalados em um carro, enquanto que no outro viriam o equipamento de comando e as resistências de baixo valor ôhmico.

Esta solução resulta na redução para umas poucas ligações do circuito de tração e um simples inversor de direção para 4 motores, que poderá ser equipado com 16 elementos de contadores. A outra vantagem que apresenta é a montagem de comandos simplificados para uma combinação de motores com cargas iguais em grupos paralelos. No arranque, que resulta da ligação em série de dois grupos de motores paralelos como mostra o exemplo, os motores dos truques são ligados em paralelo (Fig. 40.1./I).

O agrupamento para o freio elétrico-dinâmico, excitado em separado com os campos dos motores de tração ligados em série, poderá ser efetuado por um contator bipolar de excitação e dez chaves de camos ou contadores no circuito de frenagem.

Desta maneira há quatro campos de motores, ligados em série, e dois induzidos ligados em série que

trabalham sobre uma resistência de frenagem.

Na disposição de dois motores de tração por truque, isto é, um motor para cada eixo, existem duas variantes, ou seja, uma ligação em série permanente destes motores de meia tensão no truque ou a instalação de dois motores de plena tensão permanentemente paralelos. Para um agrupamento dos motores para frenagem dinâmica por meio de resistência de excitação externa, ambos os casos necessitam uma ligação em série dos campos no circuito de excitação.

No esquema de ligações (Fig. 40.1/II) e na distribuição das diversas conexões necessárias, resulta que, entre a solução com dois motores de meia tensão ligados em série e aquela com um motor por truque não há diferença.

A solução com motores a plena tensão (Fig. 4.1/III) mostra em particular, a necessidade de aparelhos de comando suplementares para o agrupamento para o circuito da frenagem dinâmica. Para a limitação das correntes de excitação necessita-se de uma ligação em série dos campos, isto é uma elevação dos custos para quatro contadores ou chaves de camos no circuito da frenagem dinâmica e quatro aparelhos no circuito de excitação para cada grupo de quatro motores, ou seja, por veículo. Se a instalação de comando for central por meio de dispositivos de comando por camos, serão necessárias mais quatro linhas condutoras (corrente do motor) com quatro pontos de acoplamento.

40.1.3. O trem com três carros como a menor unidade

Para se obter as mesmas cargas axiais, na escolha da formação de um trem com três carros como a menor unidade elétrica, haverá a seguinte distribuição de equipamento elétrico:

Carro A: Motor gerador, bateria, compressor
Carro B: Equipamento de comando + uma resistência de marcha + uma resistência de frenagem.
Carro C: Uma resistência de marcha + outra de frenagem, demais instalações de controle auxiliares e chave principal para corrente contínua.

Para o trem de três carros a combinação para o uso nas horas de pouco movimento seria o grupo A+B+C como meia composição, para o trem de 2 carros e grupo (A+B) + (A+B) como dois terços de

composição. Nas falhas da parte elétrica que não podem ser eliminadas, a composição de 3 carros tem a desvantagem de precisar ser empurrada pela unidade que a segue. No uso da combinação de dois carros como dois terços de composição, em caso de falhas sempre existe a possibilidade da continuação da viagem desligando-se a força de tração de um terço do trem.

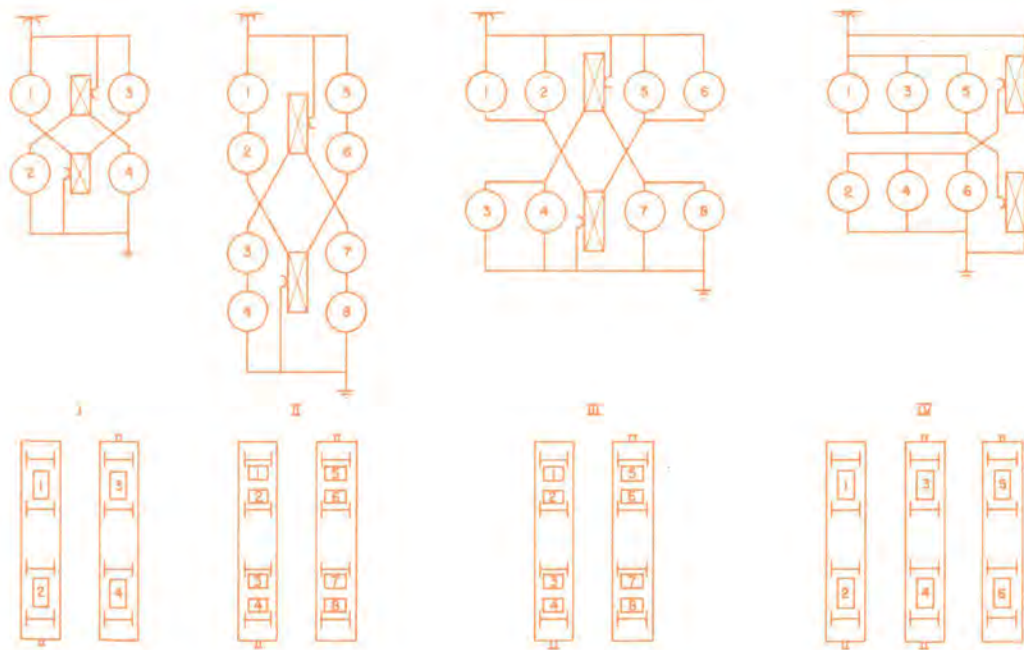
A composição de 3 carros com um motor no truque (Fig. 40.1/IV) economiza um equipamento de comando em comparação com a de 2 carros como unidade elétrica menor. Em vez de dois motores de tração temos agora em uso três motores ligados constantemente em paralelo.

Na frenagem os seis campos são ligados em série, o que é necessário para a limitação das correntes de excitação. Cada três induzidos trabalham com uma resistência de frenagem, onde a ligação de potenciais iguais não pode ser usada para proteção de efeitos de bloqueios. A necessidade de conexões elétricas entre os carros de engates permanentes aumenta de acordo com o número de ligações que se fazem necessárias entre os carros com resistência de marcha e frenagem, e os carros com dispositivo de comando. Num dispositivo de comando com 28 pontos temos no mínimo 14 ligações. Estas ligações e os respectivos contatos terão que ser projetadas para a tripla corrente motriz em vez da dupla. As tensões de frenagem aumentam igualmente de 50%, pois agora são três induzidos ligados em série. A isolação destes motores terá que ser adaptada a estas tensões mais elevadas. A economia em dispositivos de comando no trem de três carros em relação ao de dois carros, contrapõe-se um aumento de grandeza dos elementos de contadores de 150% em lugar de 100%.

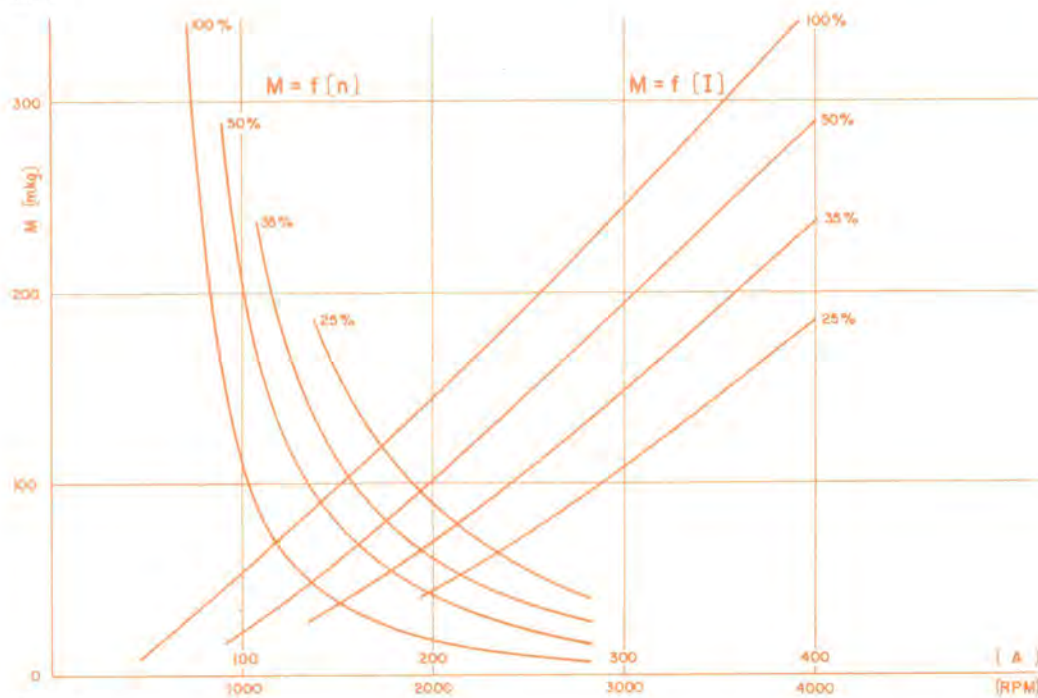
Além disso a maior quantidade de conexões de acoplamento também terá que ser levada em consideração.

O trem de três carros equipado com dois motores no truque, não apresenta diferença na disposição de comandos e condutores em relação à solução por motor único, contanto que os dois motores em um truque sejam considerados como grupo motriz. O esquema de frenagem resulta em uma instalação bem mais complicada, onde se inclui uma excitação em série de 12 campos.

Para este agrupamento em série, mais 6 contadores serão necessários no circuito de excitação e outros 6 no circuito de frenagem.



40.1



40.2

Corrente I (A)	Fôrça de tração Z (t)	Velocidade V (km/h)	Excitação do campo %
270	19,5	25,80	100
270	15,6	34,00	50
270	11,7	44,70	35
270	8,0	63,00	25

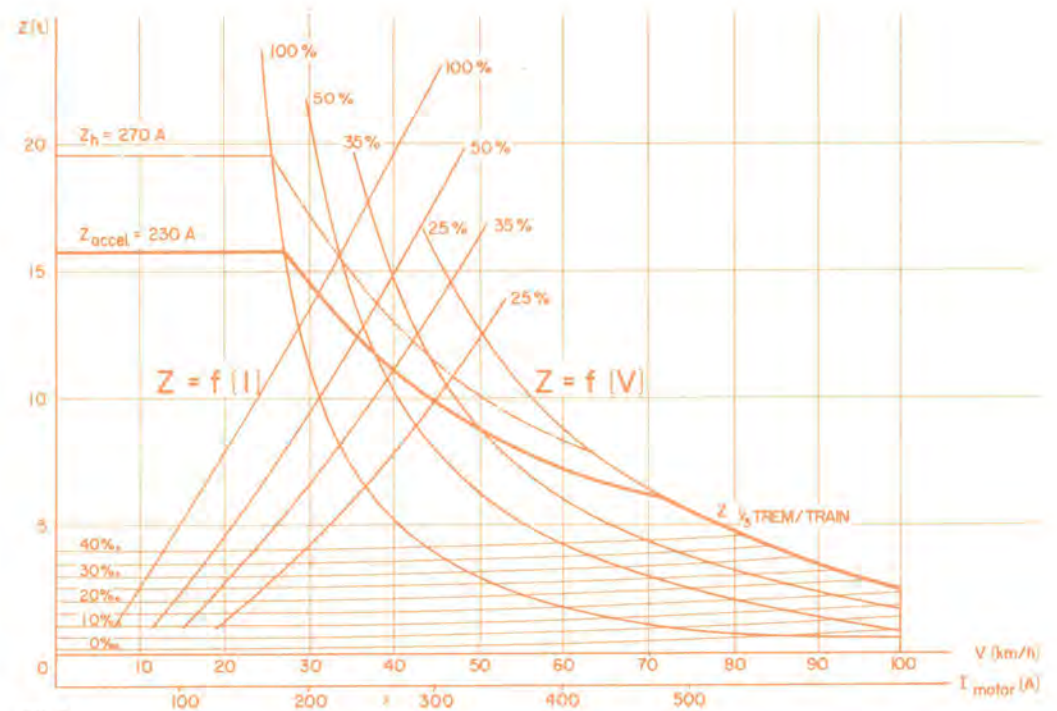
40.3

V (km/h)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
10	267	777	1287	1797	2307	2817	3327	3837	4347
20	288	798	1308	1818	2328	2838	3348	3858	4368
30	323	823	1343	1853	2363	2873	3383	3893	4403
40	372	882	1392	1902	2412	2922	3432	3942	4452
50	435	945	1455	1965	2475	2975	3495	4005	4515
60	512	1022	1532	2042	2552	3062	3572	4082	4592
70	603	1113	1623	2133	2643	3153	3663	4173	4683
80	709	1219	1729	2239	2749	3259	3769	4279	4789
90	826	1336	1846	2356	2866	3376	3886	4396	4906
100	960	1470	1980	2490	3000	3510	4020	4530	5040

40.5

Corrente I (A)	Porcentagem de excitação %	Conjugado M (mkg)	Fôrça de tração $Z_{1/3T}$ (t)	Velocidade V(km/h)
230	100	173	15,80	27,4
230	50	128	11,86	37,7
230	35	94	8,70	50,5
230	25	64	5,95	72,9

40.6



40.7

40.1.4. Sugestão para a menor unidade

Resumindo pode-se constatar: A montagem da unidade elétrica para o trem de três carros, traz, em relação ao de dois carros, numa combinação de seis carros, a vantagem de economizar normalmente um dispositivo de comando.

Como desvantagem, apresenta a necessidade da instalação mais complexa e a quantidade de acoplamentos de força bastante elevada. Toda a instalação e aparelhos terão que ter maior capacidade, devido a potência 50% mais elevada da unidade de três carros.

Em relação à operação e à técnica de manutenção, do ponto de vista de perturbações e sua prevenção, a unidade de dois carros é mais vantajosa que a de três carros.

Por todos estes motivos, foram rejeitados todos os projetos da solução para as unidades de três carros como menor unidade elétrica em metrô, nos casos onde, para melhor aproveitamento das relações de atrito, todos os eixos dos veículos são acionados.

Em vista, principalmente das elevadas capacidades exigidas pelo Metrô de São Paulo, foi escolhida, portanto, como a menor unidade elétrica o trem com dois carros.

40.2. Cálculo da potência dos motores para os carros

40.2.1. Considerações gerais

As características dinâmicas de um veículo dependem do seu desenho e do serviço para o qual for programado.

Os fatores decisivos correspondentes já foram descritos anteriormente (vide cap. 13.1.4. e 13.1.5.).

40.2.2. Determinação da potência

O cálculo da potência do motor elétrico necessária para a determinação de outros elementos do projeto se refere sempre à uma unidade elétrica (2 carros):

1. Unidade elétrica (2 carros) 1/3 de trem

Fig. 40.1 Vários esquemas de tração para o Metrô; ligação em paralelo

Fig. 40.2 Diagrama do motor

$U_N = 750 \text{ V}$
 $I_N = 270 \text{ A}$
 $P_{N(dd)} = 147 \text{ kW}$
 $P_{N(h)} = 180 \text{ kW}$
 $n_N = 940 \text{ rpm}$
 $M_N = 187 \text{ mkg}$
 $\text{Campo} = 70\%$
 $R_{\text{motor}} 20^\circ\text{C} = 0,179 \Omega$
 $R_{\text{campo}} 20^\circ\text{C} = 0,053 \Omega$
 $\phi \text{ Roda} = 900 \text{ mm}$
 $\text{Rel. Transm} = 1:5,38$
 $Z = 11,58 \cdot M$
 $V = 0,0315 \cdot n$
 $\text{Rel.} = 5,38 : 1$

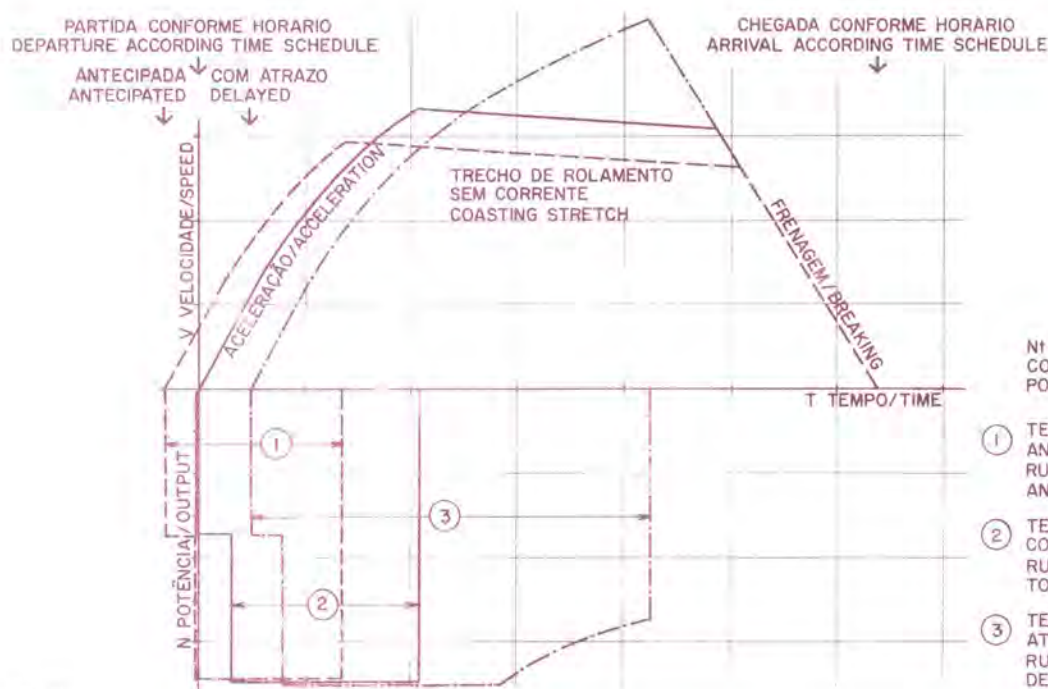
Fig. 40.3 Fôrça de tração e velocidade no regime unihorário

Fig. 40.4 Resistência ao movimento em função da velocidade

Fig. 40.5 Resistência ao movimento (WTs) em função da velocidade (km/h) e gradientes (‰)

Fig. 40.6 Valor da curva característica da capacidade de tração a 230 A para aceleração com uma amenização de campo até 25%

Fig. 40.7 Diagrama de força da tração



40.8

2. Pêso da unidade elétrica lotada na base de 8 pessoas p/m²
G = 102 t

3. Velocidade máxima
V_{max} = 100 km/h

4. Velocidade comercial média
V_R = 34,1 km/h

5. Aceleração máx. de partida até 0,3 V_{max}
b_{max} = 1,35 m/s²

6. Tempo para atingir 80 km/h
t₈₀ ≤ 30 s

7. Aceleração média até 80 km/h
b_R = 0,74 m/s²

8. Deceleração média devido a frenagem a 100 km/h
b_{bm} = 1,2 m/s²

9. Distância média entre estações, relacionada à rede total do Metrô
L = 890 m

10. Tempo de parada nas estações
t_H = 30 s

Nos projetos a potência contínua de motores destinados à acionar automotriz é dada pela seguinte fórmula (Anais de Glaser, maio 1961):

$$N_{(dd)} = G \cdot \frac{V_{max}}{27} \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{V_{max} \cdot V_R}{L}\right)^3 \cdot b_R} \text{ kW}$$

Os valores que influenciam a potência de um motor de tração, como por exemplo a resistência ao movimento, o grau de atenuação do campo, a construção autoventilada e o coeficiente de rotações relativo à potência contínua, foram levados em consideração através do fator 27. A potência de um motor elétrico é limitada pelo seu aquecimento, sendo que a sua capacidade de tração contínua é determinada pela temperatura máxima admissível no estado de inércia.

Durante um uso intermitente, o motor pode ser sobrecarregado além de sua potência contínua. Esta sobrecarga, poderá ser tanto maior quanto menor o tempo efetivo destas sobrecargas em relação ao tempo de resfriamento. Nos veículos empregados no transporte coletivo urbano, aproveita-se desta faculdade de suportar certas sobrecargas para a instalação de motores de dimensões mais reduzidas.

A velocidade com a qual o motor desenvolve a sua potência de tração contínua, depende da relação de sobrecarga resultante da corrente de partida sobre a corrente constante. Tendo em vista, que por outro lado, a corrente de partida somente tem efeito dentro da excitação completa, é indicada também a capacidade de tração contínua dentro da velocidade onde o campo total ainda exerce a sua influência.

Nos motores de tração com reostato, esta velocidade gira em torno de 0,35 V_{max}.

Da exigência de ser atingida depois de 30 s a velocidade de V = 80 km/h ou 22,2 m/s, considerando uma distância média entre paradas de L = 890 m, uma aceleração média de b_R = 0,74 m/s² e uma deceleração de b_{bm} = 1,2 m/s², se deduz, que, para percorrer o trecho de L = 890 m, necessitar-se-á de:

$$t_F = \frac{V}{2} \left(\frac{1}{b_R} + \frac{1}{b_v} \right) + \frac{L}{V} = \frac{22,2}{2} \cdot \left(\frac{1}{0,74} + \frac{1}{1,2} \right) + \frac{890}{22,2} = 64,3 \text{ s} \approx 64 \text{ s}$$

O tempo completo (T) se constitui do tempo de percurso e do tempo de parada. Já que sabemos, que o tempo de parada é de 30 s, nós teremos um tempo completo de

$$T = t_F + t_H = 94 \text{ s}$$

e como acima mencionado, uma velocidade comercial de:

$$V_R = \frac{L}{T} = \frac{890}{94} = 9,47 \text{ m/s} = 34,1 \text{ km/h}$$

Com base na fórmula de potência inicialmente citada e considerando os fatores aqui descritos, calcula-se para os trens unidades do Metrô de São Paulo com relação à uma velocidade de 0,35 V_{max} = 35 km/h a seguinte potência contínua total para os motores:

$$N_{(dd)} = 102 \cdot \frac{100}{27} \cdot \sqrt[4]{\frac{100 \cdot 34,1^3}{890} \cdot 0,74} = 960 \text{ kW}$$

Para transportar rampas de 40‰ a potência é acrescida para o pêso da unidade de 102 t, de 4%:

$$N_{(dd)} = 960 (1 + 0,04) = 998 \text{ kW}$$

Como é de uso generalizado nos metrô, os motores de tração não servem apenas para pôr os trens em movimento, mas sim também como freios eletrodinâmicos. Neste caso trabalham como geradores, fornecendo sua energia às resistências ôhmicas ou devolvendo-a diretamente à rede de alimentação. A corrente gerada também sobrecarrega os motores de tração, o que significa que os mesmos terão que ser dimensionados para uma potência contínua maior compensando a frenagem.

A sobrecarga de corrente de frenagem a ser considerada resulta das exigências de frenagem em declive e da frenagem de deceleração e que afetam as condições térmicas do motor de tração na proporção do produto quadrado da corrente de frenagem multiplicada pelo tempo de frenagem.

Para motores de corrente contínua com auto-ventilação, cuja potência contínua fica na ordem de 0,35 V_{max} como no presente caso, pode-se contar para freio elétrico regulado por reostato no campo com uma sobrecarga de cerca de 10%.

$$N_{(dd)} = 998 \cdot 1,10 = 1097 \text{ kW/unidade elétrica.}$$

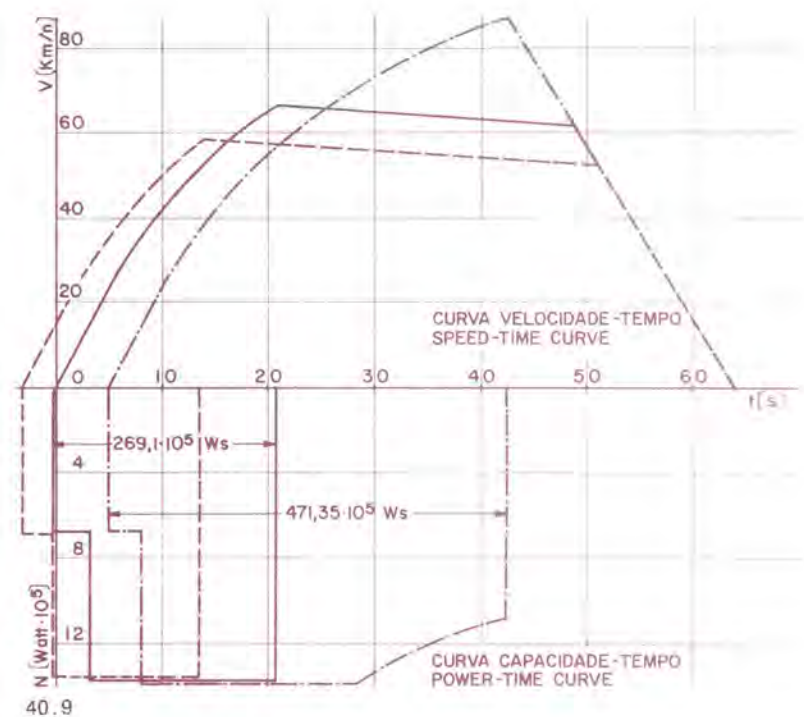
De acordo com o acima exposto é necessária para cada unidade elétrica, com 8 eixos, uma potência de tração contínua de 1097 kW. Como já foi dito, terão que ser providos de transmissão, todos os eixos para que se possa obter a aceleração desejada na partida, razão pela qual é calculada a potência de tração contínua de cada eixo em funcionamento intermitente e na base de 0,35 V_{max} da seguinte forma:

1097 kW: 8 motores = 137,0 kW/eixo
A fim de se obter valores já com aprovação na prática e perfeitamente aplicáveis no sistema do Metrô de São Paulo, os cálculos subsequentes se baseiam nas curvas características de um motor de construção e capacidade semelhantes e já bastante experimentado na tração de trens de metrô.

40.2.3. Diagrama de tração

40.2.3.1. Obtenção da curva característica da tração

A potência calculada de 137 kW por eixo permite o aproveitamento do



40.9

motor de tração idêntico ao motor único por truque utilizado no Metrô de Munique, cujas curvas características são demonstradas na figura 40.2.

No metrô projetado para São Paulo seria necessária a instalação de um motor de potência quase que igual ao motor GB 224/227 em cada eixo. A potência por eixo desenvolvida por este motor se mantém ligeiramente acima do valor exigido para São Paulo. As curvas características deste motor fazem referência a um diâmetro de roda de 900 mm, o mesmo planejado para o carro paulistano.

Das equações para a obtenção do esforço de tração Z por motor e da velocidade V resultam da corrente de 270 A por hora com auxílio da curva característica mostrada na figura 40.3 os seguintes valores por unidade (8 motores) utilizando-se do motor tipo GB 224/226:

$$Z = \frac{M \cdot i \cdot 2 \cdot \eta_{transm.}}{D} = \frac{M \cdot 5,38 \cdot 2 \cdot 0,97}{0,9} = M \cdot 11,58 \text{ kg}$$

$$V = 0,1885 \cdot \frac{D}{i} \cdot n = 0,1885 \cdot \frac{0,9}{5,38} \cdot n = 0,0315 \cdot n \text{ km/h}$$

Representam aí:

Z = esforço de tração em kg
M = conjugado do motor em mkg
i = relação da transmissão

η_{transm.} = rendimento da transmissão
D = diâmetro da roda em metros
V = velocidade em km/h
n = velocidade do motor em rpm (Fig. 40.3)
relativas à capacidade de tração, foi feito um cálculo comparativo: Neste cálculo é obtida a capacidade

A fim de verificar, se o motor satisfaz as exigências de São Paulo, de tração de partida Z_a em kg:

$$Z_a = \frac{(1 + \xi) G \cdot 1000}{g} \cdot b_a + W_{TE}$$

Os símbolos significam aí:

ξ = acréscimo para massas em rotação 10%

Fig. 40.8
Diagrama de velocidade-tempo e capacidade-tempo

Fig. 40.9
Desempenho do carro para uma distância média de 890 m entre estações

G = peso em t, da unidade elétrica
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ aceleração da gravidade
 $b = 1,35 \text{ m/s}^2$ aceleração a partida
 W_{TE} = resistência ao movimento da unidade elétrica, no plano, em kg

A resistência ao movimento é calculada pela fórmula

$$W_{TE} = C_1 \cdot G + T \cdot C_2 \cdot F \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

Sendo:
 por eixo
 $C_1 = 2,5 \text{ kg/t}$ para o acionamento
 $G = 102 \text{ t}$
 $T = \text{Fator de túnel} = 1,5$
 $C_2 = \text{coeficiente da resistência do}$

$$ar = 0,45 \text{ kg} \frac{h^2}{\text{km}^2 \cdot \text{m}^2}$$

F = área seção transversal das carros = $10,4 \text{ m}^2$

$$W_{TE} = 2,5 \cdot 102 + 1,5 \cdot 0,45 \cdot 10,4 \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

(Fig. 40.4)

Considerando a resistência na rampa $W_s = s \cdot G$ em kg, sendo s o acento em % igual à kg/t, resultam as seguintes resistências ao movimento pela fórmula:

$$W_{TS} = W_{TE} + s \cdot G \text{ em kg}$$

As resistências ao movimento W_{TS} em kg de acordo com a velocidade V e a rampa s podem ser vistas na figura 40.5.

A capacidade de tração de partida para a unidade elétrica do Metrô de São Paulo terá que ser necessariamente

$$Z_a = \frac{1,10 \cdot 102 \cdot 1000}{9,81} \cdot 1,35$$

$$+ 529 = 15.959 \text{ kg}$$

Motor GB 224/226 desenvolve com sua corrente de 270 A por hora e uma excitação de 10%, uma força de tração na partida de 19,5 t. A força de tração de partida exigida para o sistema programado é de 15.959 kg, o que corresponde pelas curvas características a um conjugado de

$$M = \frac{Z}{11,58} = \frac{15.959}{8 \cdot 11,58}$$

$$= 173 \text{ mkg/eixo}$$

e de uma corrente de 230A por motor com 100% de excitação.

O cálculo comparativo demonstra que o motor do tipo GB 224/226, mesmo que seja um motor para propulsão em um só eixo, mantém ainda uma reserva de 7% em relação à situação dada em São Paulo. No cálculo das instalações estacionárias será aplicado o valor real de São Paulo. De acordo com a curva característica de capacidade de tração de um motor com reostato, o trem é movimentado na partida com corrente constante e tensão regulada. Dentro do limite da atenuação do campo se verifica a locomoção com capacidade constante. No último grau da atenuação do campo com 25% de excitação, o motor alcança com capacidade reduzida o maior número de rotações, isto é, a unidade elétrica atinge sua velocidade máxima.

Os pontos de referência da curva característica da capacidade de tração, com 230 A para a partida numa atenuação do campo de até 25%, são vistos na figura 40.6.

Com os valores calculados pode-se traçar a curva característica de capacidade de tração.

Pela representação das resistências ao movimento no plano e nas rampas dentro do diagrama "Z — V" pode-se determinar o excedente de aceleração que depende da velocidade e da rampa (Fig. 40.7).

40.2.3.2. Execução do diagrama de percurso

O diagrama de percurso mostra o desempenho da unidade elétrica ao longo do trecho percorrido.

O aspecto dos programas de percurso pode ser representado no diagrama de percurso, servindo como base para a composição do horário.

Depois de estabelecidos os programas de viagem, poderão ser marcados no diagrama os tipos de operação dos trens, sendo manual quando efetuada pelo condutor ou automático quando houver comando automático.

Como em todas as operações ferroviárias, o tráfego do metrô deverá ser econômico, com base na economia de energia. Segundo experiências obtidas na operação de outros metrô, o funcionamento econômico prevê as seguintes fases operacionais:

- Partida com corrente elétrica
- Acionamento livre sem corrente elétrica (inércia de movimento)
- Frenagem até a parada
- Tempo de parada na estação

O acionamento livre sem corrente elétrica é fator decisivo para um funcionamento econômico. A pouca resistência ao movimento, entre a roda e o trilho, torna possível o acionamento livre do trem sem corrente elétrica, com um mínimo de perda de velocidade. Assim sendo, o gasto de energia elétrica para um tempo estabelecido de percurso, entre duas estações, será menor quando:

- 1) O trem partir com a maior aceleração possível.
- 2) A corrente elétrica for desligada tão cedo quanto possível.
- 3) O trem circular o maior tempo possível, em acionamento livre.
- 4) A frenagem for feita na menor velocidade, com máxima deceleração.

Na operação de um metrô geralmente é obedecido o horário de chegada, variando o tempo de partida com a situação momentânea da operação, isto é:

- a) partida antecipada, havendo pouca demanda de tráfego;
- b) partida segundo o horário estabelecido
- c) partida atrasada, em virtude de circunstâncias operacionais ou de tráfego.

No diagrama seguinte acha-se representado o gasto de energia para essas 3 variações operacionais. Constatase que na partida antecipada haverá menor gasto de energia, sendo que nas partidas atrasadas, isto é, no percurso com maior velocidade, o gasto de energia será o mais elevado. Neste tipo de operação é aproveitada a velocidade máxima do carro, e a autorizada no trecho. O gasto de energia e os custos operacionais aumentam consideravelmente em confronto com os casos a) e b) (Fig. 40.8)

Como o gasto de energia e a capacidade do motor diminuem diretamente com acionamento livre, mais do que com a velocidade de percurso, foi constatado, através de testes e medições, que os valores mais econômicos e favoráveis para um metrô são fornecidos por uma reserva de tempo de aproximadamente 8%.

A reserva de tempo é definida da seguinte forma, em porcentagem:

$$\left(1 - \frac{\text{menor tempo de percurso}}{\text{tempo de percurso}} \right) \cdot 100$$

Essa reserva de tempo de 8% correspondente — segundo experiências feitas — a um acionamento livre ideal, cujo final é alcançado se a velocidade alcançar 70 a 75% da velocidade de frenagem num trecho com menor tempo de percurso. O diagrama de percurso apresentado e composto para o Metrô de São Paulo, considera esses valores comprovados (Fig. 40.9).

Nesse diagrama foi considerada a capacidade contínua do motor do Metrô de São Paulo calculada no capítulo 40.2.2., em 137 kW por eixo, bem como os valores operacionais descritos no mesmo capítulo para uma distância média em nível, entre estações de 890 m. Portanto, nessa distância poderá ser alcançada uma velocidade máxima de 88 km/h, sendo aplicado o horário de tráfego intenso. O respectivo tempo mínimo de percurso é de $t_k = 59 \text{ s}$. Com uma reserva de tempo correspondente a $t_z = 8\%$ do tempo mínimo de percurso = 5 s, o tempo de percurso será $t_r = 64 \text{ s}$.

A velocidade de frenagem será então de 62 km/h. Considerando-se a deceleração devido à resistência ao rolamento de $0,045 \text{ m/s}^2$, obtida pela curva de acionamento livre, a velocidade máxima em uma operação econômica, no percurso de 890 m de extensão, será de 67 km/h. Para a Linha Norte-Sul, com 10.900 m de extensão e 19 trechos entre estações, o aumento médio do tempo de viagem importa em

$$19 \cdot 5 \text{ s} = 95 \text{ s}$$

Nesse método operacional, o gasto de energia diminui de $471,35 \cdot 10^5$ para $269,1 \cdot 10^5 \text{ W}$. Na mesma proporção é reduzido também o gasto de energia na frenagem.

40.3. Parte mecânica dos carros

40.3.1. Dados gerais do carro

As dimensões fundamentais dos carros do Metrô de São Paulo, foram indicadas no capítulo 13.1.

Serviram de base para a averiguação, no capítulo 14.1., do perfil de limitação dinâmica dos carros e de seu gabarito. Estes últimos possibilitaram a elaboração do perfil estático de delimitação dos carros mostrados na figura 40.10. No mesmo capítulo foram ainda fixadas as características do assentamento das linhas, tais como inclinação máxima das vias, maior sobrelevação, menor raio de curva, etc. Com as determinações desses dois capítulos, passou-se a dispor dos dados gerais dos carros. O carro desenvolvido com base nesses dados aparece na figura 40.11. As características essenciais estão relacionadas a seguir:

Bitola — 1.600 mm
 Comprimento máximo da caixa do carro entre cabeceiras — 21.300 mm
 Comprimento do carro entre centros de engate — 21.750 mm
 Comprimento de um trem completo (3 unidades duplas = 6 carros) — 130.500 mm
 Largura máxima do carro — 3.210 mm
 Altura do carro a partir do boleto do trilho a face superior da chapa de cobertura — 3.550 mm
 Altura do piso em relação ao topo do boleto — 1.100 mm
 Altura interna do compartimento de passageiros — 2.300 mm
 Altura do engate em relação ao topo do boleto — 870 mm
 Número de portas de cada lado — 4
 Vão livre das portas — 1.300 mm
 Altura livre das portas — 1.950 mm
 Distância entre os centros de truques — 15.600 mm
 Distância entre os eixos do truque — 2.100 mm
 Diâmetro das rodas novas/usadas — 900/820 mm
 Jogo transversal total das molas de suspensão $\pm 15 \text{ mm}$
 Coeficiente máximo de inclinação do carro (segundo normas da UIC) — 0,25
 Tara de uma unidade elétrica $\leq 54 \text{ t}$
 Peso da unidade elétrica lotada $\leq 102 \text{ t}$
 Lugares sentados numa unidade elétrica: carro "A" — 64
 carro "B" — 70
 Lotação de um carro "A": com 6 pessoas/m² (lotado) — 285
 com 8 pessoas/m² (superlotado) — 359
 Lotação de um carro "B" com: 6 pessoas/m² — 293
 8 pessoas/m² — 367
 Menor raio de curva admitido — 150 m

40.3.2. Caixa do carro

40.3.2.1. Cargas específicas e segurança

Os coeficientes de carga dos carros ferroviários são dados pelo "UIC-Kodex Merkblatt 567 VE", ou então pelos "AAR-Standards". Foram estabelecidos com base nos grandes pesos dos trens das estradas de ferro e nas grandes solicitações daí resultantes. Em composições de metrô, levíssimas em comparação com os trens normais, as solicitações não assumem

tamanha importância. Não seria, portanto, lógico, adotar para as composições do metrô as mesmas cargas específicas dos trens, pois, isto levaria à fabricação de veículos super-dimensionados, e por conseguinte, demasiadamente pesados.

Por essa razão, grande número de metrô desenvolveram seus próprios índices de carga específica e de segurança para a construção de seus parques de veículos. No intuito, contudo, de se chegar a uma uniformização dos valores fundamentais, foram elaborados em 1963 pela "Studiengesellschaft Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge", de Frankfurt/Main, índices de carga específica e de segurança para veículos de metrô. Essas normas já encontraram aceitação nos círculos especializados internacionais e foram adotadas como base de trabalho pelos "ORE-Bueros." Esses índices de carga específica e de segurança devem, portanto, servir igualmente de base para a construção dos carros do Metrô de São Paulo. São as seguintes as prescrições fundamentais para essas cargas específicas:

O peso máximo operacional a ser considerado para a construção da caixa do carro, comporta: a tara do carro pronto para entrar em serviço, mais a carga útil formada pelo peso das pessoas a serem transportadas, incluindo o peso do maquinista. Com 8 pessoas em pé por m^2 e 65 kg por pessoa, as cargas úteis para os carros previstos são calculados em:

carro A, com cabine de comando, lotação 360 pessoas — 23,5 t
carro B, sem cabine de comando, lotação 367 pessoas — 24,0 t
o acréscimo para o choque vertical é, para as partes com suspensão 25% e para as partes sem suspensão 40% e, deve ser igualmente incluído no cálculo

— As forças direcionais atuando horizontalmente sobre os jogos de rodas e elementos direcionais anexos devem ser computadas nas cargas de eixo com um valor de — 30%

— As forças direcionais geradas na periferia das rodas pela oscilação transversal, devem ser computadas nas cargas de eixo com um valor de — 20%.

— Todas as peças afixadas à caixa do carro e aos truques, deveriam poder absorver as seguintes forças de deceleração provenientes de impactos:

em sentido longitudinal — 30,0 m/s^2
em sentido transversal — 2,0 m/s^2
em sentido vertical 3,0 m/s^2

O limite de choque contra o engate central deve ser fixado em — 80 t

O encosto do engate central deve dispor de um elemento de deformação o qual cederá, caso o limite de 80 t seja ultrapassado, reduzindo assim o efeito de choque. Deve-se ainda, prever um dispositivo que impeça o acavalamento dos carros em caso de acidentes.

As solicitações fornecidas pelos cálculos efetuados para materiais de fabricação a serem empregados, não admitem, exceto em casos de choques, que sejam ultrapassados os índices de segurança "i" seguintes:

ruptura — $i = 2,2$
escoamento ou limite convencional de escoamento — $i = 1,5$

fadiga — $i = 1,5$
flambagem e tombamento de banzos principais — $i = 1,8$
empenamento por flambagem de chapas — $i = 1,25$

Em casos de solicitações impostas por choques ou por ruptura de uma suspensão, os índices de segurança serão os seguintes:

ruptura — $i = 1,5$
escoamento — $i = 1,0$
flambagem — $i = 1,0$

40.3.2.2. Construção da caixa do carro

O tipo de construção da caixa do carro, bem como o material empregado, tem influência decisiva no peso total do carro. O fato de que, com carros fabricados em metal leve, os custos operacionais de um metrô sofrem uma redução substancial, tem provocado ultimamente a aparição de novos processos de fabricação. Três processos podem ser confrontados: com aço de alta resistência, com aço inoxidável, e com metal leve.

O método de construção com aço de alta resistência desenvolveu-se a partir do processo convencional. O emprego de aços de alta resistência possibilita a aplicação de chapas finas para o revestimento das paredes e de perfilados para a estrutura do carro. Assim, ao mesmo tempo que se consegue uma caixa com auto-sustentação, obtém-se ainda, uma substancial redução de seu peso.

Neste método a leveza da construção é limitada pelo índice de segurança no que diz respeito à deformação da caixa com lotação operacional, e que é de 0,1% da distância entre os pontos de apoio. Além disso, as chapas de metal devem ter uma espessura mínima determinada, devido aos riscos de corrosão. Por outro lado, a necessidade de uma camada de pintura torna o veículo mais pesado e aumenta os custos de conservação.

Essas restrições podem, em parte, ser remediadas pela utilização de aços inoxidáveis. Neste caso, e em contraposição com o método de construção leve normal com emprego de aço, pode ser dispensada a margem referente à corrosão na determinação da espessura das chapas metálicas. Evita-se igualmente a dispendiosa pintura protetora e os custos de manutenção daí decorrentes. A construção com aço inoxidável, vem por isso, sendo amplamente adotada nos últimos anos.

Por considerações econômicas, devido ao alto preço do aço inoxidável, tem-se desenvolvido sobretudo na Europa, um método de construção, no qual a estrutura do carro é montada com aço de alta resistência, sendo seu revestimento feito em aço inoxidável. Com este método pode-se obter um peso praticamente igual ao da construção somente com inoxidável, pois, mesmo na construção com aço inoxidável há necessidade de camadas de pintura destinadas ao isolamento acústico e térmico.

Os carros em aço de dois tipos saem mais baratos que os fabricados unicamente em aço inoxidável.

No empenho de manter o peso do carro de metrô o mais baixo possível, já há muito tempo tem-se esforçado empregar ligas de alumínio nesses

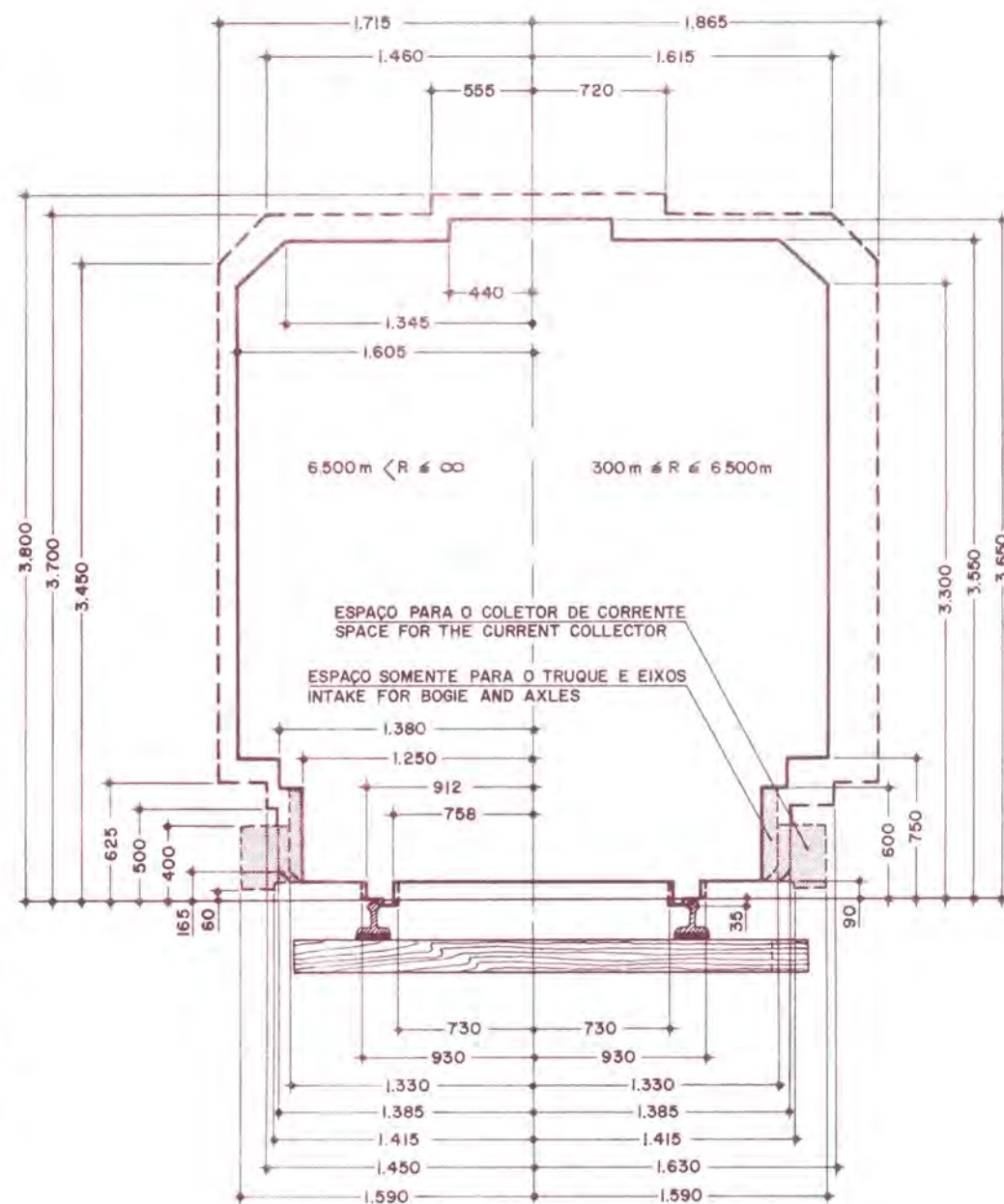


Fig. 40.10
Gabarito estático, dinâmico e folga limite do carro

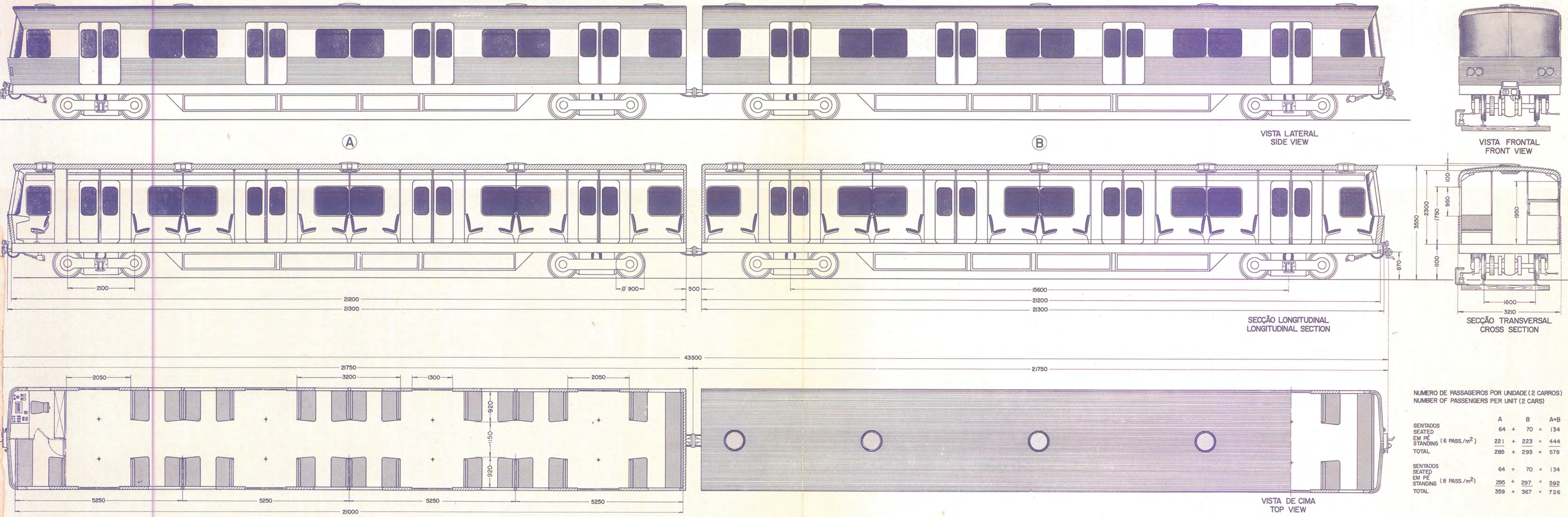
veículos, aproveitando-se assim do baixo peso específico dessas ligas. Contudo, até poucos anos atrás não se dispunha de uma liga de alumínio de alta resistência que pudesse ser soldada. Por isso, as montagens de alumínio deviam ser rebitadas, onde aos custos já em si altos da matéria prima vinham se juntar ainda os custos de mão de obra. Também do ponto de vista do peso, as montagens com rebites não proporcionavam índices ideais.

Com o desenvolvimento de ligas de alumínio de alta tenacidade suscetíveis de receber têmpera, tornou-se igualmente possível a execução de construções soldadas em alumínio. Utilizando-se também perfis extrudados é possível atualmente desenvolver a construção de veículos em alumínio, inteiramente soldados.

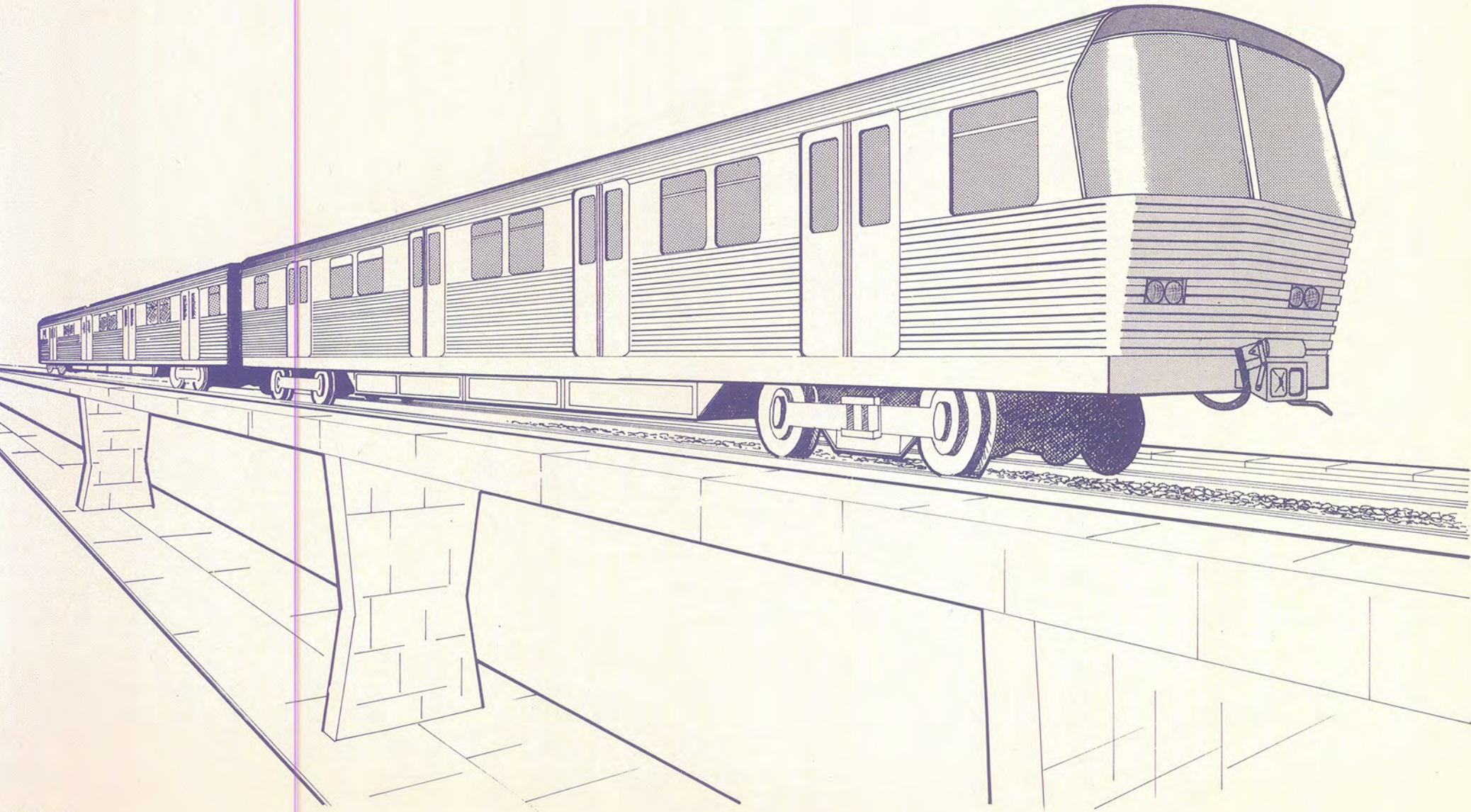
Os custos mais elevados da construção em alumínio, proveniente do alto preço do material são compensados pelos baixos custos de tração dos carros mais leves. Caso se esteja propenso a construir veículos desse tipo em grande quantidade, pode-se levar em consideração essas vantagens. No intuito de executar construções leves de alumínio com o menor custo possível, empregam-se as ligas de alumínio que podem ser temperadas em temperatura ambiente somente para os elementos de sustentação, isto é, unicamente para o estrado e a estrutura da caixa do carro, pois, o preço dessas ligas é muito alto. Para o revestimento externo aplicam-se ligas de alumínio cuja tenacidade é grandemente reduzida ao serem soldadas, mas isto no caso, pode ser admitido. Este método é empregado, sobretudo, na Europa.

Como as ligas usadas para o revestimento externo não são suficientemente resistentes à corrosão, recebem os carros uma pintura protetora suplementar. Caso se queira evitar essa pintura protetora, será necessário aplicar revestimento externo de ligas resistentes à corrosão. Como porém, esse revestimento não pode ser soldado, será necessário fixá-lo com rebites à estrutura do carro. Esta solução tem ainda a grande vantagem de possibilitar a troca simples e pouco dispendiosa das partes externas danificadas.

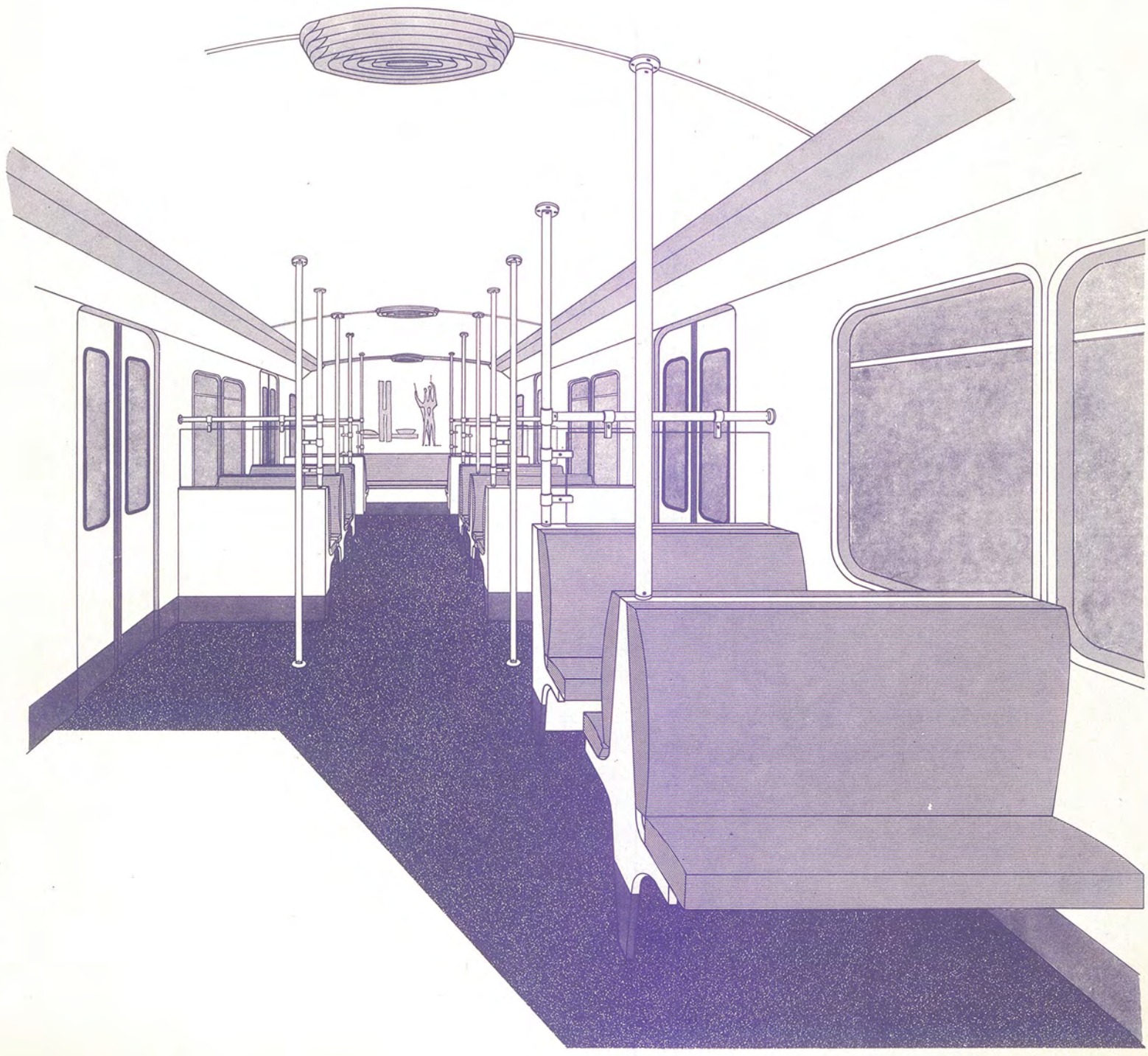
Há ainda a freqüente aplicação de um processo misto, onde as partes mais solicitadas são feitas de aço, enquanto as que o são menos, são de alumínio. Esse método não deve ser aconselhado, pois apresenta diversas falhas oriundas da associação aço-alumínio, além de não oferecer uma construção leve das mais satisfatórias. Por exemplo, ligas de aço e ligas de alumínio têm seus índices de tensões eletro-químicas tão separados uns dos outros que se é obrigado a contar com fenômenos de corrosão. Além do que aço e alumínio apresentam coeficientes de dilatação térmica tão diferentes um do outro que as variações térmicas provocam afrouxamento dos rebites. Nas junções aço-alumínio, camadas isolantes introduzidas entre as camadas superpostas das juntas entre aço e alumínio como proteção contra a corrosão, são danificadas pelos movimentos resultantes da diferença da dilatação térmica, tornando inevitável o aparecimento de corrosão com todas as suas desagradáveis conseqüências. Como é a construção inteiramente em alumínio que proporciona veículos de



40.11.I



40.11.II



40.11.III

menor peso, é este tipo de construção que é aconselhado para o Metrô de São Paulo. Outro tipo de construção só deveria ser considerado, caso permaneça dentro dos limites de peso prescritos, não exija nenhuma pintura externa, e não tenha preço mais elevado.

A execução propriamente dita da caixa dos carros deve seguir as regras gerais de construção mecânica e as determinações da norma UIC 842-9E. Estrado, paredes laterais e cabeceiras, bem como cobertura representam grupos constitutivos próprios, os quais, unidos entre si por soldagem elétrica, formam uma estrutura de suporte única. Dessa maneira a cobertura e as paredes laterais concorrem igualmente para absorver as solicitações das cargas. Revelou-se profícua a fixação às travessas de uma chapa corrugada em formato trapezoidal com as corrugações no sentido do comprimento do carro. Essa chapa corrugada concorre para a absorção das solicitações longitudinais e aumenta ainda substancialmente a resistência à deformação da construção no caso de choques acidentais.

40.3.2.3. Disposição do equipamento elétrico e dos cabos sob o estrado

Em geral são escolhidos dois processos para a instalação dos equipamentos elétricos sob o estrado. Um deles consiste em construir um segundo estrado na área compreendida entre os truques, por baixo do estrado propriamente dito.

Os equipamentos elétricos são instalados no compartimento assim formado. Como os condutos formados pelo estrado, reforçado pelas paredes e pela cobertura são suficientes para absorver as solicitações exteriores, não há necessidade, por razões de estática, desse segundo estrado. Aumenta inutilmente o peso do carro, além de tornar mais complicada sua execução. Por isso este processo não deve ser aconselhado.

O segundo método prevê a instalação dos equipamentos elétricos, levando em consideração, sobretudo, as regras da construção leve, suspendendo-os sob o estrado.

Os equipamentos devem ser reunidos no menor número de caixas possível, colocando os cabos igualmente em seu interior. Caixas contendo equipamentos geradores de oscilações devem ser suspensas sob o estrado com camadas de borracha intercaladas, de tal maneira que as oscilações e os ruídos não venham a ser transmitidos ao carro. Os equipamentos devem ser dispostos de maneira a poderem ser trocados com facilidade.

Este processo deve ser aconselhado para instalação da aparelhagem elétrica nos carros do Metrô de São Paulo. É conveniente dispor os cabos em condutas por ser mais vantajoso — tanto do ponto de vista de preço, quanto de peso — do que em forma de calhas.

40.3.2.4. Isolamento da caixa do carro

O isolamento da caixa do carro deve, em geral, protegê-lo contra as corrosões. Deve ainda, garantir uma boa redução do ruído e proteção térmica. Como nos carros do Metrô de São Paulo o intuito principal é a

redução do ruído e a proteção contra corrosões, o método a considerar é o seguinte:

Sobre as chapas da cobertura, das paredes laterais e de cabeceiras, e do piso, deve ser aplicada, a jato, uma camada de um produto isolante quanto ao ruído, cuja espessura será de 4 a 6 mm, de acordo com sua fabricação. Sobre esta serão aplicadas placas de espuma de PVC cujas propriedades são tanto de isolante ao ruído quanto de isolamento térmico.

No que diz respeito às placas de espuma de PVC, deve-se prestar especial atenção a que sua constituição celular seja fechada a fim de não absorver nenhuma umidade. Lençóis amortecedores devem ser aplicados ainda na área do piso, acima dos truques, para reduzir ainda mais o ruído. A parte inferior do estrado recebe um isolamento especial para redução do ruído e que serve igualmente como proteção contra a corrosão. Como essas partes da caixa do carro estão expostas ao impacto de pedras do lastro, seu isolamento deve apresentar certas propriedades elásticas. Nas linhas de metrô e nas estradas de ferro da Alemanha o chamado absorvedor de som V-60 tem dado bons resultados. Esse absorvedor também tem sido aplicado em carros exportados para os trópicos. Uma ampla redução do nível sonoro no interior dos carros é obtida pela colação de fôrros acústicos.

Como esses fôrros aumentam o preço do carro em cerca de 2%, seria necessário experimentar alcançar uma redução suficiente do ruído sem esse fôrro, com meios mais simples.

40.3.2.5. Configuração externa e interna dos carros

Aos usuários de um metrô não interessam tanto os dados técnicos do sistema, como o conforto oferecido e o aspecto interno e externo dos carros. O aspecto atraente dos carros e a velocidade do transporte atraem passageiros para o metrô, aliviando assim as ruas do tráfego individual. Por conseguinte, ao ser executado o acabamento dos carros, deve-se procurar criar nos recintos dos passageiros uma atmosfera amistosa e por outro lado, dispor tudo de tal forma que o interior do carro possa ser mantido bem limpo de maneira simples. A configuração arquitetônica dos carros deveria por isso, ser considerada não só do ponto de vista da estética mas, igualmente do ponto de vista prático. No que diz respeito à forma exterior dos carros, isto significa que, devido à resistência à marcha e sobretudo para possibilitar uma boa limpeza externa dos carros, devem ser preferidas as formas alinhadas e usuais. Assim é que as janelas devem, sempre que possível, ficar ao mesmo nível da parede externa e as portas ter um recuo para dentro apenas suficiente para responder aos requisitos de sua construção (Fig. 40.3./2).

Para as paredes internas deve-se prever placas de resina plástica de espessura mínima de 2,5 mm, a serem fixadas diretamente aos perfis da estrutura do carro. No intuito de impedir a retransmissão de ruídos ou de calor deve-se aplicar entre essas placas e os perfis da estrutura, bandas de tecido ou fitas adesivas. A fixação das placas deve somente ser executada por meio de grampos perfilados de metal leve, a fim de possibilitar a troca simples e rápida de placas danificadas.

Para o revestimento das paredes de trás dos bancos e da parede de separação das cabine de comando, devem ser empregadas as mesmas placas de matéria plástica previstas para as paredes laterais. Um rodapé de 200 mm de largura em alumínio será fixado devidamente ao longo da parte inferior dessas paredes como proteção contra danificações.

O fôrro interno será constituído de placas de resina plástica em camadas com leve arqueamento em sua parte central. Para as partes laterais, de arqueamento mais pronunciado, deve-se aplicar poliéster reforçado com fibras de vidro. O processo de fixação das placas de revestimento à estrutura do teto será o mesmo que no caso das paredes laterais. Os tubos fluorescentes previstos para a iluminação do carro devem ser fixados ao fôrro. Deve-se prever duas fileiras de luzes. Os difusores de vidro de tonalidade leitosa devem ser impermeáveis à poeira e difundir uma luz amena. De acordo com a norma UIC 550 VE as luminárias devem proporcionar uma luminosidade de 150 lux de intensidade.

Dado o grande desgaste a que está sujeito, deve o piso dos carros ser muito resistente, de limpeza fácil. Para tanto pode-se aconselhar o seguinte:

Sobre as chapas corrugadas fixadas ao estrado e cobertas de camadas de massa isolante, deve ser aplicado o assoalho de madeira compensada de cinco camadas, com uma espessura de cerca de 10 mm e resistente a todas as espécies de agentes atmosféricos. Nas junções das placas devem ser soldadas bandas de folhas metálicas sobre a chapa corrugada. As tábuas de madeira compensada serão ligadas entre si por molas de aço e parafusadas às bandas de chapa metálica acima citadas.

O assoalho será recoberto por um lençol de borracha sintética de 2,5 mm, que deve ser resistente ao desgaste e a cigarro aceso. Junto às paredes laterais deverá elevar-se em cerca de 200 mm e ter suas bordas recobertas por uma tira de alumínio, a fim de que não entre água para a estrutura de madeira do piso.

As tampas dos alçapões previstos para o serviço de inspeção dos motores de tração devem igualmente ser totalmente impermeáveis à água.

A decoração e as cores das paredes, fôrros e do revestimento do piso deveriam ser definidas para cada um e corresponder ao gosto da época.

A armação dos bancos deverá ser de construção tubular leve. Para os bancos, o mais conveniente seria madeira compensada, ou poliéster reforçado com fibra de vidro. No intuito de oferecer maior conforto, podem os bancos ser levemente estofados com espuma de plástico e revestidos com plástico sintético lavável e poroso (que deixe passar o ar).

Para que os passageiros em pé possam se segurar com firmeza nas partidas, frenagens e quando se deslocam, deverão ser dispostas alças e colunas de apoio em número suficiente.

De acordo com a disposição feita no capítulo 13.1. está prevista uma cabine de maquinista para cada unidade elétrica. O equipamento da cabine ocupa meia largura do carro. Quando ocupada, a cabine ocupa

toda largura do carro para que possa proporcionar boa visão para o maquinista do carro em operação (ver fig. 40.11). A disposição do recinto do maquinista deve corresponder à disposição do recinto dos passageiros. O maquinista deve dispor de um assento cômodo com vista ampla e desimpedida em todas as direções. O equipamento elétrico da cabine de comando está descrito nos capítulos 40.4. e 23.3.

A disposição do recinto do maquinista deve se basear na UIC-Markblatt 617-6 VE. Na escolha do material para a instalação interna deve-se notar que só deve ser empregado material não inflamável ou auto-extintor. Essa prescrição, evidente hoje em dia, impõe-se muito mais ainda em veículos de metrô, que circulam, a maior parte do tempo em túneis.

40.3.2.6. Janelas

A disposição e o tamanho das janelas dos carros (Fig. 40.11), foram determinadas tendo em vista as necessidades de boa visão e aparência agradável.

Seguindo as recomendações das normas UIC 564 VE e 617-4 VE, deverá ser empregado vidro de segurança para as janelas normais; para as janelas das cabines de comando, vidro de segurança triplex, com espessura mínima de 6 mm.

As janelas, porém, não deverão somente proporcionar boa visão, mas também atuar como anteparo contra ruídos externos. Vidros simples, no caso são pouco recomendáveis, pois, seu efeito amortecedor de ruídos é mínimo. Bem mais adequado é o vidro de segurança triplex, cuja lâmina sintética intermediária tem qualidades amortecedoras. A janela dupla fornece a melhor proteção contra ruídos, é duas vezes mais pesada do que a janela de vidro simples, e como se pretende uma construção leve, não é apropriada. Por isso, é recomendável prever janelas simples com vidro de segurança triplex.

As janelas laterais são divididas em duas partes. A parte inferior das mesmas chega até 150 mm abaixo da corda superior do caixilho e é de instalação fixa. A parte estreita superior é basculante, podendo ser inclinada para o lado de dentro num ângulo de aproximadamente 40° servindo para a entrada de ar fresco em caso de ventilação deficiente. As janelas deverão ser embutidas em perfis de borracha ou neoprene perfilado. Como os carros são construídos para que as cabeceiras absorvam choques e deformações em caso de colisão, é provável que as portas centrais possam ser abertas, mesmo após um acidente, sendo dispensável embutir as janelas em perfis de emergência, que facilitem a destruição da janela em caso de perigo, ou prever martelos especiais para a destruição dos vidros de segurança.

Como proteção contra a irradiação solar muito forte, todas as janelas laterais deveriam ser providas de vidraças matizadas que deixam passar no máximo 30% da irradiação de calor e no mínimo 65% da irradiação visível do espectro solar.

40.3.2.7. Portas

Nos veículos de metrô são empregadas portas de tipos os mais diferentes, divididas em dois grupos

principais: o grupo de portas corrediças e o grupo de portas dobradiças. As portas dobradiças são usadas principalmente nos ônibus. Para os carros do Metrô de São Paulo, com vão livre das portas previsto de 1.300 mm, as portas dobradiças devem ter quatro fôlhas. A desvantagem destas portas em comparação às corrediças, é a grande quantidade de portas que são causa de elevado custo da manutenção. Além disso, a multiplicidade de componentes provoca prematuramente ruídos nas portas. Outra desvantagem é a de as portas se abrirem para o interior do veículo podendo incomodar os passageiros, quando o carro estiver muito lotado. Por estes motivos, o emprêgo de portas dobradiças não é recomendável.

A figura 40.12 mostra três tipos de portas corrediças, 40.12/I mostra o tipo mais comum: a porta corrediça de duas fôlhas, que corre em bolsas laterais. A vantagem deste tipo é que as portas podem ser relativamente bem vedadas e as vedações instaladas entre as paredes, — sem protegidas.

Como desvantagem deste tipo de portas devem ser assinaladas: a difícil limpeza das bolsas laterais das portas e a saliência formadas pelo recuo da porta, em relação à superfície da parede externa. O ar deslocado pela movimentação do trem impele chuva, pó e sujeira para os cantos do vão das portas, formados pelo recuo e daí não podem ser retirados apenas por limpeza mecânica.

A disposição das bolsas laterais não interfere na configuração do interior dos carros, pois, a espessura das paredes permite a sua acomodação entre as mesmas. A área para viagem em pé também não fica prejudicada. A fig. 40.12/II representa uma porta de correr externa em duas fôlhas. É empregada no Metrô de Hamburgo. A vantagem deste tipo reside na desnecessidade das bolsas laterais, possibilitando a construção de paredes mais finas. Isto, porém, não representa um aumento da área interna do carro, cuja largura foi pré-determinada, pois, esta é calculada incluindo as portas dispostas exteriormente.

A localização das vedações é desvantajosa, pois, as mesmas estão expostas a todas as intempéries. Esse tipo de portas também é desfavorável para a limpeza mecânica dos carros.

Por fim, a figura 40.12/III representa uma porta de correr articulada de duas fôlhas. Ao abrir, cada fôlha é articulada para fora por um cilindro de ar comprimido. Outro cilindro em cada fôlha movimenta, então, a mesma paralelamente às paredes externas. Vantagens deste tipo de construção: fecham rente à parede externa não formando saliências, vedação eficiente do caixilho e a supressão das bolsas laterais.

Desvantagem é o preço alto das peças de comando e o equipamento de ar comprimido necessário às instalações para o fechamento das portas. Este tipo é mais pesado e dispendioso do que outros tipos. Outra desvantagem é a porta sobressair cerca de 50 mm da parede externa. O espaço entre a borda da plataforma e a soleira da porta será aumentado no mínimo desse valor, se o piso do carro e a borda da plataforma estiverem no mesmo nível.

A comparação das vantagens e desvantagens enumeradas leva à conclusão que, para o Metrô de São

Paulo é aconselhável o emprêgo de portas de correr em duas partes, escamoteáveis em bolsas laterais.

No que se refere ao acabamento nos seus detalhes, as portas deveriam ser construídas em metal leve. O espaço entre o revestimento externo e interno deve ser preenchido com espuma de poliuretano ou com placas de outro material equivalente. As superfícies internas das portas terão o mesmo revestimento das paredes internas dos carros de passageiros. Em cada fôlha da porta será montada uma janela fixa com vidro de segurança, embutida em guarnição de borracha ou neoprene. As arestas verticais aparentes das fôlhas de portas devem receber perfis de borracha, para assegurar perfeita vedação e proteger os passageiros contra ferimentos. Ambas as fôlhas das portas devem ser presas a uma corrediça de esferas, montada na parte superior da porta, e conjugadas por acionamento de correntes.

Para evitar oscilações das portas, deverão ser montados trilhos de guia de aço inoxidável no centro da porta, logo abaixo da janela, contra os quais um par de rodilhas de material sintético exerce pressão. Para cada fôlha da porta uma rodilha deve ser fixa, a outra montada sobre molas. O canal de guia inferior deve permitir a remoção fácil da sujeira que ali se acumula. O mesmo é válido para o acabamentos das bolsas laterais, cujas vedações deverão ser montadas de forma a garantir a não-penetração de chuva e pó.

As portas deverão ser abertas e fechadas por um dispositivo eletro-pneumático. Durante a viagem os cilindros acionadores deverão ser mantidos sob pressão, para manter as portas travadas. Para atender casos de emergência, deverá ser previsto uma válvula de emergência, acima de cada porta, para que estas possam ser destravadas. Como as portas serão acionadas automaticamente, não haverá necessidade de maçanetas internas ou externas. Para o suprimento de ar fresco, as portas deverão ser providas de fendas protegidas por grades, sendo que as mesmas deverão estar situadas 150 mm acima do piso. Deverão ser construídas de maneira que a chuva ou a água da limpeza mecânica não possa penetrar nos carros.

40.3.2.8. Ventilação, respectivamente climatização

O grau de conforto oferecido por um veículo de metrô, depende consideravelmente do tipo de sua ventilação. Uma solução satisfatória deste problema não é fácil, em vista do constante abrir e fechar das portas e do movimento contínuo de passageiros.

Nos metrôs mais antigos encontra-se a ventilação automática (estática). Este sistema só funciona com o trem em movimento, sendo que o ar é aspirado do veículo ou insuflado no mesmo, através de ventoinhas montadas no teto, respectivamente é empregado o sistema de rotor, sendo que no caso o sistema de aspiração é o mais difundido. Em zonas de clima moderado, estas providências são suficientes para os veículos de metrô. As mesmas também estão previstas nos novos veículos dos Metrôs de Munique e de Helsínque.

Em zonas de climas mais quentes, como por exemplo São Paulo, este sistema simples de ventilação não é suficiente. Aqui devem ser previstas ventoinhas com acionamento

independente ou então equipamento de ar condicionado.

Para as ventoinhas a motor existem dois tipos de operação. Num, o ar é aspirado do interior do carro, no outro o ar é insuflado para o interior do mesmo. Em ambos os casos os ventiladores encontram-se no teto do carro. A ventilação por aspiração tem a vantagem que a direção da aspiração age no sentido da corrente natural do calor, isto é, aspirando o ar em ascensão, aquecido pelo calor dissipado pelos passageiros e contendo alto grau de umidade.

Uma boa ventilação deverá ser assegurada pela entrada de ar através da parte inclinável inferior das janelas. Provavelmente ali o ar é mais fresco e contém menos poeira, do que no caso de ser aspirado diretamente na altura do piso. Também não precisa-se temer a entrada de água de chuva ou proveniente da limpeza ou qualquer corrente de ar incômoda.

No caso de ar insuflado, o ar externo atinge os passageiros diretamente por cima. Em princípio, para o Metrô de São Paulo deverá ser prevista a ventilação por ventiladores. A possibilidade de uma ventilação por ar insuflado durante certas épocas do ano, deverá ser mantida em aberto.

Para um alto grau de conforto, este sistema de ventilação não é suficiente. Para este caso deverá ser prevista a climatização do interior dos carros. No caso deveria-se almejar mais a desidratação do ar, do que o arrefecimento do mesmo. O grande número de passageiros traz consigo um elevado grau de umidade relativa no interior do carro. Diminuindo-se esse grau, o efeito arrefecedor natural da transpiração dos passageiros é auxiliado, elevando o grau de conforto. Sob as condições climáticas em São Paulo, no caso de condicionamento do ar no interior dos carros, a temperatura não deverá ser baixada mais que 2.º C, relativamente à temperatura externa. O que foi dito a respeito de ar insuflado pelo sistema a motor, é válido sobremaneira para o ar condicionado. Soprar o ar desidratado e levemente arrefecido do teto baixo sobre as cabeças dos passageiros, especialmente dos que viajam em pé, não é admissível. No caso de ar condicionado, o ar tratado deveria sair pelos peitoris das janelas, provocando dois redemoinhos de ar no carro. Os passageiros, principalmente suas cabeças, então seriam atingidas por uma corrente de ar, composta de ar tratado e do ar já existente no carro.

Um equipamento de ar condicionado para um veículo, como o previsto para o Metrô de São Paulo, traz peso adicional e é muito dispendioso. Em condições operacionais, com 1 min de viagem e paradas de 30 s, quando no mínimo todas as portas de um lado serão abertas, o equipamento para o condicionamento de ar, necessário para um atendimento eficiente, tem que ser de alto rendimento. Um conjunto destes necessita de mais, ou menos 20 kW, pesa cerca de 1,2 t e seu custo para cada carro é de aproximadamente US\$ 12.000.

Para São Paulo, custos tão altos atualmente não são justificáveis. Para os primeiros anos de operação, uma ventilação forçada dos carros poderá ser considerada como suficiente. Atualmente ainda não é possível definir o momento exato para

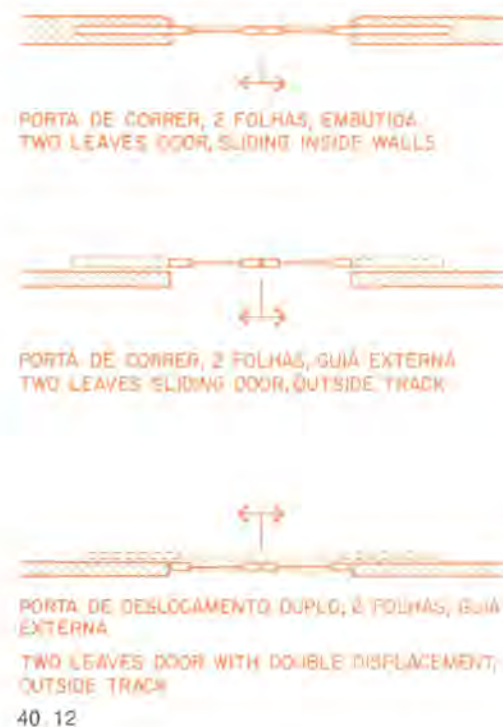


Fig. 40.12 Alternativas para abertura das portas nos carros

Fig. 40.13-18 Esquemas da transmissão mecânica do acionamento motriz — Alternativas

adotar-se uma climatização cara e dispendiosa.

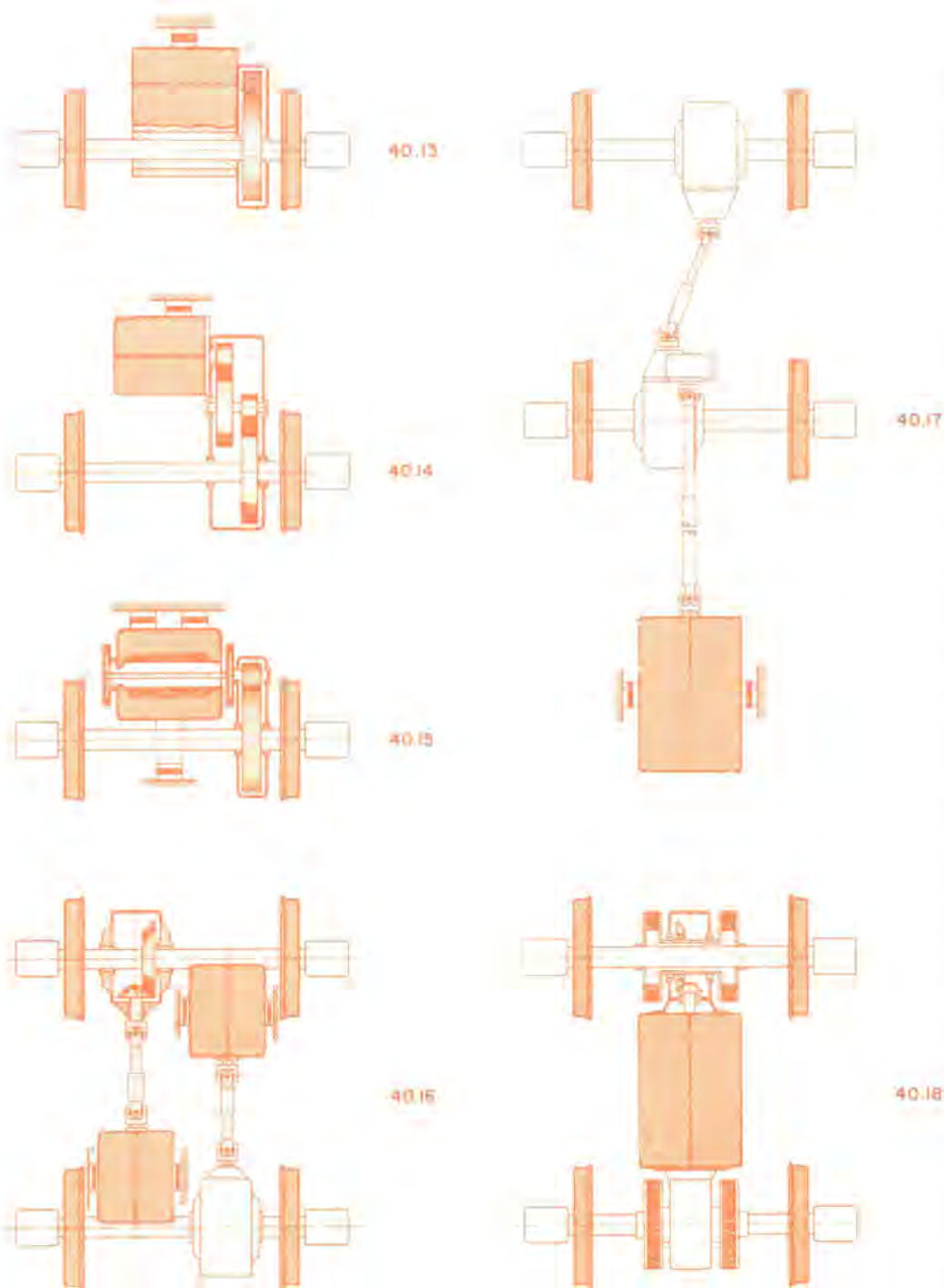
40.3.3. Engates

Para atender às exigências operacionais de um metrô, as unidades elétricas do mesmo precisam ser acopladas por engates automáticos. Isto é necessário para que os trens, possam ser formados rapidamente, sem auxílio adicional. Estas exigências são cumpridas por engates automáticos centrais.

Engates centrais do tipo ferroviário normalmente não podem ser considerados, pois sua função é inadequada para a questão em pauta, pois são muito pesados para os carros do metrô. Isto também é válido para os engates empregados nas ferrovias brasileiras.

O engate central do metrô deve atender a certas exigências, sendo que, ao mesmo tempo do engate automático para a tração dos carros, ocorra o engate das tubulações de ar e todas as ligações elétricas de comando. Ademais os engates acoplados deverão ajustar-se sem jogo. Isto quer dizer que não podem fazer um movimento relativo ao sentido do movimento do trem. Isto é particularmente importante, a fim de possibilitar arranque e frenagem suave, sem solavancos. O engate também deve ser provido de dispositivo retentor, para evitar principalmente movimentos verticais da cabeça do engate durante a viagem, permitindo porém, engatar nas menores curvas da rede.

Além disso, os engates devem ser providos de um dispositivo de molas,



40.13 — 18

para absorver leves choques durante as manobras e para equilibrar pequenas diferenças de arranques e frenagens entre os diversos carros de uma composição. A elasticidade e a capacidade funcional deste dispositivo de molas deve-se harmonizar com o tipo de construção do carro.

As exigências acima mencionadas são preenchidas pelos engates tipo "Compact" e "Scharfenberg". O primeiro é empregado principalmente na América do Norte, onde existem diversos tipos. O outro tipo é empregado nos Metrô de Amsterdã, Berlim, Buenos Aires, Hamburgo, Lisboa, Milão, Montreal, Moscou, Munique, Paris, Roma e Rotterdam.

Como a menor composição de serviço no Metrô de São Paulo será uma unidade elétrica de dois carros, que durante o serviço não precisa ser desengatada, o engate para estes dois carros da composição pode ser de tipo simples. Para este engate não há necessidade de dispositivo para desengate através da cabine de comando, nem para engate simultâneo das ligações elétricas de comando. Engates desse tipo são mais leves e baratos e também deverão ser considerados para o Metrô de São Paulo.

40.3.4. Truques

O desenvolvimento dos truques para veículos de metrô é derivado, como os próprios veículos, dos truques dos bondes. No correr dos tempos, tem surgido inúmeros tipos de truques muito diferentes entre si quanto ao modo de propulsão, seja pelo molejo, seja por outros de seus elementos

componentes. A seguir estão descritos os principais tipos de truques com seus diferentes elementos, e uma vez pesados seus prós e contras, apresenta-se sugestão do tipo mais vantajoso, para o Metrô de São Paulo.

40.3.4.1. Acionamento

A mais simples disposição para o acionamento é o do motor sem molejo, suspenso pelo nariz (Fig. 40.13). Foi desenvolvido, na passagem do século, por Sprague, nos E.U.A., para locomotivas de ferrovias industriais e, devido à simplicidade de sua construção, encontrou logo aplicação também nos veículos motrizes de tráfego urbano e de longa distância. É hoje ainda, o tipo de acionamento mais difundido.

Com esse tipo de acionamento o motor é instalado transversalmente em relação ao eixo longitudinal do veículo. Por um lado o motor é rigidamente ligado ao quadro do truque. Pelo outro lado ele apoia-se sobre o eixo de tração, através do assim chamado nariz, o qual pode ser construído em forma de mancal com buxa ou mancal com rolamentos. Com suspensão pelo nariz a distância entre o centro do eixo do motor e o centro do eixo de tração é independente do movimento de molejo. Com transmissão motor — eixo de tração — a coroa pode ser fixada diretamente sobre o eixo de tração.

O conjugado do motor é transmitido para o eixo de tração através do pinhão do motor via coroa.

A simplicidade e ao baixo custo de construção, contrapõem-se, entretanto, algumas desvantagens. Assim é que

todos os choques provenientes da via são transmitidos, praticamente sem amortecimento, para o motor, exigindo então maiores despesas de manutenção da engrenagem e da via. Com trilhos soldados contínuos, e velocidades relativamente baixas dos veículos de metrô, essas desvantagens tem, contudo, papel pouco importante. Principalmente nota-se nesse tipo de acionamento o alto nível de ruído proveniente da engrenagem, e que no túnel torna-se particularmente desagradável. Também prejudicial é a falta de um elemento elástico na engrenagem, para amortecer a reação do esforço dos dentes que é transmitido diretamente ao eixo de tração, provocando choques perceptíveis, sobretudo na partida devido à inércia das rodas. As desvantagens aqui indicadas fazem com que o acionamento com suspensão pelo nariz malgrado sua grande simplicidade, não seja mais adotado nos novos veículos de metrô. Inúmeras foram as tentativas efetuadas no intuito de se eliminar as desvantagens do acionamento com suspensão pelo nariz. Por meio da inserção de elementos de borracha junto ao nariz, obtem-se melhor construção. A mais notória construção desse tipo é o acionamento com anéis amortecedores de borracha, onde o nariz é fixado sobre uma árvore ôca, a qual se apoia sobre as rodas de tração através de elementos de borracha. A coroa é disposta sobre a árvore ôca de tal modo que tanto a engrenagem quanto o motor recebem o efeito de amortecimento através dos elementos de borracha. Como, além disso, o conjugado é transmitido ao eixo de tração de maneira elástica, os solavancos no arranque são reduzidos. Esse tipo de construção deu resultados particularmente satisfatórios sobretudo nas locomotivas das ferrovias alemãs e austríacas. Não, foi entretanto, adotado nos metrô, pois as condições de espaço são aqui reduzidas e esse tipo de acionamento é bastante dispendioso.

Nos E.U.A. foi elaborada uma variante do acionamento para veículos de metrô com suspensão pelo nariz, na qual foi acoplado ao motor um redutor com 2 pares de engrenagens (Fig. 40.14). Foi desenvolvida com o fito de poder empregar motores de alta rotação e portanto mais leves. Na verdade a vantagem do motor mais leve é quase neutralizada pela transmissão agora mais pesada. Além disso, o nível de ruído com a transmissão de dois pares é mais alto do que com par único. Portanto, neste tipo de construção as desvantagens do acionamento com suspensão pelo nariz estão presentes nas mesmas condições.

Por isso foram desenvolvidos nos E.U.A. tipos de construção semelhantes aos da Europa, onde a caixa de transmissão é fixada ao eixo ôco, apoiando-se este sobre o eixo de tração através de elementos de borracha. Todo o sistema de acionamento é então fixado com molejo e possui igualmente um elemento elástico no sistema de transmissão.

Para eliminar as vibrações oriundas dos trilhos adota-se, freqüentemente, o chamado motor de truque, o qual é instalado no quadro suspenso por molas do truque. Assim, os movimentos relativos que se produzem entre o motor e o eixo são compensados através de articulação tipo cardan. A figura 4.15 mostra tal construção, o chamado acionamento por disco, muito divulgado na Europa e aplicado. O conjugado do motor é transmitido a um eixo através de um acoplamento elástico a discos. No

outro extremo desse eixo que atravessa a árvore ôca do rotor do motor, situa-se um segundo acoplamento a disco. Este acoplamento está ligado ao pinhão que transmite o conjugado ao eixo de tração através da coroa. Os movimentos relativos do motor em relação ao eixo, são compensados por meio do acoplamento com os discos. Os inconvenientes desse tipo de transmissão situam-se no rotor na forma de eixo ôco e na construção dos discos, que devem ser fabricados com material de alta qualidade e exigem alta precisão no acabamento. A transmissão é por isso muito cara, tanto do ponto de vista de construção quanto de manutenção.

Outra alternativa de transmissão com motor de truque é mostrada na figura 40.16 a qual foi aplicada nos veículos do Metrô de Toronto. Neste tipo de construção o conjugado é transmitido do motor ao eixo de tração através de um eixo cardan. Contrariamente aos tipos até agora descritos, os motores são aqui dispostos no sentido do eixo longitudinal do carro. Com essa disposição a propulsão do eixo deve ser efetuada através de um par de engrenagens cônicas. Ela deu bons resultados no Metrô de Toronto. O nível do ruído da transmissão é muito baixo. Como inconveniente há o tamanho dos eixos cardan muito curtos, o que gera nêles grandes angulações em relação ao plano horizontal, mesmo com pequena movimentação do molejo.

Nos tipos até agora citados cada eixo é acionado separadamente e, sujeito a um determinado conjugado, independentemente das condições de carga e de aderência. Essas condições não são, contudo, absolutamente as mesmas para todos os eixos. Assim é que, por ex. aparecem variações de carga nas rodas de acordo com a altura do ponto de aplicação da força de tração, na partida e na frenagem. De acordo com a altura deste ponto de aplicação, um eixo do truque pode ficar tão pouco solicitado a ponto de haver um deslizamento do mesmo, do que resulta um retardamento da aceleração. Isto poderia provocar danos de monta no rodeio e no motor. Ainda mais grave é a redução da atuação sobre a roda numa frenagem. Pode muito bem acontecer, neste caso, que a aderência entre roda e trilho não seja suficiente. O eixo ficaria então travado pela força de frenagem e as rodas deslizariam sobre os trilhos. Isto provocaria a formação de superfícies de desgaste sobre a roda (calos das rodas). Nesse caso os veículos devem ser retirados do serviço para a retífica de suas rodas. Isto resulta em altas despesas de manutenção.

A probabilidade de deslizamento ou de bloqueio dos eixos pode ser reduzida executando acoplamento dos eixos no truque. Sendo o conjugado transmitido a ambos os eixos do truque não se dá mais redução de carga nas rodas no arranque ou na frenagem. Com veículos relativamente longos não há redução de carga entre os truques. Mesmo nos casos de trilhos sujos não há perigo de deslizamento das rodas, pois, a aderência das rodas é suficiente para transmitir o conjugado de ambos os eixos acoplados. Estes fatos fizeram com que quase todas as locomotivas das ferrovias da França fossem dotadas da chamada tração mono-motor. Também as locomotivas diesel das Ferrovias Federais Alemãs têm os eixos do truque acoplados.

Há o inconveniente, de que eixos acoplados exigem rodas de diâmetro

perfeitamente iguais. Com os modernos termos para retifica dos rodeiros, pôde esse problema ser tecnicamente resolvido, como o demonstram as experiências das ferrovias francesas e alemãs. Além disso, pode-se citar ainda a experiência de várias décadas com locomotivas a vapor, as quais tinham tôdas, eixos com multi-acoplamentos. Mais do que com carros motrizes, ferroviários, deve-se evitar que haja deslizamento ou bloqueamento de eixo nos carros de metrô, pois neste o maquinista não tem possibilidade de constata-lo.

As vantagens do acionamento por meio de eixos de truque acoplados, deu ensejo à Budd de desenvolver uma transmissão adequada para o Metrô de São Francisco. (Fig. 40.17). Nessa construção, o motor, fixado ao corpo do veículo, aciona ambos os eixos do truque por meio de eixo-cardan. Este tipo de construção simples, tem dado bons resultados nos testes efetuados pela BARTD e deveria ser eventualmente, aplicado igualmente em seus veículos. Não se conta contudo, ainda, com grande experiência sobre esse tipo de acionamento.

O inconveniente neste tipo de transmissão é a pesada engrenagem do eixo, que se movimenta sobre este sem qualquer espécie de amortecedor. Também a fixação do motor no corpo do veículo traz consigo o perigo de que qualquer vibração oriunda de uma falha no cardan, seja transmitida ao corpo do carro.

Um tipo de transmissão, que se tornou muito conhecido foi o chamado acionamento Duewag (Fig. 40.18). O motor é situado no truque no sentido do eixo longitudinal do carro, e apoia-se sobre os eixos através da carcaça da árvore ôca da engrenagem cônica do eixo. O conjugado é transmitido de maneira uniforme aos dois eixos do truque por meio da engrenagem cônica, árvore ôca e elementos de borracha. Além das vantagens, já mencionadas, do acionamento simultâneo dos eixos, reúne ainda este tipo de transmissão as vantagens do motor com amortecedores e da transmissão elástica do conjugado. Este tipo de acionamento deu os melhores resultados no Metrô de Berlim, e deve ser aplicado nos metrô de Munique e de Paris. Medições de nível sonoro efetuadas nos veículos do Metrô de Berlim, pela "Operations Research Incorporated" de Silver Spring, Maryland, E.U.A., mostraram que esses carros estão entre os mais silenciosos do mundo, e isto deve ser atribuído, em grande parte, à transmissão.

Um certo inconveniente deste tipo de acionamento é o fato de que o motor não pode ser desmontado por baixo. Como na prática atual de reparações, dá-se preferência à troca do truque, e o tempo de funcionamento dos motores é muito longo, esse inconveniente é de importância secundária.

Finalizando, deve-se ainda notar, que em todos os novos metrô, os carros motrizes são providos de dispositivos de proteção contra deslizamento.

40.3.4.2. Mancais do eixo e instalação do rodeiro

Dada a sua reduzida resistência ao atrito, nos carros do metrô somente deve-se usar caixas de rolamento. Pode-se utilizar caixas de mancal com rolamento autocompensador, de raios cônicos ou com raios cilíndricos.

Rolamento autocompensador só é utilizado quando há perigo de haver deformação da caixa diagonal do quadro do truque, fato que nos veículos do metrô raramente sucede. Rolamento autocompensador, que é aliás muito caro, não é aconselhável para a construção dos carros do metrô.

Como nos carros motrizes não aparece nenhum esforço axial importante, não há necessidade de se utilizar caixa de rolamento de raios cônicos, pois estes são previstos para os casos em que há altos esforços axiais. Tem também o inconveniente de se apresentar em forma de caixa de mancal fixa, exigindo portanto grande precisão de montagem.

Nos veículos ferroviários é, por conseguinte utilizada, na maioria dos casos, caixa de mancal com rolamento de raios cilíndricos que só admitem reduzido jogo axial. Como ficou demonstrado experimentalmente, podem eles suportar sem dificuldade os esforços axiais que surgem em veículos ferroviários. Esta solução é menos onerosa que a de raios cônicos e deverá, portanto, ser adotada para os veículos do Metrô de São Paulo.

Uma perfeita passagem da corrente para os trilhos através dos eixos, tem importância decisiva para a durabilidade da caixa de rolamento; uma passagem da corrente via carcaça, raios, mancal, provocará, devido à ação isolante da película de lubrificante, com toda a certeza faísca elétrica nos contatos, danificando assim a caixa de mancal.

A caixa de rolamento pode ser instalada interna ou externamente às rodas. Internamente, ela sofre menos a ação dos esforços solicitantes do eixo do rodeiro. A necessidade de retirar a roda para trocar a caixa de rolamentos e a montagem em duas partes da mesma — que dificulta o acesso para inspeção — são duas desvantagens do sistema. Situadas do lado externo das rodas, as caixas exigem eixos mais pesados, mas em compensação desaparecem os citados inconvenientes das caixas internas. São de fiscalização simples e podem ser trocadas com facilidade. As caixas inteiriças oferecem boas condições de espaço para a instalação dos motores, transmissão e discos de frenagem. Essas vantagens são decisivas, na Europa, para aplicação das caixas externas, sobretudo do ponto de vista do controle operacional. Também por isso, serão propostas, para os carros do Metrô de São Paulo, rodeiros com suportes de mancais externos. A instalação dos eixos pode ser executada de maneira rígida ou flexível. Com eixos rigidamente montados, estes permanecem rígidos tanto nos trechos em linha reta quanto nas curvas. Com este tipo de construção, só poderá haver movimentos relativos do eixo, em relação ao quadro do truque, em sentido vertical. Com montagem flexível do eixo, este pode ser movimentado, em relação ao quadro do truque, também em sentido horizontal. Dependendo de sua construção, os movimentos podem ser transversais ou mesmo ainda diagonais. O movimento diagonal não deve ser admitido em veículos de metrô, pois nas curvas fechadas não há certeza de que os eixos voltem novamente a um perfeito alinhamento. Isto representa, além de um certo perigo de descarrilhamento, também um aumento no desgaste do friso da roda.

A instalação dos rodeiros deve pois ser efetuada de tal maneira, que seja possível uma certa movimentação

transversal e longitudinal em relação ao quadro do truque. Uma força de reajustamento suficiente garante um bom paralelismo e um alinhamento perfeito. O rolamento propriamente dito, deve se processar sem desgaste e sem necessidade de assistência permanente.

40.3.4.3. Suspensão e molejo

As exigências direcionais do rodeiro podem ser satisfeitas através de uma suspensão adequada. Na Europa, em geral, é previsto um molejo primário entre o corpo do carro e o truque e um molejo secundário entre o quadro do truque e os eixos. Nos E.U.A. dispensa-se geralmente, o molejo secundário.

Os tipos de suspensão utilizados são: molas de lâminas de aço, mola helicoidal de aço, amortecedores de borracha e amortecedores pneumáticos.

Os feixes de molas só foram usados, em geral, em veículos antigos. Possuem, no amortecimento por atrito uma característica dependente da frequência, transmitindo vibrações de alta frequência pouco amortecidas, perceptíveis na marcha do veículo, e, em particular, no nível de ruído. Por essa razão não são usados modernamente nos veículos de metrô.

O molejo helicoidal por outro lado, tem um amortecimento próprio extremamente reduzido, sendo necessário, para se obter uma marcha satisfatória, acrescentar-se-lhe, paralelamente, amortecedores hidráulicos. Uma combinação harmônica entre molejo e amortecedores proporciona uma marcha suave. O molejo helicoidal tem contudo o inconveniente de transmitir os ruídos, não atuando como isolante acústico.

O amortecedor de borracha, comparado com o molejo helicoidal, tem um poder de absorver ruídos particularmente grande. Com seu amortecimento próprio a uma determinada rigidez, ele torna supérfluo um amortecimento de vibrações. Outra vantagem do amortecedor de borracha consiste na possibilidade de se obter praticamente, mesmo na estrutura do veículo, através de formas apropriadas, qualquer característica progressiva de molejo (característica não linear). Daí, a razão pela qual o molejo de borracha tem encontrado, nos últimos tempos, uma grande difusão. Seus inconvenientes residem na parte de material. A qualidade da borracha deve ser adaptada às condições climáticas, a fim de não haver nenhum envelhecimento prematuro do molejo. Com molejo de borracha deve-se contar ainda, dada a grande dispersão na característica de amortecimento, com um forte enfraquecimento. Da qualidade da borracha depende igualmente o chamado assentamento do molejo, que pode, de acordo com sua forma, ser causa de modificação da característica do molejo. Este inconveniente pode, contudo, ser resolvido tecnicamente e eliminado através de cuidadoso controle de material.

Nos últimos tempos a suspensão pneumática encontrou aplicação na construção de veículos. Suas vantagens consistem sobretudo no fato de se poder adaptar a característica de amortecimento a dada condição de carga, por meio de regulação adequada da pressão. Pode-se assim,

por ex. manter constante a frequência própria da mudança para cada condição de carga, o que é extremamente vantajoso para a determinação do trabalho ideal da suspensão. Para veículos de metrô isto tem a vantagem suplementar de se poder manter constante a altura do piso do carro, independentemente da carga. Isto é muito cômodo para o embarque e desembarque de passageiros. É verdade que o molejo pneumático não alcança as boas propriedades de absorção de ruído da borracha. Outro inconveniente é também o grande consumo de ar, que deve ser levado em conta ao serem elaboradas as instalações de fornecimento de ar. A colocação de válvulas e comando de manobras suplementares, exigidos pela suspensão pneumática, tornam este sistema um pouco mais dispendioso.

Com suspensão pneumática é necessário prever ainda apoios de emergência que em caso de ruptura de uma bolsa de ar, estejam em condições de sustentar o peso do corpo do carro. Com efeito, nas linhas de metrô, com tráfego sobretudo em túneis, o veículo, não deve sofrer solavancos muito intensos caso haja explosão de uma bolsa de ar.

As vantagens da suspensão pneumática sobrepujam de muito seus inconvenientes. Encontram por isso, cada vez mais, maior aplicação nas linhas de metrô.

Em muitos metrô dispensa-se o molejo secundário do truque, que é inconveniente, tanto para a marcha, quanto no que diz respeito ao nível de ruído. Uma boa marcha, entretanto, só é obtida, quando a quota das massas não suspensas por molejo é tão baixa quanto possível. As pequenas massas sem molejo correspondem pequenos esforços entre roda e trilho e menores solicitações ao material. Com a aplicação de amortecedores secundários de borracha isola-se o ruído dos rodeiros do quadro do truque, o que concorre para a não transmissão de ruídos. Ao se efetuar a escolha da suspensão deve-se cuidar para que haja boa harmonia do sistema vibratório total, a fim de se evitar fenômenos de ressonância.

De acordo com essas considerações a suspensão pneumática é a mais apropriada como molejo primário. Abstração feita das vantagens já mencionadas, os movimentos rotativos entre truque e corpo do carro nas curvas podem ser amortecidos por ela. Os esforços solicitantes são aí muito fracos, atuando contra o escorregamento do friso das rodas. Portanto, com suspensão pneumática pode ser dispensada a coroa giratória esférica, freqüentemente utilizada na Europa, e que tem a mesma função.

40.3.4.4. Corpo da roda

O corpo da roda, como parte do rodeiro, tem como função sustentar o peso do carro e transmiti-lo ao trilho, além de manter o veículo na linha. De acordo com essas funções a estrutura do corpo da roda tem uma importância extraordinária.

O aro da roda é feito de aço e compreende a superfície de rolamento e o friso. Na escolha do material deve ser levada em consideração uma boa combinação com o material do trilho, pois só assim poderá ser conseguido menor desgaste do aro e do trilho. O diâmetro da roda deve ser determinado de acordo com as possibilidades de construção para a instalação da engrenagem de transmissão e de acordo com os esforços solicitantes

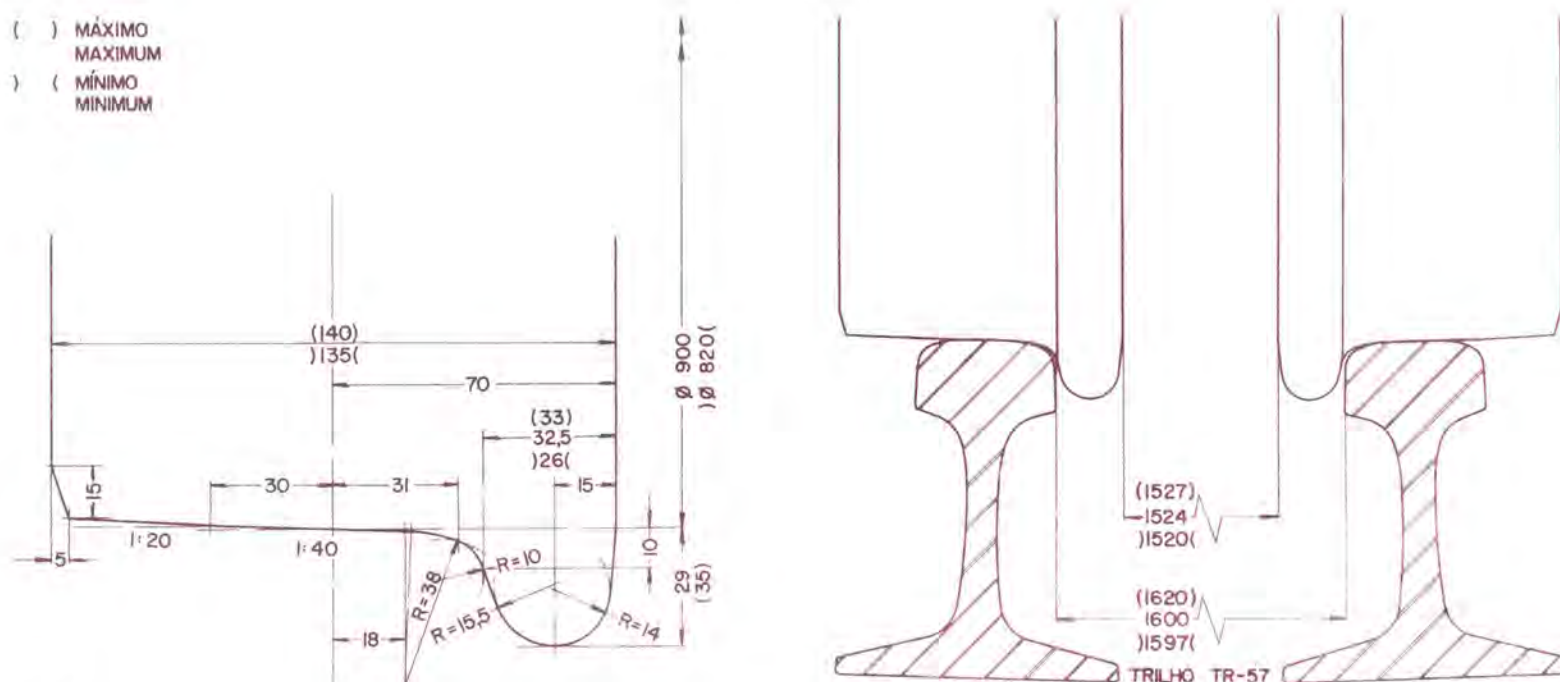


Fig. 40.19
Dimensões principais de um rodeiro e perfil de uma roda

40.19

admitidos pelo material na superfície de contato roda — trilho.

Nessa superfície de contato, chamada superfície de solicitação máxima, concentram-se as cargas da roda, os esforços longitudinais oriundos do acionamento e os esforços dinâmicos da marcha do carro.

A pressão admissível para uma roda no ponto de contato é inversamente proporcional, para uma mesma carga ao diâmetro da roda. Assim é possível, para uma carga dada, manter as solicitações dentro dos limites desejáveis, através da escolha do diâmetro da roda. Caso se deixe de considerar esses limites, os esforços solicitantes exagerados provocam deformações da superfície de rolamento e que podem ser constatadas na forma de esmagamento e de acúmulo de material ("calos" das rodas). As superfícies de rolamento desses rodeiros precisam então ser esmerilhadas, provocando altos custos de manutenção, devido a marcha incômoda e ao alto nível de ruídos resultantes. Para manter o coeficiente de pressão dentro dos valores limites, foram efetuadas pesquisas em alta escala, no quadro da ORE.

Suas conclusões são encontradas nas determinações da UIC que estabelece que o diâmetro das rodas para trens de passageiros e de carros motrizes deve ser padronizado em 900 mm para roda nova e em 820 mm como limite de condenação. Como rodas desse diâmetro podem ser aplicadas sem dificuldades em carros com piso situado, como previsto, a 1100 mm de altura, é esse diâmetro recomendado também para os veículos do Metrô de São Paulo. A adoção de rodas com esse diâmetro proporciona ainda uma boa combinação com a frequência própria do corpo do carro, evitando assim os fenômenos de ressonância.

Do ponto de vista de construção, a roda poderia dispor de aro colocado a quente, ou ser do tipo roda monobloco, onde o corpo da roda e o aro constituem uma peça única. Nas rodas com aro postigo, usa-se em geral, um aro de roda de ondulação dupla, sobre o qual o aro postigo é colocado a quente. Com esse processo de fabricação pode-se obter rodas com peso extremamente reduzido. Seu peso eleva-se a $\pm 92\%$ do peso de uma roda monobloco, com um preço $\pm 18\%$ superior. A manutenção da roda com aro postigo é mais dispendiosa e exige equipamento mais caro.

O corpo de roda de metal leve com aro de aço trouxe novo desenvolvimento da roda, com aro

postigo. Com este processo é possível reduzir ainda mais o peso do conjunto. Seu preço é sensivelmente superior. Além disso, não se dispõe, todavia, de experiência operacional suficiente com este tipo de construção, não podendo ser, portanto, aconselhado.

Outra alternativa para a roda com aro postigo é a roda com amortecedores de borracha com suas diferentes formas de construção. Em todos os tipos de construção os elementos de borracha são aplicados entre o corpo da roda e o aro.

A marcha é melhorada e o ruído é reduzido. Testes em larga escala efetuados no Metrô de Hamburgo demonstraram, contudo, que a influência sobre a marcha não mais pode ser medida e que não se notou redução do nível de ruído. Foi somente notado que o chiado da marcha em curva de 250 m, ou menos, diminuiu. Como no Metrô de São Paulo tais curvas são inexistentes, não se pode esperar nenhuma vantagem da utilização de rodas com amortecedores de borracha. Além do que, medidas de desgaste não demonstraram nenhum aumento da vida útil. O preço da roda é mais alto e seu peso maior do que, por exemplo, o da roda monobloco. Além disso a resistência à marcha é de cerca de 1 kg/t mais elevada. Este processo não é, portanto, recomendável.

De acordo com estas considerações, recomenda-se, para os veículos do Metrô de São Paulo rodas forjadas monobloco, que apresentem a solução econômica para as condições locais. Do perfil da superfície de rolamento e do friso das rodas, dependem, em grande parte, a marcha do carro e o desgaste da roda. Para as velocidades normais dos veículos do metrô, é usual uma sintonização subcrítica da suspensão transversal. Isto significa que a frequência de excitação do rodeiro deve se situar muito abaixo da frequência própria do carro (frequência de ressonância).

Para garantir isto, muitos metrô — ao contrário dos trens normais — adotam perfis de aro com superfície de rolamento cilíndrica. Esse perfil tem contudo o inconveniente do rodeiro não poder centrar-se sozinho nos trechos em linha reta, ficando a rodar junto ao friso da roda. Em empresas de metrô antigas pode acontecer que a porcentagem de curvas fechadas seja tão grande que esse ponto de vista não seja decisivo, e que com a constante mudança das curvas não resulte em nenhum desgaste unilateral dos frisos. No Metrô de São Paulo, contudo, procurou-se desenhar as curvas tão abertas quanto possível. Neste caso será vantajoso dar às superfícies de rolamento uma forma cônica, pois o pequeno desgaste esperado do friso

aumentaria o tempo de vida útil da roda e do trilho. De acordo com pesquisas efetuadas sobre a marcha dos veículos com relação à conicidade, é aconselhável, para veículos cuja frequência de excitação se situa, tecnicamente abaixo do ponto crítico, (frequência de ressonância), uma conicidade de 1:40 com inclinação do trilho correspondente. Obtém-se assim uma boa superfície de contato entre roda e trilho e ainda uma redução do esforço solicitante sobre o trilho. A figura 40.19 dá as medidas principais do rodeiro e do aro, cujo perfil foi adaptado ao trilho TR 57.

40.3.4.5. Truque recomendado para São Paulo

Com base na discussão sobre as vantagens e desvantagens de cada um dos elementos do truque pode-se recomendar para os veículos do Metrô de São Paulo o seguinte truque:

Truque com uma distância entre eixos de 2.100 mm com rodas monobloco de 900/820 mm de diâmetro. Caixas de mancal externas fixadas elasticamente e livres de desgaste onde as suspensões de borracha do eixo assegurarão tanto o molejo quanto a direção. Caixa de mancal com róis cilíndricos com reduzido jogo axial, suspensão primária do tipo pneumático para manter o piso do veículo a uma altura constante. Se possível, a suspensão pneumática deverá encarregar-se também do movimento rotativo do truque assegurando um deslocamento angular horizontal livre, e sem desgaste do truque sob o corpo do veículo. Para a tração deve-se escolher um motor colocado no sentido do eixo longitudinal do carro, com engrenagem de transmissão hipoidal. Motor e engrenagem devem formar uma só unidade que, independente do quadro do truque, seja montada sobre os eixos através de elementos de borracha e estejam acoplados mecanicamente em ambos os eixos (de modo que ambos os eixos são motorizados, movidos pelo mesmo motor).

40.3.5. Freios e fornecimento de ar comprimido

40.3.5.1. Freios

A segurança de um veículo depende, em grande parte da capacidade operacional de seu sistema de frenagem. Os sistemas de frenagem devem portanto, apresentar, sejam

quais forem as condições de serviço, um funcionamento seguro e, principalmente, respeitar as distâncias de frenagem pré-estabelecidas. Do ponto de vista econômico a operação de frenagem deve se processar com o mínimo de desgaste possível, exigência esta que, nos veículos de metrô, com suas frequentes paradas, assume uma importância decisiva.

Por esta razão adota-se hoje, em geral, para veículos de metrô, freio eletrodinâmico em lugar dos freios mecânicos. Com freio eletrodinâmico os motores de tração funcionam como geradores, sendo a corrente produzida dissipada através de resistências. A energia proveniente dos geradores atua contra a marcha do veículo, freando-o. Considerado do ponto de vista do desgaste normal entre a roda e o trilho, sua importância com a frenagem eletrodinâmica é muito pequena. Assim, o freio eletrodinâmico apresenta-se como a solução ideal para veículos de metrô. Uma frenagem até a imobilização do veículo com o sistema de freios elétrico é possível, mas altamente dispendiosa. Com o freio elétrico não é possível manter o veículo imobilizado. Daí a razão pela qual costuma-se prever nos veículos ferroviários paralelamente ao freio elétrico, freios pneumáticos, que são utilizados nas faixas de baixa velocidade. Aplicado desta forma, o freio mecânico provoca um desgaste extremamente pequeno. Caso se deseje dispensar completamente o freio mecânico, pode-se empregar, para manter o veículo parado, os chamados freios magnéticos. Com este tipo de freio excitam-se eletro-ímãs fixados ao truque, no momento da frenagem, que, em posição abaixada aplicam a força de frenagem sobre os trilhos. Suplementando o freio magnético deve ser ainda previsto um freio de retenção para os veículos fora do serviço, no depósito. Os custos e complicações para semelhante dispositivo de frenagem são muito grandes, pois em caso de defeitos do freio elétrico, não se dispõe de nenhum outro freio operacional, o que reduz sobremaneira a segurança operacional das instalações. Tal sistema de frenagem é, por conseguinte, desaconselhável.

No intuito de evitar esse inconveniente, deve-se prever, ao lado do freio eletrodinâmico, um segundo sistema de frenagem independente daquele. Para tanto, de acordo com a experiência de que se dispõe, só poderia interessar um sistema de frenagem pneumática, pois os sistemas com funcionamento hidráulico não foram ainda

suficientemente testados em veículos ferroviários. No freio inteiramente pneumático o ar é utilizado também para o acionamento dos órgãos de frenagem. Para veículos de metrô modernos, com deceleração de frenagem de serviço de $1,2 \text{ m/s}^2$, este sistema funciona contudo, com muita lentidão, pois a maior rapidez possível de se obter para transmissão dos comandos de manobras é a velocidade do som. Além disso, produzem solavancos no trem, pois a frenagem, acompanhando a velocidade de propagação da onda compressora, não tem atuação simultânea em todos os órgãos de frenagem.

Adotando-se comando elétrico na utilização do ar como elemento atuante, evitam-se esses inconvenientes. Com este sistema de frenagens, chamado eletropneumático, todos os freios do trem atuam simultaneamente.

Como esses sistemas de frenagem eletropneumáticos já foram suficientemente testados, podem eles ser aconselhados para os veículos do Metrô de São Paulo. Os freios devem ser dispostos de tal maneira que, caso ocorra um desengate involuntário na composição, ambas as partes sejam freadas automaticamente.

Para um trabalho conjunto o dispositivo de frenagem deve também ser equipado com um controle automático.

A pressão dos cilindros de freio deve ainda se adaptar permanentemente e automaticamente à carga do veículo.

O controle de carga dos freios deve ser separado para cada truque, para se obter condições de frenagem ideais. Para cada condição de carga deve-se poder conseguir a deceleração de frenagem desejada.

O tempo de enchimento do cilindro do freio deve ser, na frenagem de emergência, de 2 s, de maneira que ao se usar um coeficiente de aderência de 0,15, se atinja uma deceleração de frenagem de emergência de cerca de $1,35 \text{ m/s}^2$. O freio eletropneumático deve ser construído de forma a operar simultaneamente com o freio eletrodinâmico. No intuito de reduzir ao mínimo possível os serviços de manutenção, deve-se empregar válvulas de diafragma nas partes do freio comandadas por ar comprimido.

Para as partes mecânicas do freio eletropneumático pode-se adotar freio de sapata ou freio a disco. As sapatas podem ser em ferro fundido ou de material sintético. Além de ser altamente ruidosa, a sapata de ferro fundido tem o inconveniente de não apresentar um coeficiente de fricção constante entre sapata e roda, para diferentes valores de velocidade. Assim torna-se difícil dispor o freio de maneira a operar simultaneamente com o freio dinâmico e obter uma operação de frenagem completamente livre de solavancos, até à imobilização. Os inconvenientes da sapata de ferro fundido são, em parte evitados, utilizando-se a sapata de material sintético — chamada sapata de composição. É menos ruidosa e o coeficiente de fricção entre a sapata e a roda é praticamente independente da velocidade. Daí resulta uma boa conjugação com o freio eletrodinâmico. O desgaste da sapata de material sintético, comparado ao da sapata de ferro fundido, é extremamente reduzido. A superfície da roda é, entretanto, submetida a solicitações muito mais importantes, pois a sapata de composição é má

condutora de calor, e assim todo o calor gerado pela frenagem deve ser dissipado através do aro da roda. Essa a razão principal de, até há pouco tempo, não se ter adotado esse tipo de sapata nos veículos ferroviários. Hoje em dia conseguiu-se desenvolver matéria-prima para sapata de composição capaz de manter as solicitações de frenagem sobre o aro da roda dentro de limites razoáveis, com frenagem em velocidade de 60-70 km/h. As experiências têm mostrado que em altas velocidades de frenagem, não se consegue essa segurança. Pelo contrário, nesses casos deve-se contar com desgaste mais considerável do aro da roda, com o conseqüente aumento dos custos de manutenção.

Com o emprêgo do freio a disco, a roda é liberada de funções adicionais e serve unicamente para sustentar o peso da carga e os esforços de direcionamento. Isto se observa na prolongação de sua durabilidade. O trabalho de frenagem é aqui exercido por discos, montados especialmente para essa finalidade. A fim de manter o desgaste, tanto dos discos quanto das camadas de fricção tão reduzido quanto possível, deve-se empregar, para os discos de frenagem, ferro fundido cinzento perlítico, que é o que tem dado os melhores resultados. Com discos de frenagem desse tipo já se tem conseguido quilômetros de mais de 2 milhões de km, sem que tenha sido necessário qualquer serviço de manutenção nos discos. O freio a disco funciona com um nível de ruído extremamente baixo, o coeficiente de fricção é igualmente independente da velocidade, de maneira que também aqui é possível obter boa conjugação com o freio eletrodinâmico.

Como vantagem do freio de sapatas afirma-se freqüentemente, que os contornos das rodas são mantidos limpos pelas sapatas, sendo assim possível um melhor aproveitamento do coeficiente de aderência entre a roda e trilho, e uma melhor passagem da corrente elétrica. Isto é apenas parcialmente correto, pois é verdade que com o emprêgo de sapatas de ferro fundido constata-se facilmente um efeito de limpeza, mas isso já não se dá comumente com sapatas de composição. Este efeito depende, no caso, do material empregado na fabricação da sapata. Caso o material não seja inteiramente adequado aos esforços solicitantes, pode mesmo resultar um empastamento da superfície externa do contorno da roda.

De acordo com as experiências nos Metrô de Berlim e de Hamburgo, bem como nos trens comuns, não existe nas operações com freios a disco o pretenso inconveniente, ou seja, a falta do "efeito de limpeza da sapata de frenagem". Não se constatou nenhuma perturbação por más condições de aderência, nem dificuldades na passagem da corrente elétrica da roda para o trilho.

Os inconvenientes dos freios a disco são seu grande peso e seu preço um tanto alto. As vantagens sobrepujam, contudo, de sorte que o freio a disco é aconselhado para os veículos do Metrô de São Paulo. Ele deve ser construído de maneira a permitir as decelerações de frenagem requeridas, e garantir uma perfeita conjugação operacional com o freio eletrodinâmico. Deve ainda estar em condições de, em caso de falta de freio dinâmico, executar as frenagens de serviço pelo menos até atingir, dentro do plano normal de marcha, a oficina de reparação. Para a primeira etapa das obras isto corresponderia a

uma distância de cerca de 30 km de linha, com 38 paradas. Para se obter um equipamento de frenagens simples e leve, deve-se prever um tipo de freio uniformemente distribuído, onde cada disco corresponda a um cilindro de freio.

Para manter o veículo imobilizado, ao ser colocado fora de serviço, deverá haver um freio de estacionamento que possa ser acionado da cabine de comando para todo o trem. O chamado "freio de mola comprimida" tem dado bons resultados como freio de estacionamento, e pode por isso ser aconselhado para os veículos do Metrô de São Paulo. Nêles há uma mola, embutida no cilindro do freio, que em serviço normal permanece comprimida e travada. Ao ser acionado o botão do freio de estacionamento, a trava é removida e a mola se distende, aplicando o freio. O freio de estacionamento deve ser construído de forma a poder manter imobilizado o veículo lotado nas descidas mais íngremes, que possam ser encontradas.

Cada compartimento de passageiros deve dispor de uma alavanca de emergência para o acionamento do respectivo freio. Na cabine do maquinista, de cada lado do carro, haverá uma alavanca de freio de emergência. Ao ser acionada a alavanca de freio de emergência, a corrente de comando para o freio eletropneumático é interrompida, conseguindo-se assim uma frenagem total. Ao mesmo tempo, é aberto o areeiro para garantir a parada do veículo dentro da distância de frenagem de emergência. Por conseguinte, cada carro deve estar equipado com areeiro acionado eletropneumaticamente. A experiência em serviço tem mostrado que é suficiente equipar com areeiro os rodéis das extremidades dos carros motores.

O freio de emergência deve ser montado para ter atuação conjunta com os dispositivos de segurança, que fazem parte do equipamento do veículo.

Como não se pode excluir a possibilidade de deslizamento sobre trilhos empastados, deve-se prever em cada truque um dispositivo de proteção contra deslizamento de construção comprovada, com válvula de drenagem rápida de ar. O dispositivo deve ser construído de forma a impedir um bloqueio das rodas.

40.3.5.2. Fornecimento de ar comprimido e compressores

A produção de ar comprimido deve ter capacidade suficiente para o freio eletropneumático, os dispositivos para abrir e fechar as portas, os limpadores de para-brisas, os sinais sonoros, o disjuntor e os areeiros. Um compressor de ar apropriado deve ser previsto com eletromotor de acoplamento direto. O grupo compressor deve ter funcionamento particularmente silencioso. A fim de evitar a transmissão de vibrações e ruídos para o corpo do carro, o grupo compressor deve ser fixado ao estrado por meio de elementos elásticos de borracha.

Todos os aparelhos de ar comprimido deverão ser, tanto quanto possível, concentrados sob a caixa do carro, suficientemente protegidos contra influências externas, como por exemplo água e poeira. Deverão ter acesso fácil e serem facilmente desmontáveis. As canalizações principais deverão ser de canos de

aço de paredes finas, sem costura, os quais antes da instalação deverão ser cuidadosamente limpos de rebarbas e sujeiras. Pela mesma razão não será permitido o emprêgo de areia no processo de dobramento dos canos. Como prevenção contra corrosão os canos de distribuição de ar devem ser de cobre. Para atuar contra perturbações e contra a sujeira, deve-se prever filtros entre as canalizações principais de aço e os canos de distribuição, de cobre.

As mangueiras de ligação nas canalizações do freio devem ser previstas para alta pressão e dispostas de forma que não possa haver danificações por fricção.

40.3.6. Pêso dos carros

Para os veículos do Metrô de São Paulo deverá ser exigida a máxima leveza na construção, a fim de poder ser realizado um serviço o mais econômico possível, porém, sem restrições de espécie alguma em relação à segurança e à durabilidade dos veículos. As determinações relativas à premissa de carga para eixo e à segurança deverão ser obedecidas na íntegra.

Na construção da caixa é que são mais evidentes os benefícios da construção leve. Neste ponto foram conseguidas grandes economias de peso de ligas metálicas leves. Na escolha dos materiais deverá especialmente ser observada a qualidade dos mesmos. Assim, por ex. o módulo de elasticidade do alumínio é somente equivalente a 1/3 do módulo do aço. Por outro lado, seus valores de resistência estática alcançaram a ordem de grandeza de aços normais de construção. A diminuição de resistência na solda, inclusive das ligas de alumínio soldáveis e temperáveis ao ar, é maior que a do aço. Por isso nas construções em alumínio — principalmente as que estão sujeitas a trepidações — não é possível obter economias de peso na mesma proporção correspondente à dos pesos específicos dos materiais. A fim de se conhecer os efeitos relativos sobre o peso, foi realizada uma pesquisa científica a pedido de uma empresa de metrô, onde foi constatado que, considerando a diminuição de resistência na solda, a carga dinâmica e outros fatores — como p. ex. as diversas resistências a empenamento e flambagem — a construção da caixa totalmente de alumínio, com idênticos valores da premissa de carga por eixo e da segurança, poderá ser cerca de 45% mais leve que a construção em aço. Para o carro proposto para São Paulo, isto significa, que a construção em alumínio da caixa toda, permitirá uma economia de aproximadamente 2 a 3 t em relação à construção em aço.

Para a determinação exata do peso do carro, porém, deve-se levar em conta, na construção do carro, a participação em peso do equipamento elétrico e dos truques.

Como para o pré-estudo não se dispõe de tais dados, o peso provável deve ser avaliado por comparação com outros veículos de metrô.

Na figura 40.20 são apresentados os pesos de construções mais recentes.

O peso dos truques, que tem influência decisiva sobre o peso total do veículo, foi eliminado na composição dos valores específicos da caixa. Em vista das diferenças acentuadas de suas medidas, os

Metrô	Material básico	Comprimento	Largura	Altura	Área	Pêso do carro	Pêso dos truques	Pêso da caixa do carro	Pêso por unidade linear	Pêso por área unitária
		m	m	m	m²	t	t	t	t/m	t/m²
Berlin	Alumínio	15,5	2,65	3,425	41,1	18,52	10,4	8,12	0,523	0,197
Muenchen		18,0	2,9	3,55	52,2	23,39	12,6	10,79	0,599	0,207
P.A.T.H. (New York)		15,62	2,65	3,56	41,4	26,5	10,4	16,1	1,03	0,389
Toronto		22,1	3,13	3,64	69,2	26,76	11,34	15,42	0,698	0,223
Berlin	Aço de baixa liga, alta resistência	15,5	2,65	3,425	41,1	23,7	12,5	11,2	0,723	0,273
Oslo		17,5	2,80	3,65	49,0	29,5	15,0	14,5	0,829	0,296
Stockholm		17,0	2,70	3,67	45,9	23,5	10,7	12,8	0,753	0,279
Hamburg	Inoxidável	13,81	2,51	3,35	34,7	17,9	8,27	9,63	0,697	0,278
New York		17,92	3,0	3,7	53,8	31,72	17,4	14,32	0,8	0,267
São Paulo (projeto preliminar)	Alumínio	21,2	3,21	3,55	68	26,9	12,6	14,3	0,675	0,21
	Inoxidável	21,2	3,21	3,55	68	30,0	13,0	17,0	0,8	0,25

Fig. 40.20
Comparação de pêso de alguns carros de Metrô

valores do carro de Berlim foram eliminados como valor comparativo para o carro de São Paulo. Os valores do carro tipo PATH também não podem ser aproveitados, pois sua construção baseia-se sobre valores de premissas de carga por eixo e de segurança válidos para estradas de ferro na verdadeira acepção do termo. Os dados sobre os carros dos Metrô de Munique e Toronto, porém, foram aproveitados para a comparação de pesos. Como o carro de Toronto ainda contém peças de aço, deverá ser suposto um peso específico de 0,21 t/m² para o carro de São Paulo, o que corresponde mais ou menos a 0,207 t/m² do carro de Munique de construção total em alumínio. Isto parece justificável, visto que uma nova construção em Toronto já apresenta pesos menores. Com o valor específico de 0,21 t/m² a caixa do veículo de São Paulo pesaria 14,3 t em construção de alumínio.

Os valores para os veículos em construção leve de aço (linhas 5 — 7) mostram, em especial para os dois carros de Berlim, como foi possível diminuir o peso com o emprego de outro material. Com base nos valores dos carros dos Metrô de Hamburgo e Nova Iorque (linhas 9 e 10), construídos em aço inoxidável, pode ser estimado o valor específico de 0,25 t/m² para um carro de aço inox. para o Metrô de São Paulo, o que corresponderia a um peso de 17,0 t da caixa. Admitindo-se para o veículo em alumínio os truques (inclusive motores elétricos) com peso de 12,6 t, para o carro de aço inox. com 13,0 t, chega-se assim a 26,9 t para o carro totalmente de alumínio, e 30,0 t para o carro de aço inox.

Como o peso do carro é fundamental para o serviço econômico de um metrô, é recomendado na construção o peso máximo de 27,0 t por carro.

40.4. Parte elétrica dos carros

De acordo com o que foi exposto no capítulo 40.1., a unidade de dois carros é a mais adequada solução para o Metrô de São Paulo, por constituir a menor unidade elétrica.

Servirá de base para as considerações subsequentes sobre a disposição do complexo elétrico dos veículos motrizes.

40.4.1. Considerações gerais

Em geral a potência instalada em veículo motriz deve ser aproveitada ao máximo para que haja real cumprimento de suas funções operacionais. Como a potência é proporcional ao produto da velocidade mais força de tração, se a potência for constante, a força de tração a ser aplicada é grande em pequena velocidade e pequena em grande velocidade. Os dispositivos de comando e de manobra dos sistemas de tração devem ser escolhidos de maneira a se conseguir o mais alto grau de rendimento possível da capacidade de tração em cada uma das etapas de aceleração, por meio de perfeita adaptação às exigências do serviço. Esta exigência tem limitações físicas nas etapas de baixa velocidade onde é aplicada grande força de tração, devido ao alto coeficiente de aderência entre roda e trilho. A tração elétrica oferece boas possibilidades de adaptação às exigências operacionais ferroviárias, pois nas sobrecargas momentâneas do motor nas partidas e subidas, o limite de sua capacidade, imposto pelo aquecimento do motor, não é ultrapassado. Essa qualidade de excitação em série concorre para uma operação mais suave. De acordo com as considerações feitas no capítulo 13.2., foi escolhida corrente contínua de 750 V para o Metrô de São Paulo. Com este tipo de corrente elétrica há um motor de corrente principal que se adapta perfeitamente às características funcionais de uma ferrovia e cujas correntes de partida são graduadas pela intercalação de resistências.

O sistema de comando elétrico encarrega-se, na execução das manobras, de garantir o acordo perfeito entre as diferentes possibilidades elétricas e as exigências operacionais.

Da mesma maneira que para a partida, podem os dispositivos elétricos ser utilizados também para a frenagem da unidade elétrica, instalando-se corretamente as

respectivas chaves de comando e dispondo-se convenientemente as diferentes peças desses dispositivos.

Nas manobras da aparelhagem elétrica dos carros motrizes deve-se considerar o que segue:

No caso de um carro motriz equipado com pelo menos dois motores de tração, pode-se, no intuito de reduzir o coeficiente de perda, ligar em série primeiramente as resistências de arranque de ambos os motores até a metade da tensão da rede, repartindo assim o trabalho improdutivo das resistências. Liga-se então os motores em paralelo e passa-se gradativamente pelas resistências cada vez mais fracas, até se obter a voltagem total da rede. Para aumentar o número de rotações, usualmente é feita atenuação de campo nas bobinas de excitação dos motores. As etapas de shuntagem, assim como as etapas correspondentes de agrupamento por ligação de resistências, dispostas em sequência, constituem as etapas de marcha econômica. As outras são as etapas de regulação que devem possibilitar uma passagem mais ou menos contínua entre cada uma das etapas de marcha econômica. As distâncias relativamente curtas entre as paradas dos transportes urbanos exigem a maior aceleração que os passageiros possam suportar sem incômodos, para atingir a velocidade de marcha ideal. Isto só pode ser obtido com tração em todos os eixos do carro motriz. Para isto há a possibilidade de se instalar um motor separado para cada eixo, ou então impulsionar dois eixos com um só motor por meio de transmissão adequada.

O número de ligações possíveis para atingir as etapas de marcha econômica é determinado pelo número total dos motores e pelo número de motores que devem permanecer ligados em série. Pode-se escolher a melhor disposição entre os diversos agrupamentos apresentados na figura 40.21.

Para o Metrô de São Paulo o 3.º grupo com 8 motores da figura 40.21 foi considerado o mais adequado, por comportar o menor número de elementos de ligações, amoldando-se assim às exigências de uma construção leve.

No interior deste grupo de motores faz-se as comutações graduadas, necessitando-se, somente de um elemento auxiliar para a atenuação de campo para cada 2 campos de motores.

Em veículos de vários motores, as resistências de partida são divididas em dois grupos, de maneira que no agrupamento em paralelo é ligada uma resistência de cada vez em cada um dos grupos. Esta disposição possibilita a adaptação, sempre que necessário, de condutores de compensação para neutralizar assimetrias nos motores.

O reagrupamento dos motores de tração de um carro motriz tem um número limitado de etapas de marcha econômica. Pela atenuação de campo dos induzidos consegue-se, contudo, aumento do número de rotações sem apreciáveis perdas suplementares.

Com motores em série dotados de condutores de compensação, os quais são comumente empregados em veículos de transportes urbanos, é possível obter-se uma atenuação de até 25% do total do campo. Efetua-se assim uma regulação da velocidade até cerca de 70% da velocidade final. Subdivide-se essas diferentes etapas de velocidade em três ou quatro graus de atenuação de campo, obtendo-se assim uma aceleração sem solavancos.

Pela comutação de seus campos, os motores de tração, nos casos de energia cinética suficiente da massa do carro, operam como geradores.

Caso se debite tanta energia dos geradores sobre a rede ou sobre resistências ôhmicas que a energia cinética comece a se consumir, obtém-se uma força de deceleração capaz de quase parar o veículo. Consegue-se assim uma substancial economia dos elementos mecânicos dos freios pneumáticos.

São as seguintes as duas possibilidades até hoje aplicadas como dispositivo de frenagem elétrica:

- Freio reostático de auto-excitação
- Freio reostático de excitação independente.

Grupo	Número total de motores					Legenda
	2	4	6	8	12	
I	a	1	1	1	1	a) Números de grupo em paralelo
	b	2	4	6	8	
	c	1	1	1	1	
	d	2	4	6	8	
	e	1	1	1	1	
II	a	2	2	2	2	b) Número de motores em série para um grupo
	b	1	2	3	4	
	c	1	1	1	1	
	d	1	2	3	4	
	e	1	1	1	1	
III	a	4	3	4	3	c) Voltagem por motor como parte de voltagem do 3.º trilho
	b	1	2	2	4	
	c	1	1	1	1	
	d	1	2	2	4	
	e	1	1	1	1	

40.21

Cidade	Velocidade de frenagem em nível	Carga por trem t	max. número de trens/h	Distância média entre estações	Desempenho de frenagem Watt.h h.m
São Paulo	80	306	40	890	1930
New York	80	508	36	800	3114
Montreal	80	344	40	1000	1871
Toronto	80	279	25	670	1413
Paris	70	192	33	590	1140
Berlin	80	200	30	750	1100

40.23

Fundamentalmente nos freios elétricos é exigida uma força de frenagem aproximadamente constante para se ter uma deceleração constante. A capacidade dos freios elétricos é consideravelmente maior do que a capacidade de aceleração, pois nos veículos de transporte urbano, o consumo de corrente por hora é fixada sobre 1/3 da velocidade máxima e correspondente, no caso, à voltagem nominal do motor. Ao se frear, portanto, em velocidade máxima, a voltagem nas terminais do motor é três vezes mais alta do que na partida. Na fixação da capacidade do motor, essas condições devem ser consideradas desde o início.

A atuação dos freios reostáticos de auto-excitação baseia-se no magnetismo remanescente existente no motor em movimento, o qual em determinada velocidade de rotação e em determinado coeficiente ôhmico da resistência externa provoca a auto-excitação.

A força de frenagem existente depende sempre da velocidade e da resistência de frenagem aplicada. Reduzindo-se a resistência de frenagem aumenta a força de frenagem, e com a redução da velocidade com a mesma resistência, diminui a força de frenagem. Caso deva a força de frenagem permanecer constante, será necessário reduzir proporcionalmente a resistência de frenagem até atingir finalmente o valor 0 em velocidades pequenas ou seja, até que o motor esteja funcionando em curto circuito como gerador de corrente principal.

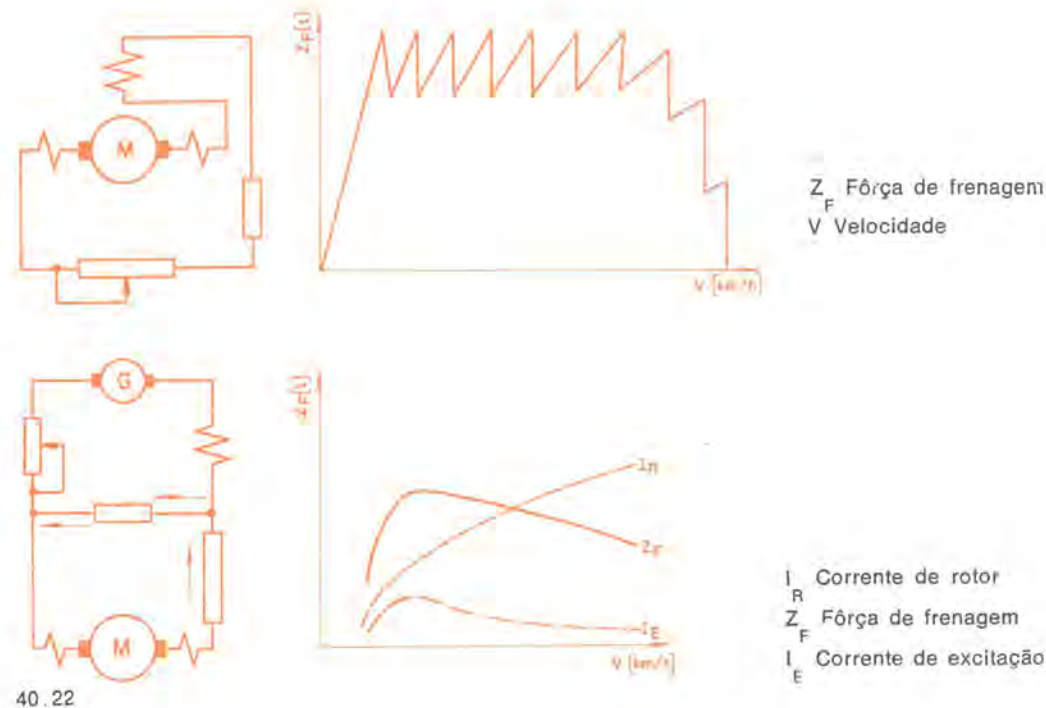
O esquema de ligação e o gráfico dos freios reostáticos de excitação própria são apresentados na figura 40.22/I. Observa-se que na maior parte das

vêzes a resistência de partida é utilizada igualmente como resistência de frenagem.

Quanto ao freio reostático de excitação independente, sua corrente excitadora é proveniente de uma fonte separada, geralmente de um pequeno gerador de corrente contínua ou de uma bateria. Neste caso faz-se a ligação em paralelo de uma chamada resistência de acoplamento ao induzido do motor de corrente principal. Esta resistência efetua automaticamente o acoplamento de ambos os circuitos elétricos, de tal maneira que a excitação é baixa quando a corrente do induzido é alta e alta quando a corrente do induzido é baixa.

Assim pode-se obter forças de frenagem praticamente constantes em um vasto campo de velocidades, sem que seja necessária comutação ou regulagem remota do circuito elétrico induzido. Com a variação da tensão excitadora de frenagem por meio de resistências intercaladas graduadas, pode-se conseguir diferentes forças de frenagem. Em comparação com o freio de auto-excitação, o freio reostático de excitação independente apresenta as seguintes vantagens:

- Delimitação nítida das forças de frenagem
- Regulagem automática dessas forças
- Delimitação exata da tensão de frenagem aplicada devido ao racionamento da excitação independente
- Frenagem mais rápida e segura devido à excitação totalmente



40.22

Fig. 40.21
Possibilidades de conexão de motores em grupo

Fig. 40.22
Características de frenagem reostática e recuperação

Fig. 40.23
Consumo unitário de energia de frenagem por metro (m) de via em $\frac{W \cdot h}{h \cdot m}$; — Valores comparativos

independente do magnetismo remanescente dos motores.

e) Disposição dos comutadores simplificada

f) A possibilidade de operar com menor número de estágios de frenagem.

Em contraposição com estas vantagens há a despesa suplementar de uma fonte de eletricidade para excitação separada e que deve ser de aproximadamente 1 a 1 1/2 kW. A possibilidade de captar essa energia da rede não é tomada em consideração, pois em caso de falta de energia, o freio não estaria mais em condições de operar. Com o freio reostático de excitação independente é possível reduzir a velocidade até cerca de 20 km/h.

Em seguida faz-se uso do freio reostático de auto-excitação (freio de curto circuito), ligam-se as resistências de partida sem etapa de resistência adicional no circuito elétrico e obtem-se, pela redução graduada das resistências, uma deceleração que se aproxima da imobilização (Fig. 40.22/II).

A tendência de dotar um metrô moderno de grandes velocidades de marcha e de compartimentos maiores e mais confortáveis, implica também em maiores capacidades de tração e de frenagem.

Enquanto na partida a energia elétrica é transformada quase que exclusivamente em energia mecânica, na frenagem toda a energia cinética existente no trem é transformada em calor. Esse calor é bastante intenso, sobretudo nos trechos em declive, onde deve ser aplicada uma frenagem

suplementar, a fim de reduzir a velocidade. Para se ter uma idéia da capacidade de aquecimento, pode-se consultar os dados comparativos referentes à quantidade de calor produzido nas horas de pico, em alguns metrô (Fig. 40.23).

A dispersão desse calor por meio de instalações de climatização e de ventilação implica em despesas bastante grandes. Pode-se portanto pensar na instalação de uma resistência de frenagem fora do túnel e executar as operações de frenagem sobre o terceiro trilho ou sobre um trilho especial de frenagem por meio dessa resistência, reduzindo assim a produção de calor no túnel. Como a resistência de partida e de frenagem em curto circuito é obrigada a permanecer no veículo, essa resistência de frenagem constituiria uma instalação suplementar. As possibilidades de construção e o preço de custo teriam influência decisiva na escolha da técnica a ser adotada para a dispersão desse calor.

40.4.2. Comando

O comando de uma unidade elétrica envolve todos os equipamentos destinados à modificação da rotação e do conjugado de um motor de tração. O comando deve ser executado de tal forma, que o carro tenha uma aceleração rápida, contínua e com o mínimo de perda de energia. Os motores devem receber uma corrente aproximadamente constante. A velocidade de rotação dos motores, e portanto a velocidade da marcha modifica-se no momento da partida em proporção com a tensão respectiva dos terminais.

Fig. 40.24
Esquema principal proposto — Diagrama I

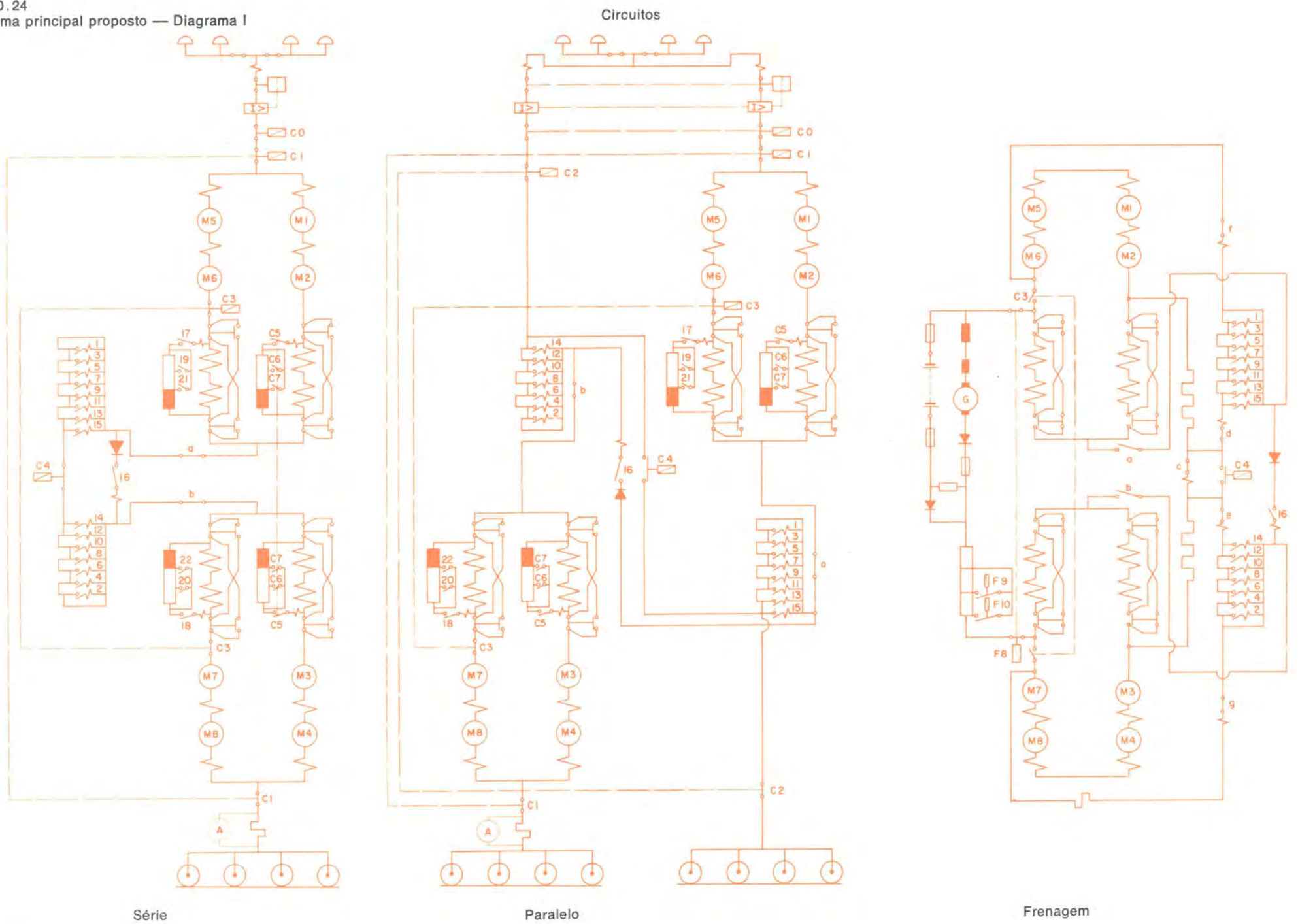
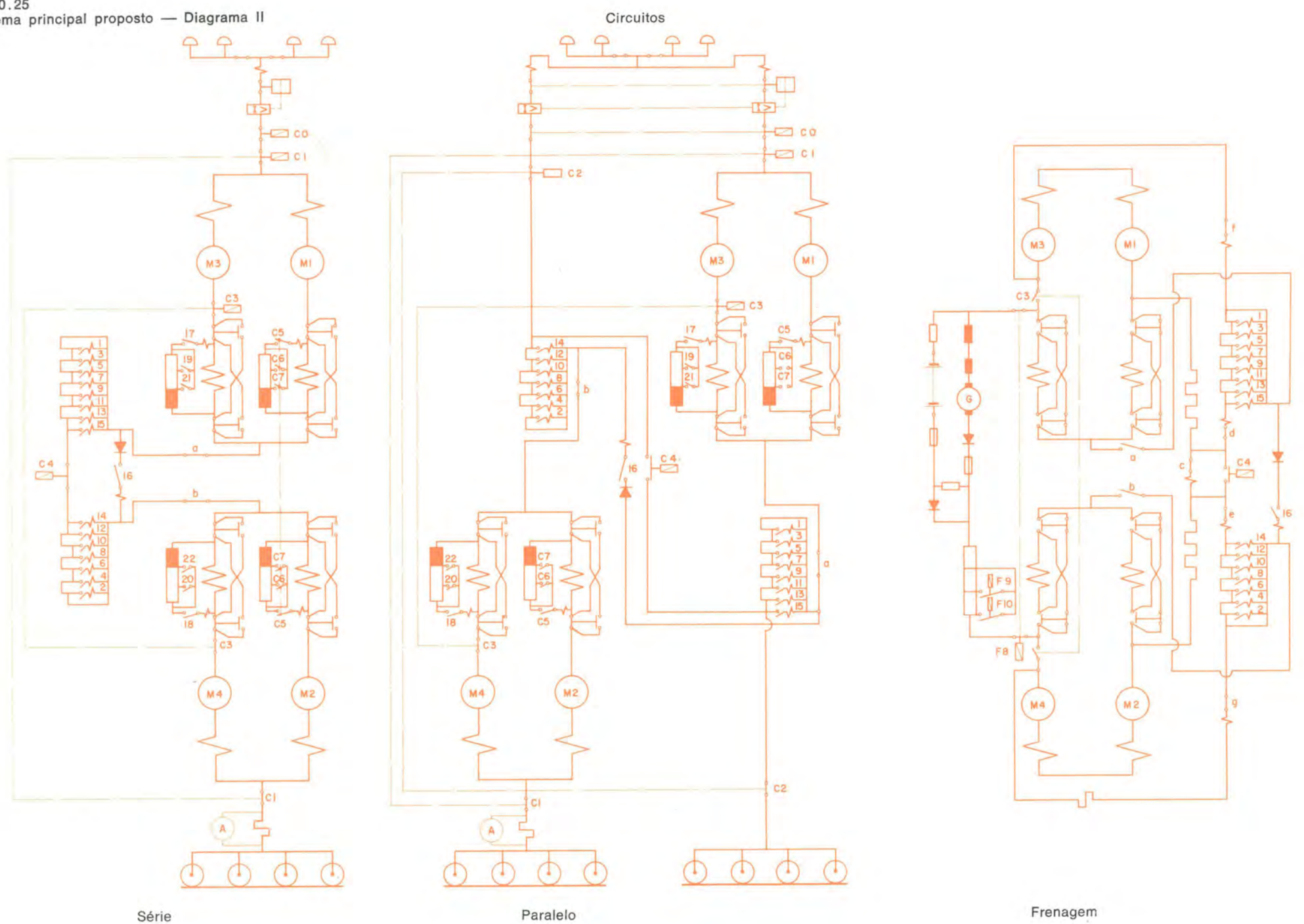


Fig. 40.25
Esquema principal proposto — Diagrama II



A constância da corrente e a variação de tensão dos terminais durante a partida são garantidas pela intercalação de resistências que vão sendo desligadas por dispositivos de comando automático à medida que aumenta a velocidade.

Os comandos usuais para carros motrizes são:

o comando por contadores, o comando por chave de cames e o comando eletrônico por impulsos (chopper control). Todos os tipos de comando serão reunidos em um comando múltiplo e dirigidos de um posto de comando central.

O comando serve tanto para a partida como para os freios elétricos.

40.4.2.1. Comando por contadores

Relés eletropneumáticos ou eletromagnéticos são os principais elementos de um comando por contadores. Dada a sua capacidade de condução de corrente podem esses relés ser utilizados em todos os casos apresentados nas operações de veículos elétricos. Os contadores do comando são montados sobre uma armação, e a comutação é feita com ar comprimido agindo sobre um cilindro existente junto ao relé ou então por meio de uma bobina magnética. O comando é construído de tal forma que os relés só são acionados após sua liberação por parte de um regulador de corrente.

Um bloqueio efetuado por uma chave de cames auxiliar, impede manobras erradas.

Para comandos automáticos, como os que serão necessários para as operações do metrô, não são utilizados comandos por contadores, pois suas manobras, ligações e agrupamentos são muito lentas.

O peso e dimensionamento são sensivelmente superiores, pois como são comandados individualmente, não podem ser construídos de forma compacta.

40.4.2.2. Comando por chave de cames

A manobra da chave de cames é operada diretamente por meio de um excêntrico. A sequência dos contatos é efetuada pelos ressaltos de um eixo excêntrico.

Assim são evitados os diferentes contatos individuais de acionamento ou de bloqueio do comando por contactores. A construção compacta da chave de cames limita sua capacidade de comutações.

A intensidade do campo magnético de sopro, determinado pela intensidade da corrente, reduz as possibilidades de construção, devido a necessidade de se evitar a formação de faíscas.

O acionamento do tambor excêntrico é feito por meio de um servomotor com um sem fim e dispositivo para desligar.

O servomotor é acionado por meio da tensão de comando. Ele recebe suas ordens de liga-desliga através de controles montados na chave de cames.

O controle elétrico do avanço é feito, como para o comando por

contactores, por meio de um regulador automático de corrente.

Um dispositivo de levantamento possibilita a comutação rápida de "marcha" para "frenagem" a partir de qualquer estágio de marcha em que se encontre a chave de cames. A chave de cames é um dos equipamentos principais de comando, mais empregados em metrô. Com as chaves de cames até hoje conhecidas pode-se efetuar ligações de corrente de cerca de 500 A.

40.4.2.3. Comando por impulso (chopper control)

Nos últimos anos a técnica dos transistores tem encontrado vasto campo de utilização em carros motrizes elétricos. No início seu emprego limitava-se aos veículos de corrente alternada onde se aproveitava sua capacidade de retificação de corrente alternada praticamente sem perdas.

O fato de que o transistor (chamado tiristor) incorporado ao circuito de corrente continua trabalha, sem perda de corrente, com tempos de liga-desliga extremamente curtos, constitui a base fundamental do desenvolvimento do comando por impulsos. Seu campo de utilização limitou-se por muito tempo a veículos movidos por bateria. Ultimamente fizeram-se experiências também com veículos de metrô. Com este tipo de comando pode-se dispensar a instalação de resistências de partida. O tiristor substitui no comando por impulsos os contactores dos comandos convencionais. Sua função física é baseada no efeito de retificação de corrente. Quatro camadas diferentes de monocristais de silício (semicondutores) são dotados de átomos estranhos de tal maneira que pela aplicação de uma tensão torna-se possível a transmissão elétrica. De acordo com o potencial existente no ânodo ou no cátodo do retificador, este atua como condutor ou como interruptor da corrente. Na prática aplica-se em uma das duas camadas centrais uma tensão direcional que atua sobre os condutores de maneira a transformar o retificador de interruptor em condutor. Sua condutibilidade é suspensa sob a ação de uma tensão contrária (chamada de comutação). Esta ação é necessária, pois do contrário, com a exclusão da tensão direcional, a condutibilidade continuaria ininterruptamente. Comutadores apropriados sobre eixos de rotação livre asseguram o efeito de comutação. O tiristor, como elemento comutador estático, tem duração quase ilimitada de funcionamento ativo. O modo de operar de um comando por impulso com tiristor é tratado no capítulo 40.4.4.4.

40.4.3. Circuito de corrente principal

No intuito de se limitar a corrente durante a partida, são ligadas resistências nos circuitos dos motores de tração, as quais são desligadas gradativamente por meio de manobras da chave de cames.

Para o caso de São Paulo a graduação das resistências será dimensionada de tal forma que não haja solavanco superior a 0,7 m/s³.

A fim de reduzir a perda de energia na partida, está previsto o agrupamento dos motores em série e posteriormente em paralelo.

A partida uniforme atinge uma aceleração de 1,35 m/s², com uma corrente de 230 A por motor. Para reduzir ainda mais a perda durante a partida, faz-se uso da atenuação de campo dos motores, prevendo-se para tanto 3 a 4 etapas regulares de atenuação. (Fig. 40.24)

O esquema de circuito de corrente de alta intensidade I prevê uma ligação clássica com motores de meia tensão. O arranque dos motores com esse circuito seria possível, por meio de resistências de equipamento de manobra em todos os 8 motores, os quais, repartidos em partes iguais nos dois carros, operando como uma só unidade. Com essa ligação a corrente motriz é duplicada pelos motores de meia tensão, de maneira que cerca de 920 A devem ser absorvidos pelos equipamentos de manobra e pelas resistências. Caso não se preveja comandos por contadores, que não são, em geral, usados como equipamento de metrô porque ocupam muito espaço, seria necessário desenvolver provavelmente chaves de cames apropriadas, pois as correntes máximas em instalações até hoje conhecidas destas chaves não ultrapassam a capacidade de aproximadamente 500 A (Fig. 40.25).

Outra solução é apresentada pelo esquema de circuitos de corrente de alta intensidade II.

Aqui cada carro tem seu próprio equipamento elétrico. Os motores são de tensão total, com 230 A de corrente de partida. As resistências de arranque e os equipamentos de manobra têm portanto, neste caso, apenas 460 A a absorver.

O peso total dessa instalação repartida entre dois carros é um pouco maior, pois comporta duas chaves de cames.

Em ambas as soluções propostas, as manobras podem ser executadas a partir de uma cabine de comando, de sorte que os dois carros continuam sendo considerados como uma única unidade elétrica. Como no Metrô de São Paulo só deveriam ser utilizados elementos perfeitamente experimentados, deveria ser-lhe indicada a aplicação do esquema II.

No caso, deve se levar em conta que, em todos os equipamentos de manobra a tensão em série eleva-se a 1.500 V.

A figura 40.26 mostra um exemplo de chave de cames acionada por motor elétrico, com dispositivo de levantamento dos contatos para quatro motores de 750 V, 150 kW.

Chave de cames deste tipo são utilizadas comumente em metrô, e são encarregadas das seguintes funções:

— Desligamento gradativo das resistências de partida, quando operando com ligações em série;

— Reagrupamento da ligação dos motores de tração, e das resistências na passagem de ligação em série para ligação em paralelo;

— Desligamento gradativo das resistências de partida, quando operando com ligações em paralelo;

— Desligamento gradativo das resistências shunt e ôhmicas quando operando com ligações em paralelo;

— Desligamento gradativo do circuito de frenagem.

A sequência da chave de cames estende-se sobre uma revolução completa de tambor de ressaltos, portanto, sobre 360°. O esquema abaixo proporciona uma visão de tal sequência para uma chave de cames comportando 23 estágios de marcha e 12 de frenagem. (Fig. 40.27)

Na parte de corrente de alta tensão são instalados disjuntores de corrente de comando que igualmente são acionados pelos tambores com ressaltos. Esses tambores de ressaltos recebem o comando da cabine e executam os comandos por meio de combinações de relés. Para inverter rapidamente da posição "marcha" para a posição "frenagem", essa chave de cames dispõe de um dispositivo de levantamento eletromagnético dos contatos. Independentemente da posição de "marcha" em que se encontra o tambor da chave de cames, esse dispositivo, ao receber uma ordem de frenagem, abre todos os disjuntores necessários para efetivação da frenagem comandada. Como as resistências de partida são utilizadas igualmente para o freio elétrico, a chave de cames tem por função, durante a frenagem em curto-circuito, desligar gradativamente as resistências de frenagem. Para a inversão de direção de marcha, bem como para o reagrupamento dos motores da posição "frenagem", um inversor de direção encarrega-se das ligações de marcha-ré e marcha-avante, ao passo que um inversor de freio de serviço faz o reagrupamento de marcha para frenagem. Como esses dois inversores operam sem carga, podem eles ser empregados sem dispositivos de sopro magnético, sem câmaras de faíscas.

As resistências de marcha e frenagem para o arranque dos motores de serviço, nas ligações em série e em paralelo, bem como para a absorção das energias geradas nas frenagens operacionais, são instaladas como resistências de ventilação independente. As fitas de resistência são montadas sobre isolantes cerâmicos resistentes ao calor.

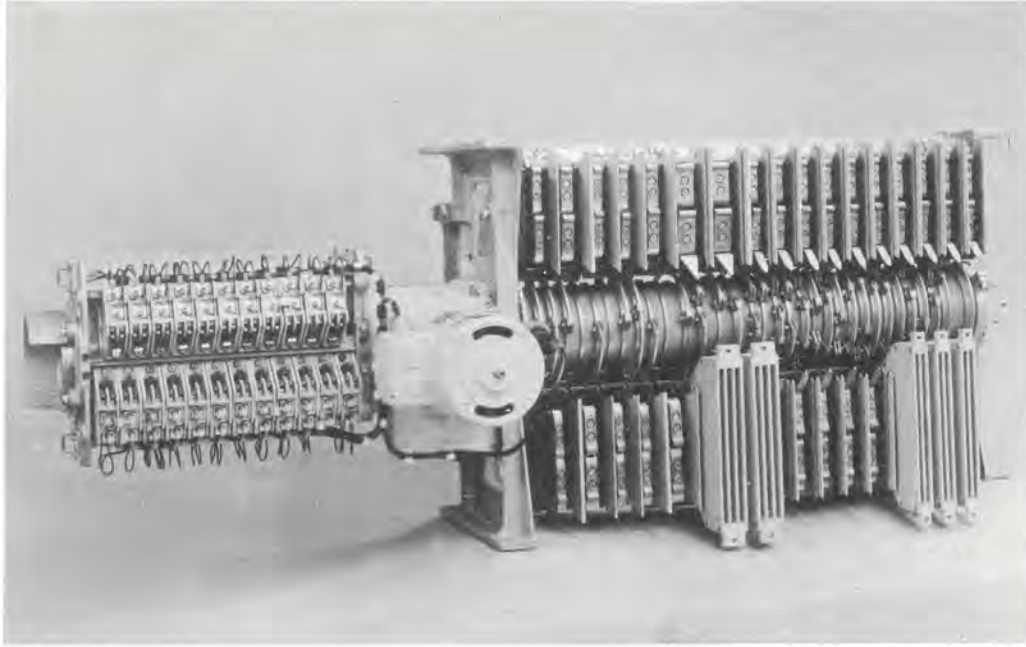
A temperatura da superfície externa do material das resistências sobe a cerca de 450°C. As resistências são dimensionadas de tal forma que em caso de falha da ventilação seja possível no mínimo uma frenagem completa. Nos truques situados em cada uma das duas extremidades de uma unidade elétrica, há coletores de corrente para o 3.º trilho, os quais são operados, em geral, por meio de ar comprimido. Após o contato, a pressão é mantida por intermédio de molas.

O desligamento é feito igualmente por meio de ar comprimido e o coletor volta automaticamente para a posição de repouso. Além do ar comprimido, o coletor pode ainda ser operado manualmente.

40.4.4. Circuito elétrico de corrente de comando

40.4.4.1. Comando automático convencional

O comando automático convencional é construído de tal maneira que todo o programa de marcha ou de frenagem transmitido ao veículo ou iniciado pelo maquinista, pode desenvolver-se inteiramente sem interferência complementar. Para tanto existe na cabine de comando uma chave mestra com:



40.26

alavanca chave mestra
alavanca pré-seletores
alavanca do freio.

Conjugado com a alavanca da chave mestra há um dispositivo de segurança (dispositivo de "homem morto") que reage sobre os comandos:

"liga" (destravamento dos freios)
"desliga" (aplicação do freio de emergência)

A própria alavanca comanda:

a aceleração
desligamento, sem solavancos da aceleração
(retrocesso da chave de cames)
marcha por inércia

Na posição de "aceleração" possibilita a execução da operação de partida até a velocidade máxima. Na posição "desligamento sem solavancos da aceleração" permite uma interrupção sem solavancos da aceleração, de maneira que ao se processar o retrocesso da chave de cames, a resistência de partida é novamente intercalada no circuito, antes dos motores.

Na posição de comando "marcha por inércia" permite, uma vez atingida uma velocidade máxima dependente da distância do trecho, a operação em marcha econômica (rolamento sem corrente elétrica). A alavanca pré-seletores compreende as seguintes posições:

marcha-ré (manobrar)
"zero" — neutro
Ligação do serviço auxiliar
marcha avante (engatar)
marcha avante (manobrar)
marcha avante (em série)
marcha avante (paralelo shunt).

Com a alavanca pré-seletores é possível preestabelecer os programas desejados, os quais são executados automaticamente mediante o acionamento da alavanca da chave mestra.

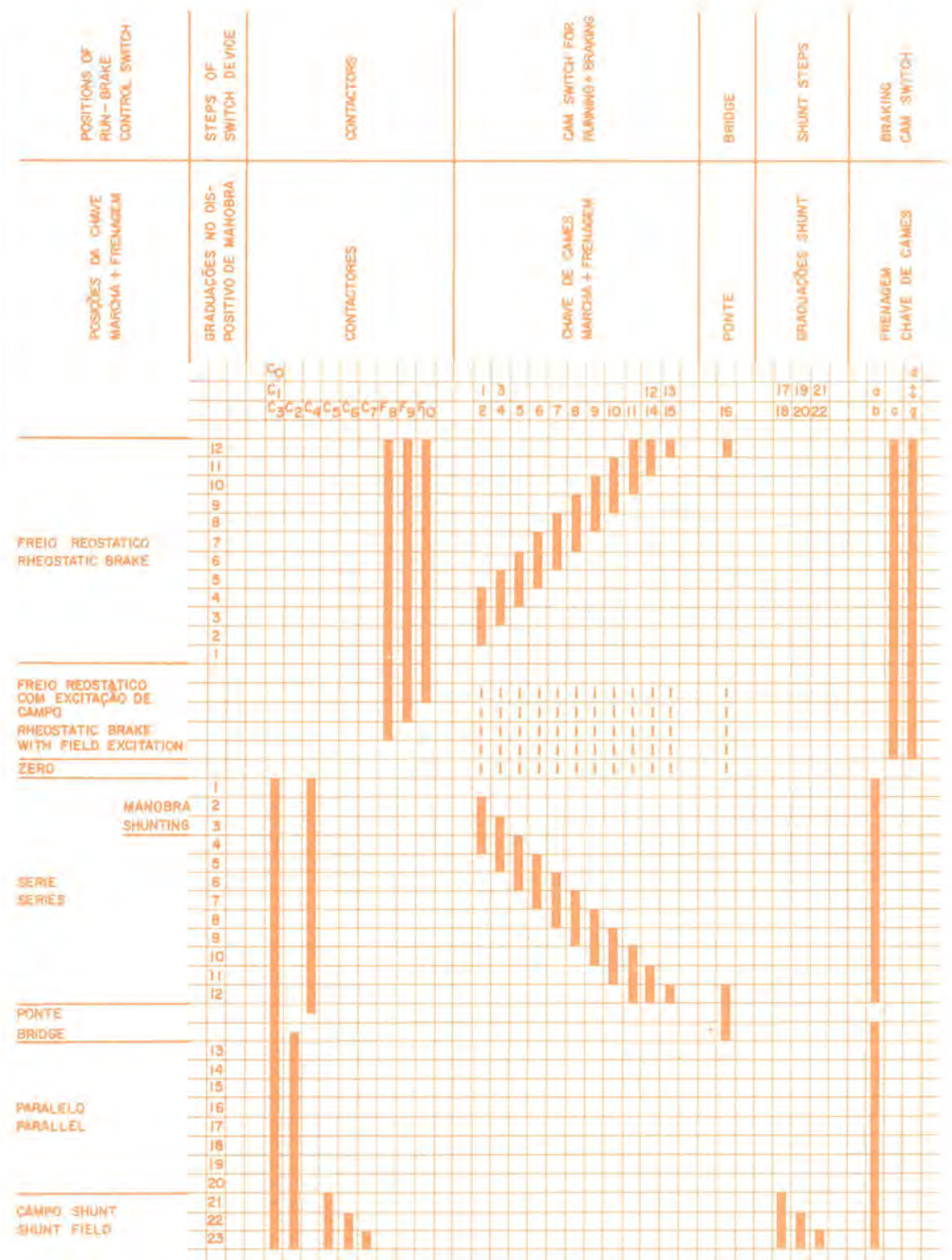
As posições "marcha-ré" (manobrar) e "marcha-avante" (engatar) possibilitam a movimentação da chave de cames em apenas um pequeno estágio, de maneira que a maior parte das resistências permanece no circuito dos motores.

Na posição "série" os motores permanecem ligados em série, ficando a velocidade à metade.

Na posição "paralelo shunt" é possibilitada a execução completa do programa.

Fig. 40.26
Combinador para controle de Metrô

Fig. 40.27
Seqüência de controle



40.27

A alavanca de freio de serviço serve como freio automático e o seu acionamento possibilita o respectivo programas.

Suas posições são:
— "zero" = neutro
— destravar (freio de estacionamento)
— marcha
— estágio de frenagem elétrica (4 estágios)
— estágio 4 de frenagem elétrica com freio a ar
frenagem a ar comprimido
freio de estacionamento

A posição "zero" assegura a separação entre comando de marcha e comando de frenagem.

A posição "destravar" libera o freio de estacionamento. A força de frenagem é dada pela escolha do estágio de frenagem. No último estágio de frenagem elétrica entra em ação um freio automático de estacionamento, na forma de um freio com mola.

As frenagens a ar possibilitam uma frenagem eletropneumática, que se sobrepõe à frenagem elétrica, e uma frenagem de emergência.

A disposição de comando é tal que as ordens enviadas a partir da cabine chegam simultaneamente a todos os seis carros de uma composição através das linhas de comando do trem.

As cabines de comando não ocupadas são bloqueadas, para que não haja manipulações involuntárias dos comandos.

Um regulador de corrente controla a seqüência do avanço automático da chave de cames. Esse regulador só

libera o estágio seguinte, quando a corrente por ele controlada atinge novamente seu limite inferior.

A atuação conjunta do circuito da corrente principal e do circuito de corrente de comando, pode ser observada no plano de circuito geral "comando" (Fig. 40.28).

40.4.4.2. Comando automático e eletrônico de trens

Caso seja adotado o comando acima descrito (item anterior), é possível desenvolver um comando automático, onde as informações são transmitidas através de sistema de condução contínua (Cap. 23) até o carro. Um dispositivo automático do carro recebe essas informações e as transforma em tensões de comando.

Mesmo em um comando automático, caracterizado pelo fato do maquinista limitar-se à função de observador, ou em dar início à seqüência automática do programa, o equipamento de comando convencional tem sua importância. Possibilita a continuação das operações, caso haja perturbações no programa do sistema automático. Serve ainda para percursos experimentais ou de teste, necessários após a execução de reparos ou depois de alguma manutenção.

Uma linha, no início das operações do metrô, não tendo ainda recebido as instalações para o funcionamento automático, poderá ser utilizada normalmente por meio do equipamento de comando convencional.

O sistema automático de comando recebe e transmite as ordens através

das três alavancas da chave mestra, da mesma maneira, aliás que no comando automático tradicional, e as executa automaticamente. Apenas o início de um programa dar-se-á no momento em que o maquinista aciona o botão de partida.

As decisões sobre acelerações, desligamentos livres de solavancos (retrocesso da chave de cames), e marcha por inércia, são tomadas por um regulador de velocidade. Ao atingir a respectiva velocidade, o sistema passa automaticamente ao comando seguinte.

As linhas de comando para o serviço auxiliar são ligadas através de um contactor, simultaneamente com as ligações para "operação automática".

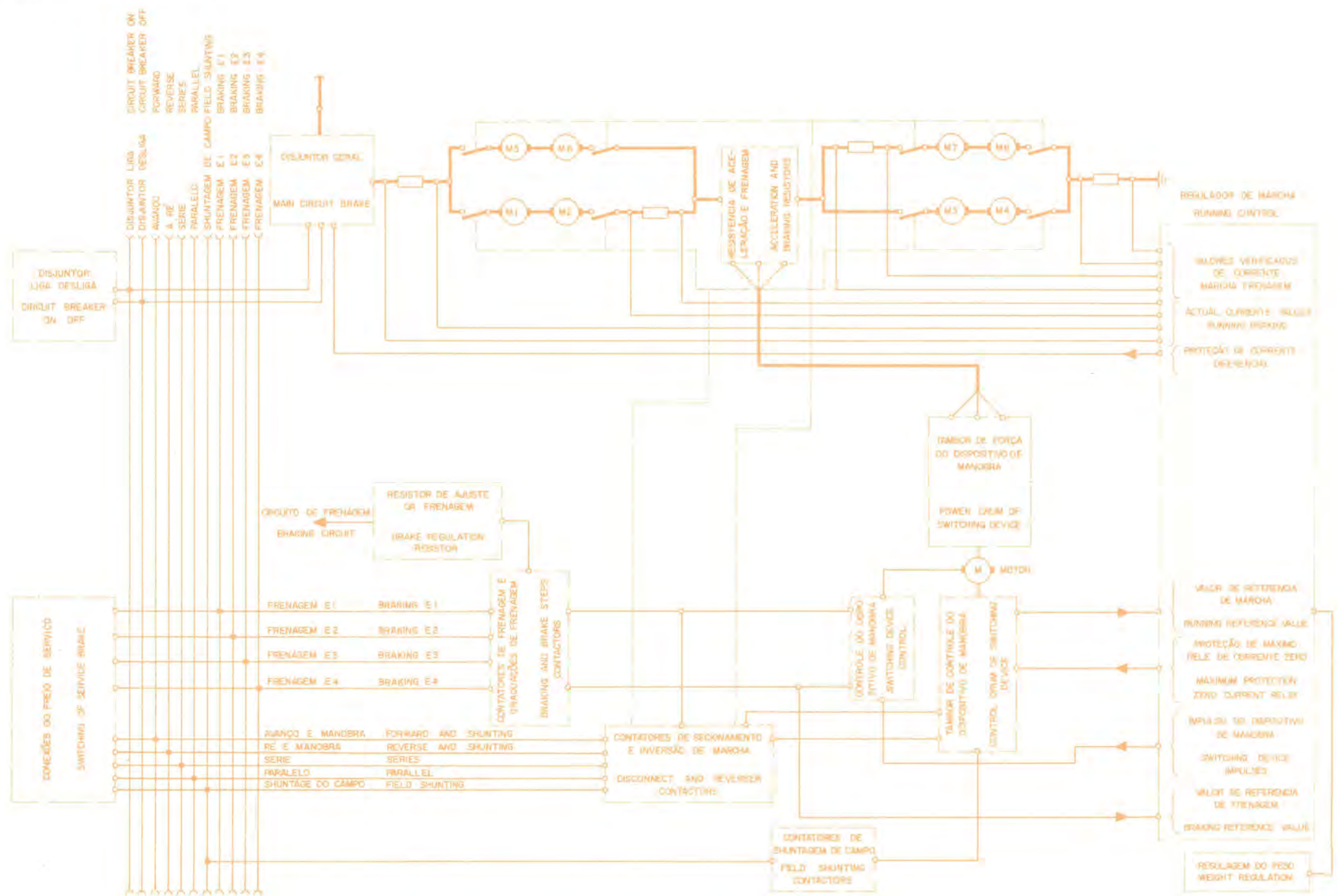
A direção da marcha é preestabelecida na cabine em operação. Em princípio, da cabine de comando em operação, só pode ser utilizada marcha avante, quando estiver ligado o sistema de "operação automática".

No que se refere aos comandos da alavanca de freio da chave mestra, o sistema automático só executa os comandos referentes às funções marcha, estágios de frenagem elétrica e freio de estacionamento.

O acionamento do freio de emergência não é influenciado pelo programa executado automaticamente, por razões técnicas de segurança. O freio de emergência entra em ação quando, por exemplo:

- a velocidade instantânea é maior que
- a velocidade limite,
- há interrupção dos sinais da linha,
- há perturbação no sistema

Fig. 40.28
Circuito de controle para 2 carros com
8 motores



40.28

— ou há perturbação no sistema automático de serviço no carro.

É necessário ainda que o freio de emergência possa ser operado pelo maquinista, caso este observe obstáculos de qualquer natureza na linha.

É preciso também que seu acionamento possa ser feito a partir do salão dos passageiros.

O funcionamento de um comando automático eletrônico, podendo ser adotado no Metrô de São Paulo, pode ser descrito da seguinte maneira, de acordo com o esquema da figura 40.29.

1) Colocação do carro em condições de operar.

Deve-se pressupor antes de tudo que o carro se encontra em um trecho com sinais de linha e sem nenhuma cabine de comando ligada.

Ao ser desligado pela última vez o carro, o relé "ponte" sobre o freio de mola foi excitado através dos contatos "interruptor a chave, automático, desligado" e "carro parado", e o mesmo mantém-se a si mesmo através de um contato, até que um dos "interruptores a chave, automático" da unidade elétrica for colocado em posição de operação. O segundo contato do relé "ponte" sobre o freio de mola providenciará que o controle automático continue atuando sobre o freio de emergência. Este relé permite o estacionamento do carro com tensão de comando ligada, sem que haja a descarga da tubulação do freio.

Nas várias unidades elétricas acopladas que compõem o trem (2 ou 3 unidades) os equipamentos do

sistema automático estão desligados. Como o relé "ponte" só é desligado ao ser acionado o "interruptor a chave, automático" fica assegurado que o freio de emergência somente poderá ser destravado a partir da cabine de comando, em operação.

O sistema de operação desejado, só é determinado a partir da cabine de comando em operação. As demais unidades elétricas do trem, acompanham os comandos, através das linhas de comando, independente do sistema de operação. Ao ser acionado o "interruptor a chave, automático" é determinado o sistema de operar (marcha por sinais fixos, marcha automática) e colocado o carro em condições de operar.

Caso a marcha em seguida, deva ser automática, o "interruptor a chave, automático", é colocado na respectiva posição. Se o interruptor for retirado da posição neutra "Zero", a excitação do relé "ponte" é desligada e o destravamento do freio de emergência é assumido pela aparelhagem de comando automático do carro.

Para assegurar que o carro só inicie a marcha quando a ligação do freio de mola estiver desfeita, o relé "ponte" é controlado quanto ao desligamento.

Como será visto adiante, a possibilidade de ser dado um comando de partida, depende do desligamento deste relé. Quando a posição "automático" do interruptor é alcançada, três contatos são fechados, os quais, de acordo com a cabine "a" ou "b", determinam o sentido da marcha, e respectivamente possibilitam a ligação dos serviços auxiliares através do contator d 1.

O inversor de direção só é colocado na respectiva posição (ligação dos relés d 2 e respectivamente d 3) quando o relé d 17 (aceleração/marcha) já tiver sido acionado. Dois contadores do interruptor a chave, definem para a aparelhagem de comando automático o sentido desejado de marcha.

2) Partida

Para a partida, além da indicação da velocidade permitida, ainda deve ser feita a indicação de marcha, como comando para a partida (opcionalmente, através da linha ou da cabine de comando do carro).

O início de um programa automático é dado pelo acionamento do botão de partida. Este somente atua, na cabine de comando em operação, com o carro parado, e após o recebimento da liberação de marcha, através de sinais da linha.

A indicação de "marcha" é mantida até a parada seguinte do carro. Evita-se assim uma partida automática caso o carro faça uma parada não programada (por exemplo: ao ser interrompida e restabelecida a tensão do 3.º trilho).

O comando "partida" excita o contator d 14 destravando o freio de estacionamento.

3) Aceleração e marcha primeira

A indicação de "marcha" o relé d 17 permanece excitado enquanto a velocidade real for inferior à velocidade teórica desejada. Uma vez esta atingida, o relé d 17 é desligado e comanda o retorno da chave de cames (com desligamento sem solavancos).

O desligamento corresponde a uma velocidade mais alta que a velocidade de ligar novamente. O instante de ligar novamente (70% da velocidade desejada) é escolhido de tal forma que em distâncias normais entre estações (até 1000 m), após ser atingida a velocidade teórica desejada, não será mais necessário ligar novamente, até a próxima parada.

Consegue-se assim um percurso com aceleração — marcha por inércia — e frenagem, econômicas. Independentemente da velocidade momentânea a religação é vedada sempre que for iniciada uma frenagem.

Os estágios da chave de cames são pré-selecionados em dependência da velocidade final desejada, a ser atingida pelo carro (contadores d 5, d 6, d 7).

4) Frenagem

Para a seleção dos estágios de frenagem dispõem-se dos contadores d 8 a d 13.

a) Frenagem em declives

De acordo com a programação, o freio elétrico é solicitado nos trechos em declive quando o carro atinge 95% da velocidade máxima. Será selecionado o estágio de frenagem que evite a necessidade do uso do freio de emergência.

b) Frenagens de destino nas estações e nos trechos de marcha lenta.

A regulagem da frenagem de alvo é iniciada quando a composição deve parar antes de um trecho bloqueado ou junto às plataformas, ou quando a velocidade não deve ultrapassar um determinado limite antes dos trechos a serem



percorridos em marcha lenta. Ao longo do percurso de frenagem deverão ser dispostos pontos de referência do sistema automático, através dos quais será possível a escolha dos estágios de frenagem, pela comparação entre a velocidade teórica e a velocidade real.

O comando dos processos de frenagem é regulado para que se obtenha uma deceleração média da frenagem de serviço, do trem lotado $b = 1,2 \text{ m/s}^2$. Este valor é mantido, independentemente da velocidade com que a composição inicia a frenagem.

Após a frenagem antes dos trechos a serem percorridos em marcha lenta, o freio elétrico é gradativamente destravado para se obter a velocidade permitida no respectivo trecho. O retrocesso dos estágios segue-se com intervalos de tempo de cerca de 0,5 s, no intuito de garantir uma passagem suave de deceleração para marcha por inércia do carro.

Na frenagem de estacionamento o freio a ar é acionado pouco antes da imobilização ($V = 7 \text{ km/h}$). O freio elétrico é destravado logo que o carro se imobiliza. Pode-se conseguir uma deceleração média de $b = 1,2 \text{ m/s}^2$ escolhendo-se os estágios de frenagem adequados.

Através dos relés d 8 a d 13 transmite-se o comando dos estágios de frenagem E1 — E2 — E2a — E3 — E3a — E4 através das linhas de comando que percorrem a composição toda.

O citado freio a ar é acionado por por meio do relé d 14.

Seu destravamento, dependente da velocidade, é bloqueado, caso não haja necessidade de frenagem até a próxima parada. Esta medida evita, em casos de velocidades extremamente pequenas (por exemplo: trechos de velocidade reduzida a 10 km/h), que o freio de estacionamento seja destravado.

O carro deve ser imobilizado em tôdas as paradas. Enquanto nas paradas programadas, o destravamento, dependente da velocidade, entra em ação nas paradas imprevisitas (p. ex. queda da tensão da rêde), o freio de estacionamento entra em ação, devido ao comando de "veículo parado". O freio de estacionamento é destravado ao ser dado o comando de partida por meio do acionamento do botão de partida.

A instalação de comandos por impulsos tem sido utilizada em veículos impulsados por bateria com resultados plenamente satisfatórios. Em contrapartida, não se conhece ainda nenhuma instalação, em veículos impulsados por corrente contínua alimentada pela rede de eletricidade, que tenha comprovado bom funcionamento. A razão disso são as dificuldades as quais resultam da indução dependente da distância do 3.º trilho na captação das correntes em forma de impulsos da rede de fornecimento. Com a intercalação de bobinas niveladoras e de condensadores de recuperação, que agem como acumuladores de energia, ou ainda pela pulsação defasada dos vários motores de um

veículo, seria possível eliminar as dificuldades na rede de cabos de tração, mas as despesas com tais equipamentos seriam consideravelmente elevadas.

Em princípio o "chopper control" possibilita a constituição de um comando sem resistência de partida e de frenagem. Além disso substitui a chave de cames por chave sem contatos mecânicos (tiristores). No intuito de aproveitar inteiramente as vantagens de um "chopper control", quais sejam:

- a) partida praticamente isenta de perdas
- b) frenagem praticamente isenta de perdas
- c) elementos de manobras sem contatos mecânicos dever-se-ia prever uma frenagem útil igualmente sem resistências. Nos casos em que a frenagem útil não seja possível, pode-se empregar o comando por tiristores em lugar do comando por chave de cames, e a frenagem será feita então normalmente por meio de resistências.

Neste caso foram desenvolvidos circuitos nos quais o tiristor foi empregado como contactor eletrônico da chave de cames. Tais comandos encontram vasta utilização nas operações de ônibus elétricos alimentados por rede elétrica. A figura 40.30 mostra a parte de alta tensão de um comando instalado. A vantagem reside no fato de não haver estágios de partida e de frenagem, sendo assim possível uma partida e uma frenagem muito suave por meio de limitação eletrônica do conjugado do motor.

Caso venha a ser possível efetuar partidas sem perdas e sem comando

por resistência, através de uma evolução do "chopper-control", comprovada em serviço operacional, seria igualmente útil procurar soluções técnicas que tornem dispensável a manutenção de resistência de frenagem no veículo (Fig. 40.31/I). No projeto de São Paulo, em razão do problema do aquecimento no túnel, poder-se-ia, na medida do possível, aventar a possibilidade de efetuar a frenagem através de uma resistência instalada em lugar fixo.

O funcionamento do "chopper-control" consiste: - Um tiristor S é ligado periodicamente por meio de um regulador de corrente eletrônico. Isto significa que os espaços de tempo entre dois contactos são sempre idênticos

ou seja $T = \frac{1}{f}$ (f = frequência).

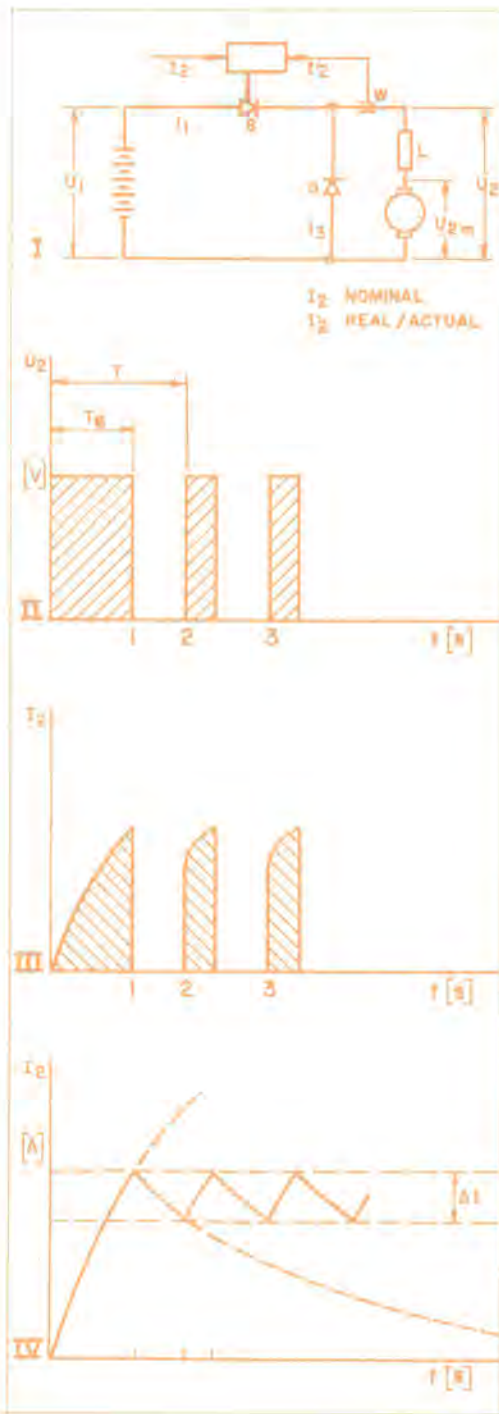
Transcorrido o tempo de contacto T_e , desliga-se o interruptor. O valor médio da tensão aplicada ao motor corresponde portanto a

$$U_2 = \frac{U_1}{T} \cdot dt = \frac{E}{T} \cdot Te$$

Caso o tempo de contato T_e varie de 0 a T , o valor médio da tensão do motor variará de 0 à tensão nominal U_1 .

As parcelas de tensão captadas da rede estão representadas na fig. 40.31/II.

Comportamento análogo tem a corrente captada da rede mostrada na figura 40.31/III. Contudo, devido ao fenômeno da indução existente no



40.31

circuito elétrico, seu percurso segue uma curva em dentes de serra cujos lados são constituídos de funções exponenciais adicionadas (Fig. 40.31/IV).

A frequência dos impulsos provém da oscilação da corrente ajustada e da indução. Varia em aparelhos ligados em série de até ± 200 kW entre 0,1 e 1 kc.

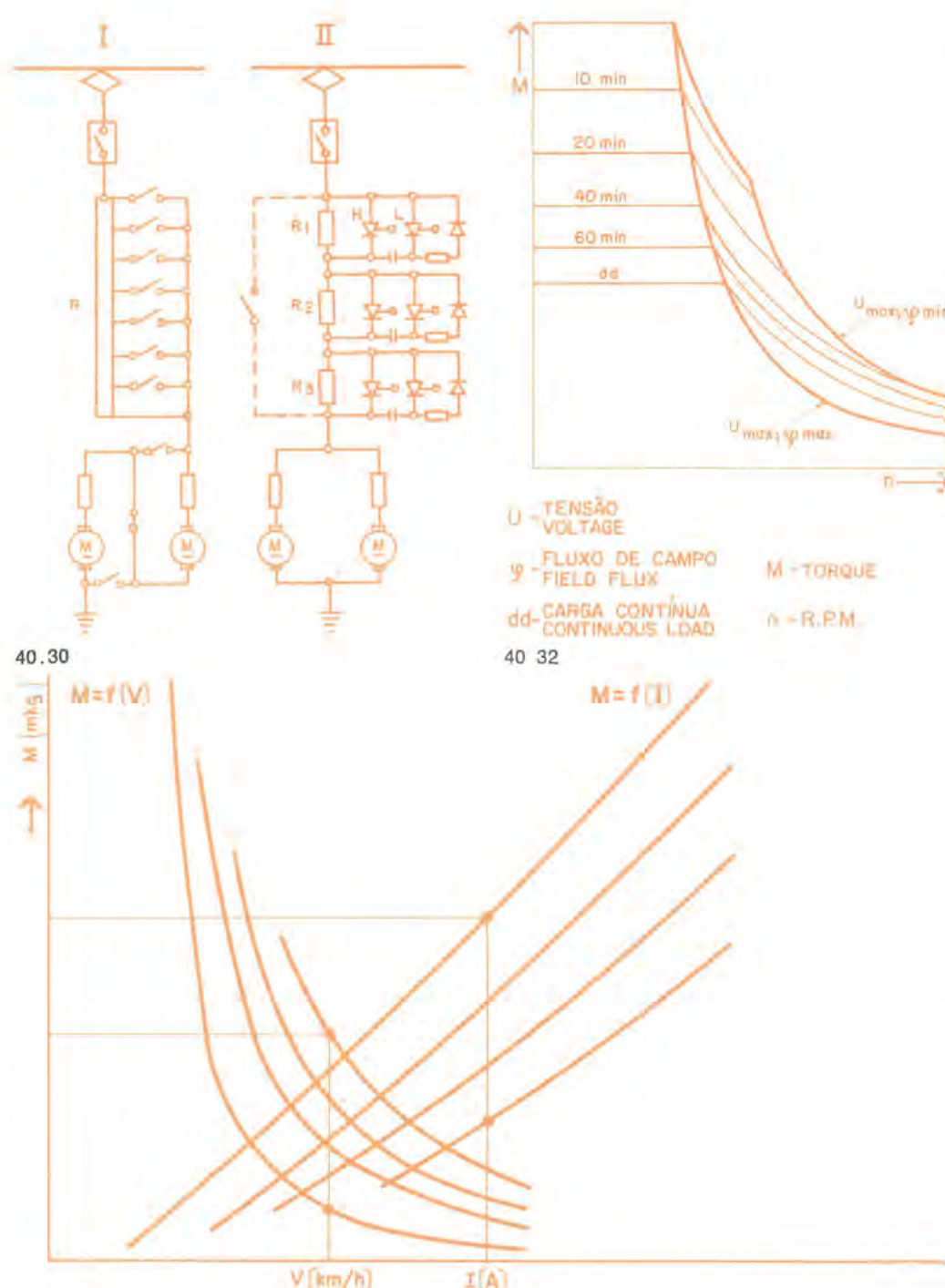
Equipamentos eletrônicos estão sujeitos a outras condicionamentos de manutenção, controle e de reposição, que os equipamentos convencionais.

A instalação e manutenção de tais dispositivos requerem a presença de pessoal formado em escolas especializadas e de mão de obra particularmente capacitada. Além disso, as despesas em instalações de laboratório e de testes são bastante pesadas.

O desenvolvimento no campo de comandos eletrônicos, com veículos de corrente contínua ligados à rede, está ainda em processo.

Deve, pois, ser desaconselhada a escolha de um equipamento eletrônico.

Seria possível e aconselhável, em São Paulo, equipar experimentalmente uma unidade elétrica de unidade de comando com as acima descritas. Um comando eletrônico poderia ser acrescentado numa etapa posterior da execução das obras. As experiências assim colhidas seriam muito úteis quando estas instalações forem, de forma ampliada, aplicadas ao metrô.



40.32

40.4.5. Motor de tração

Para as operações de tração elétrica vem sendo utilizado até hoje o motor com comutador ligado em série. Por suas características adapta-se bem às exigências de serviço das ferrovias.

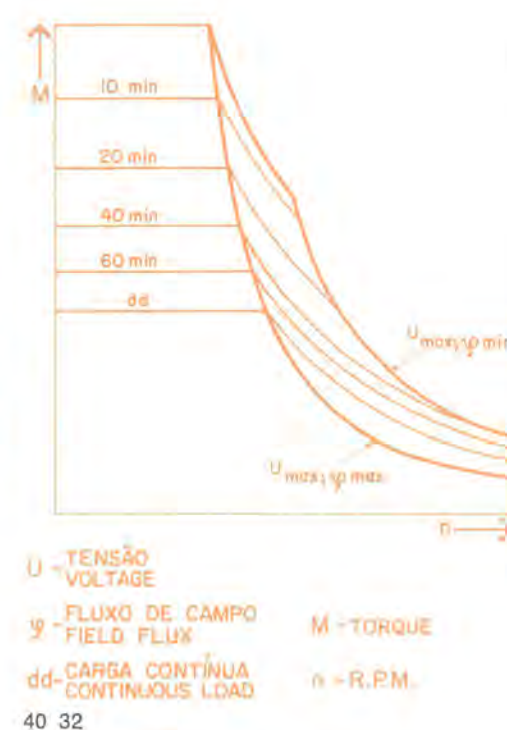
Para a escolha dos motores do trem há três pontos de importância capital:

- 1) O espaço existente para a colocação do motor e do dispositivo de transmissão.
- 2) O programa das funções a serem executadas.
- 3) A capacidade operacional do motor.

O lugar onde deve ser instalado o motor depende das dimensões do truque escolhido, ficando assim fora da área de influência das instalações elétricas do veículo.

Uma base para avaliar a capacidade de um motor de trem é a faixa do conjugado e da velocidade de rotação dentro do qual o motor pode ser operado. A capacidade pode ser determinada pelo respectivo diagrama de carga, que mostra os limites de capacidade térmica do motor para ligações prolongadas de corrente principal (Fig. 40.32).

Um ponto característico no diagrama de carga é a capacidade nominal do motor. Esta depende da respectiva carga aplicada ao motor e é determinada pelo regime de carga térmica do motor. A capacidade operacional de um motor é muito importante. Como base para sua apreciação toma-se neste caso sua capacidade de serviço em quilômetros rodados, sem que o veículo deva ser retirado do serviço por distúrbios no motor.



40.33

Fig. 40.30
I. Controle convencional do dispositivo de manobra com ligação série-paralela dos motores de tração
II. Ligação de partida com controle de impulsos e ligação paralela constante dos motores de tração

Fig. 40.31
Conexões de marchas e curvas características de um "chopper control" de um veículo movido a bateria

Fig. 40.32
Diagrama de carga de um motor de tração ferroviário

Fig. 40.33
Curva característica de um motor de tração

Contudo a ligação de resistências ôhmicas ao circuito vem acompanhada de grande inconveniente por ocasião de interrupções de corrente, de curta duração. No momento em que a corrente for restabelecida, esta atua quase que exclusivamente através da resistência paralela, devido à alta indução das bobinas do campo, passando só uma ínfima parte através do enrolamento de campo. Nestas circunstâncias o campo produzido é muito fraco, e, por sua vez, este só pode produzir uma diminuta força contra-eléctromotriz. O resultado é uma entrada muito alta de corrente, que é dirigida para o comutador através do circuito de corrente de alta tensão. O aumento da tensão das lamelas pode provocar um arco voltaico no coletor e salto de faíscas entre as escovas ou para a terra. Para agir contra isto, aplica-se uma indução paralela ao enrolamento de campo, ligada em série com as resistências ôhmicas de shunt. Ao ser restabelecida a corrente, esta se subdividirá em proporção inversa das induções, eliminando assim o perigo de um anel de fogo.

A faixa de rotação máxima nos motores utilizados pelas ferrovias na Europa, situa-se entre 2.500 e 3.000 rpm. Como uma ampliação de rotações provoca uma redução do peso para a mesma capacidade, utiliza-se nos E.U.A. dessa possibilidade, onde, os motores tem uma velocidade de rotação de 5.000 e 6.000 rpm. A velocidade máxima de rotações é delimitada pela velocidade periférica do comutador. O aumento da velocidade de rotação está, contudo, condicionado a um aumento da relação de multiplicação de transmissões. Engrenagens com uma relação de multiplicação superior a 1:6 tem sua execução dificultada pelas dimensões reduzidas que um veículo de estrada de ferro dispõe. Por isso, utiliza-se nos E.U.A. como elemento de transmissão, um motor com transmissão tipo cardan disposto no sentido longitudinal da caixa do carro. A transmissão tipo cardan, é, em geral, de construção mais complicada e mais dispendiosa.

O motor de tração geralmente utilizado hoje em dia nos metrô da Europa, é o motor ligado em série com compensação. Por meio de um enrolamento de compensação suplementar eleva-se o campo transversal do induzido quase que até a altura exata do porta-escovas. Consegue-se assim um enfraquecimento da excitação de cerca de 25%. Isto permite um aumento da velocidade de rotação e portanto uma redução do peso do

A característica do motor de corrente principal é, dada pelo diagrama $M-V/I$. (Fig. 40.33). Este mostra a relação entre conjugado e velocidade, ou seja entre conjugado e número de rotações. $M : M_1 = n : n_1$. Em alta velocidade o conjugado diminui.

Outro fator importante é a excitação do motor, que apresenta possibilidades de adaptar a potência às exigências operacionais de uma ferrovia. Assim é que, por meio do processo de atenuação de campo o motor de corrente principal responde às solicitações operacionais de maior força de tração nas áreas de velocidades baixas, de partida, e de aumento da velocidade de rotação nas áreas onde a demanda de força de tração é menor durante o processo de aceleração.

A atenuação do campo pode ser obtida de diferentes maneiras. Caso seja necessário somente um estágio de atenuação, executa-se uma derivação. Entretanto, se forem necessários vários estágios, como é o caso, em geral, nos veículos de metrô atuais, a instalação de numerosas derivações dificulta sua execução. Além disso as derivações de atenuação, uma vez assentadas, fixam de antemão o grau de atenuação de campo e dificultam uma correção posterior do grau de excitação. Por isso é amplamente generalizado o emprêgo de resistências ôhmicas ligadas em paralelo para atenuação de campo nos veículos do metrô. O valor dessas resistências ôhmicas ligadas em características exigidas para o motor.

Para sua determinação, toma-se por base os resultados dos testes efetuados.

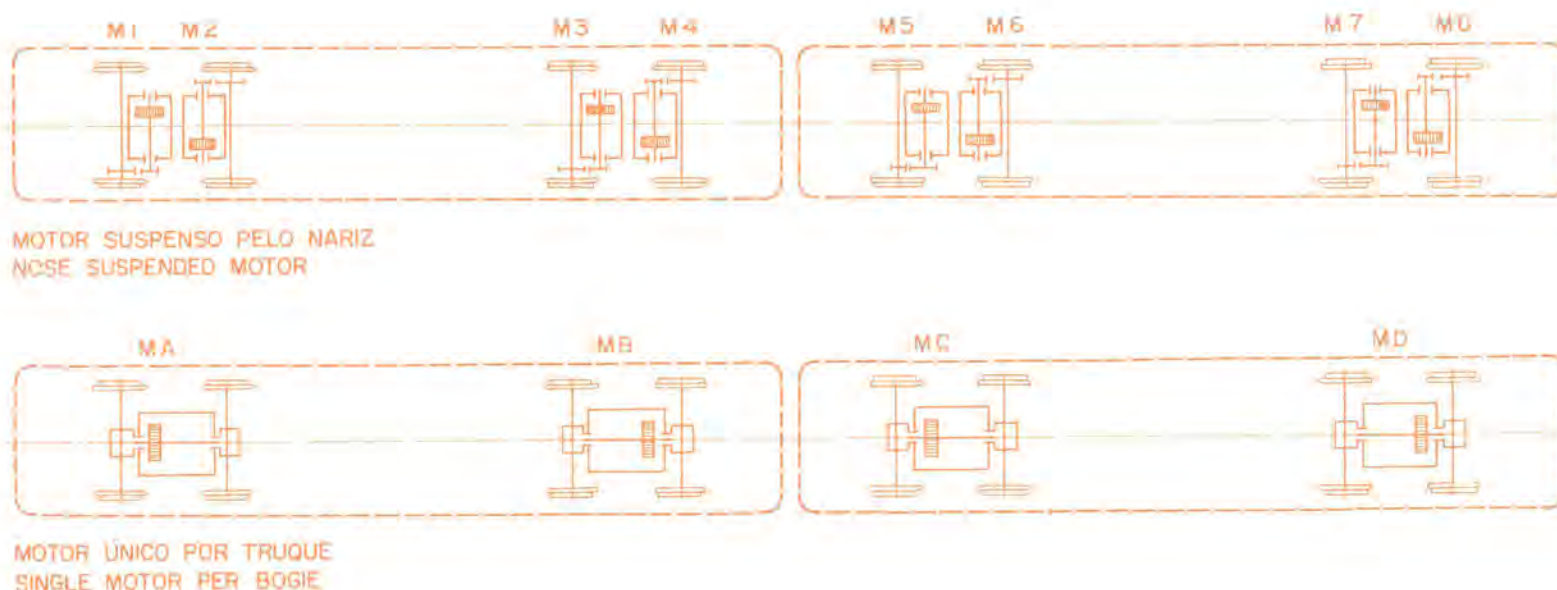


Fig. 40.34
Disposição dos motores elétricos nos truques

40.34

motor. Outra vantagem da alta atenuação do campo consiste no fato de que o motor em serviço opera menos em campo integral, permanecendo as bobinas de campo mais frias, concorrendo assim para um aumento da capacidade específica. O aproveitamento térmico do conjunto do motor é melhorado, a seção transversal do enrolamento pode ser mantida dentro de limites mais estreitos.

Os motores de trem comumente utilizados nos E.U.A. não são compensados e trabalham com uma atenuação de campo de no máximo até 50%.

O motor juntamente com seu dispositivo de transmissão forma uma unidade. Além de uma construção robusta exige-se, sobretudo em veículos de metrô, uma transmissão silenciosa do conjugado do motor.

Afora a transmissão tipo cardan, amplamente difundida nos E.U.A. são conhecidas na Europa: a transmissão de suspensão pelo nariz ou por eixo ôco e o motor único em cada truque. A figura 40.34 "Disposição dos motores" mostra as possíveis disposições de um motor por eixo e de um motor por truque.

O capítulo 40.3.3.1. — "Truques" — trata dos diferentes tipos de transmissão.

Para o Metrô de São Paulo aconselha-se um motor com comutador ligado em série, compensado, com a possibilidade de atenuação de campo em 3 a 4 etapas até uma excitação de 25% do campo integral.

Deveria ser adotado um isolamento do tipo F ou H, que no caso, são os que proporcionam o melhor índice de rendimento.

40.4.6. Equipamentos auxiliares

Os equipamentos auxiliares comportam:

- motor-gerador
- bateria
- ventiladores
- compressor

40.4.6.1. Motor-gerador

A alimentação da rede de baixa tensão de 110 V necessita de um grupo motor-gerador. O MG, com motor e gerador no mesmo eixo, é acionado por um motor alimentado

pela rede de 750 V. O MG é formado por unidades reunidas na mesma carcaça, com ventilação própria. Tem por função a iluminação, carga das baterias, comando, acionamento das portas e ventilação dos carros.

Durante a frenagem elétrica ele opera a excitação independente dos motores. Sua capacidade nominal é de cerca de 18 kW com uma rotação operacional de ± 3.000 rpm. Deve poder suportar, durante a frenagem elétrica, uma sobrecarga de cerca de 30%.

As variações de tensão da rede são compensadas por dispositivos de regulação estática. Estes estabilizam a tensão em 110 V e se encarregam de manter constante a rotação, independentemente da carga e das variações da tensão.

Cada grupo MG atende uma unidade elétrica de dois carros, que constitui a menor unidade independente.

40.4.6.2. Bateria

Cada veículo dispõe de uma alimentação de emergência, para a rede de baixa tensão (110 V). No caso da interrupção da rede de 750 V o abastecimento processa-se através de uma bateria de níquel-cádmio ou alcalina. No caso, não se recomenda baterias ácidas de chumbo, pois os gases produzidos pelo ácido sulfúrico nos túneis podem ter influência danosa sobre o equipamento dos carros, e sobre as instalações estacionárias aí existentes. A bateria é formada de 90 células, correspondendo à tensão de 110 V e uma capacidade de cerca de 45 Ah, durante 5 horas de descarga. A tensão de carga é regulada automaticamente dentro dos limites 150 V e 80 V através de um dispositivo de carga de bateria.

A bateria alimenta uma iluminação de emergência independente da instalação principal, a iluminação de sinalização das unidades elétricas e de telecomunicação dos trens.

40.4.6.3. Exaustores

Para a aeração dos carros é prevista uma série de exaustores, cujos motores são alimentados pela rede de 110 V.

40.4.6.4. Compressor

O motor do compressor que com este forma uma unidade e que produz o ar comprimido para o sistema de frenagem e o dispositivo de

acionamento das portas, é alimentado pela rede de corrente contínua de 750 V. É, da mesma forma, que todos os outros aparelhos, fixado sob o estrado do carro.

40.4.7. Iluminação

Para o salão dos passageiros está prevista uma iluminação com lâmpadas fluorescentes para corrente alternada. As lâmpadas são dispostas de forma a produzir faixa contínua de luz, sem nenhuma interrupção. As faixas de luz e o respectivo revestimento de plástico acrílico devem-se adaptar arquitetonicamente ao aspecto geral do interior do carro.

A alimentação da iluminação processa-se através de um alternador a tiristor alimentado pela rede de corrente contínua de 110 V, e que produz uma corrente alternada da mesma voltagem. Para eliminar o efeito da cintilação oriunda da vibração relativa do veículo, é escolhida uma frequência de 100 ciclos. A capacidade do alternador a tiristor eleva-se para os dois carros a cerca de 2000 VA. Em caso de queda de tensão da rede ou de interrupções do 3.º trilho, sua alimentação passa em curto espaço de tempo (cerca de 30 s), a ser assegurada pela bateria. Para economizar as baterias, deve-se providenciar para que haja a possibilidade de alimentar a instalação da iluminação dos carros com corrente alternada 110 V da rede pública para os casos de consertos ou limpeza nas vias de estacionamento.

40.4.8. Equipamentos eléto-acústicos

Sob o conceito de "Equipamentos eléto-acústicos" compreendem-se os dispositivos de transmissão sonora, que permitem a intercomunicação entre o posto central de comando e o maquinista, assim como entre posto central de comando e passageiros, e entre maquinista e passageiros.

Para tanto, cada cabine de comando de um carro dispõe de uma instalação de transmissão e de recepção.

Prevê-se ainda uma rede de alto-falantes instalada no carro. As duas instalações podem estar unidas uma a outra de tal maneira que uma transmissão em ondas curtas possa ser endereçada diretamente aos passageiros, estando no caso, aí incluída também a cabine do maquinista. Essa ligação é executada

pelo maquinista, pelo acionamento de uma chave manual. Para que seja possível uma comunicação do posto de comando para os passageiros, estando o maquinista impossibilitado de agir, a chave de intercomunicação é acoplada com o dispositivo de homem morto.

A instalação de alto-falantes é composta de alto-falante internos e externos. A disposição dos alto-falantes externos é determinado de acordo com as necessidades operacionais.

- 1) Antes da partida do trem o maquinista dá um aviso pelo alto-falante externo.
- 2) Em seguida o maquinista aciona o dispositivo de fechamento de portas.
- 3) O trem parte.

Em cada parede lateral do carro encontram-se por isso 2 alto-falantes externos, em ambos os lados que podem ser operados através de um microfone de cabine de tal maneira que só é possível transmitir uma comunicação para a plataforma.

Além disso, através de 2 alto-falantes situados no salão de passageiros, de cada carro podem os usuários receber comunicações a partir da cabine.

40.4.9. Dispositivo de acionamento das portas

Para segurança dos passageiros as portas do carro são mantidas fechadas durante a marcha. Um dispositivo eletropneumático de acionamento das portas é acionado da cabine de comando em operação.

Ao ser iniciado o fechamento das portas pelo maquinista, faz-se ouvir um sinal de campainha chamando a atenção dos passageiros para o fechamento. A campainha cessa logo que todas as portas estejam corretamente fechadas. O não fechamento de uma porta em razão de qualquer obstáculo (um passageiro, por exemplo) ou de falha de funcionamento, é indicado ao maquinista pela continuação do som da campainha. Uma vez fechadas todas as portas do trem, é liberado o bloqueio de partida. Na parada seguinte o maquinista reabre todas as portas por comando geral. Caso haja plataformas separadas de embarque e de desembarque, o maquinista abre primeiramente as portas para o desembarque, e após uma pequena espera, as portas para o embarque. Evitar-se-á, assim, qualquer desordem no fluxo de passageiros.

41. Veículos auxiliares

41.1. Composição e equipamento do trem de socorro

Para atendimento de acidentes, se dispõe de um trem de socorro, o qual se encontrará sempre de prontidão, devendo ser equipado para recolocar veículos nos trilhos e consertar a via, para que o tráfego volte a se restabelecer, mesmo em caráter precário.

Para o Metrô de São Paulo, será suficiente equipar um vagão comum coberto, cujo perfil corresponda ao perfil do metrô. Também todas as outras peças e equipamentos deverão ser adaptadas ao padrão do metrô, possibilitando o acoplamento com uma automotriz. O vagão deverá ter uma instalação para iluminação independente da rede para, em caso de interrupção do fornecimento de energia, continuar em serviço ao menos durante um certo tempo. Deverá ser previsto um grupo gerador diesel para a alimentação dos aparelhos de emergência. Como o motor diesel só deverá funcionar pouco tempo dentro do túnel em vista dos gases de escapamento, todos os aparelhos deverão ser previstos para a tensão a ser instalada nos túneis. Deverá haver uma reserva de cabos, a fim de poder ser conseguida energia de tomadas de força mais distantes, em caso de acidente.

Para facilitar os serviços, um guindaste giratório deverá ser montado no interior do vagão, eventualmente sobre trilhos. A capacidade de carga deste guindaste deverá ser de cerca de 250 kg, a fim de facilitar o descarregamento e carregamento do equipamento encarrilhador, relativamente pesado. O restante do equipamento do vagão do trem de socorro deverá corresponder aos fins para os quais o mesmo se destina. Como mais de 75% das linhas do Metrô de São Paulo passam em túneis, um guindaste sobre trilhos pode ser dispensado.

Caso ocorra um acidente em um trecho da via elevada, onde haja necessidade de um guindaste, poderá ser usado um guindaste simples rodoviário. Para serviços normais de encarrilhamento será suficiente equipar o vagão de socorro com aparelhos de encarrilhamento. No decorrer do tempo, tanto as ferrovias como os metrô desenvolveram aparelhos padronizados. Com macacos hidráulicos especiais e rampas de encarrilhamento, é possível erguer veículos descarrilhados, deslocá-los lateralmente e recolocá-los sobre os trilhos. (Fig. 41.1). Veículos tombados

também podem ser reerguidos com estes aparelhos. Para a execução desses serviços, o carro-socorro deverá ter o seguinte equipamento básico:

- 1 grupo gerador diesel
- 2 grupos de moto-bombas elétricas
- 2 mesas de comando
- 2 rampas de encarrilhamento de cerca de 2,20 m de comprimento
- 2 rampas de encarrilhamento de cerca de 4,50 m de comprimento
- 2 carrinhos com macaco de deslocamento
- 2 carrinhos sem macaco de deslocamento
- 4 bombas de pistão alternativo
- 2 macacos de garras, de 20 t.
- 2 macacos de 10 t.
- 4 patins de encarrilhamento
- 1 aparelho de tração.

Além disso, ainda deverá ser previsto o seguinte material: tubos flexíveis para alta pressão e cabos em quantidade suficiente, ferramentas e aparelhos em um armário especial, uma bancada de trabalho no veículo, aparelhos de solda, maçaricos de corte, utensílios de sinalização, instalações para iluminação, escadas, extintores de incêndio, placas de asbesto, estojos de emergência, macas, roupas de proteção etc. Para a reconstrução da via permanente deverão ser previstos dispositivos de fixação de trilhos, alguns dormentes, bem como partes de 3.º trilho com os apetrechos de fixação e isoladores. Não será necessário um veículo especial para o pessoal de socorro, pois este viajará no próprio carro-socorro. Igualmente não haverá necessidade de um vagão-hospital, pois, os eventuais feridos, saindo pelas saídas de emergência previstas, poderão ser

transportados diretamente para ambulâncias dos hospitais.

O carro-socorro deverá ficar estacionado na área das oficinas.

A prontidão e o equipamento sempre completo, deverão ser assegurados mediante inspeções regulares.

41.2. Locomotiva para o trem de socorro, trens de trabalho e manobras

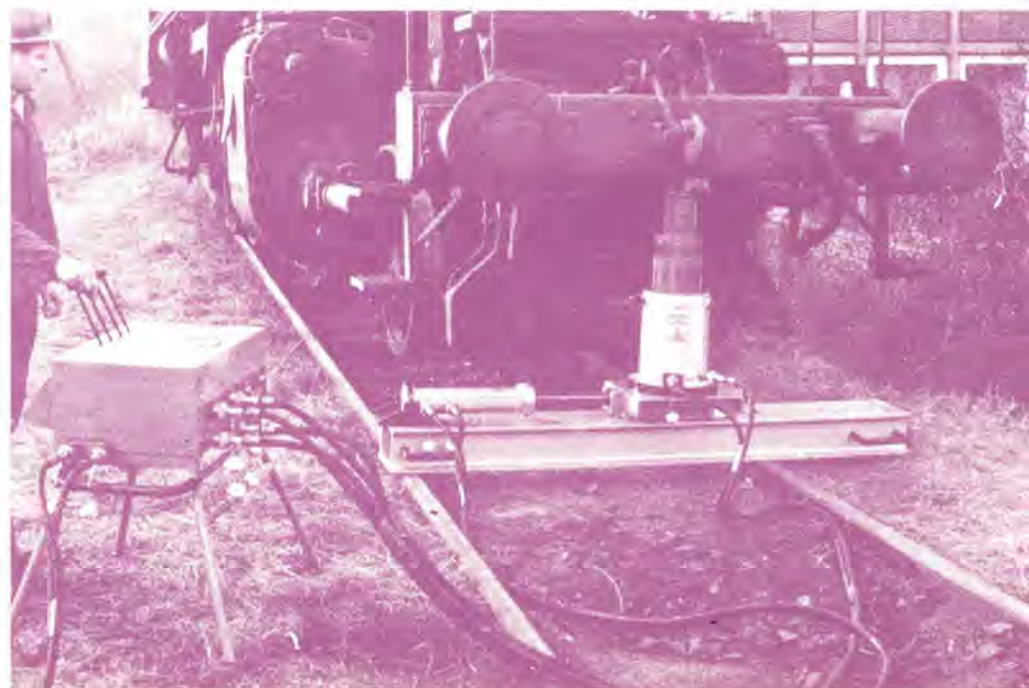
A rede das linhas de um metrô requer constante assistência e conservação. Pequenos trabalhos de conservação são executados com o auxílio de automóveis de linha. (Cap. 41.3.). Para trabalhos maiores, por exemplo na via permanente, este automóvel de linha não é suficiente como meio de transporte. Nestes casos deverão ser empregados trens de trabalho, movidos por locomotivas, para o transporte de macadame, trilhos e dormentes. A locomotiva para este fim também poderá ser utilizada para a tração do trem de socorro ou do trem retificador. Na área das oficinas esta locomotiva deverá executar as manobras. Principalmente onde, por motivos de segurança, não houver terceiro trilho. Além disso, a locomotiva deverá ter condições para servir na ligação entre o metrô e a rede ferroviária.

Assim, existem duas tarefas fundamentais para esta locomotiva do metrô: viagens na rede de metrô e manobras nas áreas das oficinas. Para os serviços de manobras a mais útil seria uma locomotiva diesel. Esta é independente de qualquer fonte de

energia e pode transitar livremente sobre trechos da rede do Metrô com ou sem 3.º trilho instalado.

Em trechos de túnel, porém, o tempo de emprêgo desta locomotiva será limitado por causa dos gases de escapamento. Nos trabalhos com o trem de socorro, no transporte de trens de trabalho e no reboque do vagão retificador, serão exigidas velocidades baixas, e até mesmo paradas, onde o funcionamento prolongado for necessário. Em casos normais a ventilação dos túneis será suficiente para a expulsão dos gases, mas nem sempre o funcionamento da ventilação dos túneis poderá ser assegurado durante o emprêgo dos trens de socorro ou de trabalhos.

Para estes casos, uma locomotiva com propulsão isenta de gases deverá estar disponível. Visto que, geralmente, o 3.º trilho estará à disposição como fonte de energia, este também deverá ser aproveitado para o acionamento da locomotiva. Para viagens em trechos sem 3.º trilho deverá ser usada outra fonte de energia, também isenta de gases. Aqui, haverá a possibilidade do abastecimento de energia através de bateria. Estará garantida uma propulsão isenta de gases de escapamento e devido a propulsão genuinamente elétrica, a construção da locomotiva será relativamente simples. Considerando as condições existentes para o Metrô de São Paulo, recomenda-se uma locomotiva com dois métodos de propulsão, cujo abastecimento de energia normal será efetuado com corrente contínua de 750 V através do 3.º trilho e em trechos sem 3.º trilho, através de baterias instaladas na mesma. Para a locomotiva deverão ser exigidas as seguintes características técnicas:



41.1

Fig. 41.1
Equipamento recarrilhador óleo-hidráulico

Locomotiva com dois métodos de propulsão BO' BO' ou B' B' Corrente contínua de 750 V / Bateria (400 V)

Bitola	1.600 mm
Perfil de medidas externas conf. fig. 40.10	
Carga por eixo	14,0 t
Coeficiente de inclinação	0,25
Velocidade máxima	50/25 km/h
Fôrça de arranque máxima	14,0 t
Fôrça de tração/h com 750 V	14,0 t

A capacidade das baterias deverá ser suficiente para transportar uma carga (1 composição vazia

do metrô) de	162 t
em uma rampa de	40‰
na distância de	1.000 m.

As instalações de sinalização e segurança da locomotiva deverão corresponder às das automotrizes.

Para as duas primeiras etapas na construção da rede total do metrô, uma locomotiva será suficiente para os trabalhos previstos. No decorrer do aumento da rede, uma segunda locomotiva do mesmo tipo deverá ser prevista, por motivo de se ter manutenção mais simples. Uma divisão das tarefas, por exemplo, manobras com locomotiva diesel e transportes com a locomotiva de dois métodos de propulsão, não é conveniente, pois, requer dois tipos de locomotivas diferentes.

41.3. Outros veículos auxiliares

Para os diversos trabalhos de manutenção do Metrô de São Paulo, ainda serão necessários diversos outros veículos, tanto ferroviários,

como rodoviários. A conservação da via permanente e das instalações de alta tensão na linha (3.º trilho) requererá dois automóveis de linha, diesel com reboque. Os dois veículos automotores deverão ser equipados com um aparelho elevador que seja muito versátil. Para viagens de inspeção deverá haver um "trolley".

Para a conservação da via permanente ainda serão necessários um "trolley" dinamométrico e um trem esmerilhador de trilhos. A construção do trem esmerilhador deverá atender às peculiaridades do Metrô de São Paulo.

Em vista da limitada fôrça de tração da locomotiva auxiliar, para um esmerilhamento dos trilhos com rebolos fixos, só poderão ser empregados rebolos rotativos, com motores alimentados pelo 3.º trilho.

Para o transporte de materiais volumosos ou pesados sobre as linhas

do metrô, necessários para a via permanente, dever-se-ia ainda contar com veículos ferroviários.

Por ocasião do início dos serviços do metrô deverá haver quatro vagões de serviço, sendo três gôndolas com guardas metálicas baixas, removíveis, tanto as laterais como as frontais. Nos mesmos vagões deverá ser possível a colocação de fueiros, quando necessário. O quarto veículo deverá ser do tipo furgão aberto, com portas laterais.

Finalmente, ainda serão necessários veículos rodoviários para a conservação e controle das instalações e para serviços nas oficinas. Estes veículos são:

- 2 caminhões
- 2 peruas
- 2 carros elétricos
- 3 carros de passageiros
- 2 empilhadeiras.

42. Instalações de fornecimento e alimentação de energia

42.1. Fornecimento de energia primária

42.1.1. Disponibilidade de energia na região do Grande São Paulo

Durante a primeira metade deste século, as empresas concessionárias de energia elétrica, exploravam, principalmente, fontes de energia hidráulica situadas na área de sua concessão, em locais relativamente próximos dos respectivos centros consumidores. Essas usinas, algumas delas constituindo empreendimentos pioneiros de grande porte para sua época, eram de importância regional, e durante longos anos garantiram o suprimento da demanda crescente de energia, através de ampliações sucessivas.

Desde o início da segunda metade do século XX, a tarefa do abastecimento de energia elétrica vem superando a capacidade das concessionárias particulares tradicionais.

O aproveitamento das grandes reservas hidráulicas, situadas em locais mais afastados dos centros consumidores, assim como a integração cada vez maior dos sistemas energéticos locais e regionais, com a construção das respectivas subestações e linhas de transmissão, exigem investimentos e planejamento global, que transcendem o âmbito das empresas particulares, para a esfera interestadual, ou federal, dado o vulto das obras, bem como a extensão das zonas de influência das usinas. A capacidade final de 1200 MW de Furnas, por exemplo, destina-se ao suprimento dos mercados consumidores de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

O desenvolvimento do setor energético, é atualmente uma das metas principais das autoridades, tanto de nível federal como estadual. A fim de eficientemente planejar e promover o desenvolvimento energético, foram estabelecidas regiões multiestaduais, estando a área da recém-criada Light — Serviços de Eletricidades S/A. — incluída na Região Centro-Sul, a qual abrange os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Guanabara, Rio de Janeiro e Espírito Santo, bem como certas regiões limítrofes de Mato Grosso e Goiás.

No Estado de São Paulo, as empresas estatais foram unificadas com a criação das Centrais Elétricas de São Paulo S/A — CESP, e incumbidas do aproveitamento do potencial hidrelétrico de certos cursos de água. Essa sociedade, que tem a seu cargo a construção das usinas

hidrelétricas de Jupia e Ilha Solteira, inscritas entre as maiores do mundo, com uma potência final de 4.500 MW, desenvolve atualmente intenso trabalho, a fim de cumprir o cronograma das obras programadas, visando a atender ao suprimento mínimo efetivo de:

12.000 MW em 1971
15.000 MW em 1975
20.000 MW em 1980.

A meta de expansão almejada, todavia, é bem maior, senão vejamos:

11.900 MW já em 1970
19.000 MW em 1975
31.000 MW em 1980.

Na prática, a obtenção destas capacidades é perfeitamente possível, pois o potencial hidrelétrico total do país, é estimado atualmente em 150.000 MW, dos quais 80.000 MW conhecidos e estudados e 70.000 MW avaliados. De acordo com estudos recém-concluídos, somente as bacias hidrográficas da Região Centro-Sul e o Estado do Paraná dispõem de um potencial não aproveitado de 46.000 MW, dos quais 20.000 MW de custo de instalação relativamente baixo.

O sistema energético da Região Centro-Sul é responsável por 80%, aproximadamente, da energia total produzida e consumida no país, sendo o fator de carga médio atual da ordem de 62,5%.

A figura 42.1/1 mostra a distribuição das usinas e linhas de transmissão principais deste sistema na Região Centro Sul, bem como o respectivo balanço energético referente a 1970/1980. De acordo com projeção da demanda mínima e máxima, estimadas para esse período, o balanço demonstra a disponibilidade de energia no sistema energético da região. As numerosas obras atualmente em fase de execução, algumas das quais de grande porte, garantem que a meta estabelecida seja alcançada. Ainda referente ao citado balanço, os casos de saldo negativo indicados — sendo diminutos, e tratando-se apenas de estimativas — têm pouca relevância para uma avaliação da disponibilidade de energia em um sistema desta envergadura.

Toda a zona denominada Grande São Paulo situa-se na área de concessão da Light — Serviços de Eletricidade S.A. A demanda de energia desta região é suprida pelas usinas localizadas dentro da área de concessão, de propriedade da concessionária. Adicionalmente, a maior parcela da capacidade geradora

das grandes usinas da Região Centro-Sul, instaladas ou em diversos estágios de execução, destina-se ao suprimento deste grande centro consumidor. Esta energia é transmitida atualmente em tensão de 230 kV ou maior, às grandes estações receptoras da Light, as quais são integradas no sistema de distribuição através do anel de transmissão principal, de 230 kV, instalado em torno do centro consumidor, conforme está ilustrado na figura 42.2. As linhas principais de transmissão do sistema Jupia-Ilha Solteira estão previstas para tensões de 460/480 kV.

As usinas principais destinadas ao suprimento de energia do Grande São Paulo estão relacionadas na figura 42.3.

Embora parte da energia gerada nestas usinas sirva a outras regiões em desenvolvimento, a liberação progressiva da energia produzida nas imediações de São Paulo e outras grandes usinas, ainda em diversas fases de estudo e projeto, poderão garantir a adequada disponibilidade de energia no futuro. (Fig. 42.4.).

Perante o exposto, se pode concluir que o consumo de energia pelo metrô será bastante modesto, em relação às futuras disponibilidades.

A demanda máxima de 60 MW, aproximadamente, para o estágio inicial do sistema metrô em 1972, corresponde a apenas 2% da demanda máxima total estimada do sistema energético da concessionária; na fase final, esta demanda máxima será de cerca de 170 MW, não superior, portanto, a 3,0% da demanda global do sistema. A interligação crescente de sistemas, a multiplicação das fontes de energia e a complementação térmica indispensável asseguram a continuidade de suprimento. O Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica inclui a tração elétrica urbana na categoria de Serviço de Utilidade Pública. Esta classificação, além de conceder grande redução sobre as tarifas de energia vigentes, também garante ao serviço do metrô tratamento preferencial em caso de deficiências ocasionais do sistema energético, tratamento este tecnicamente viável por dispor o metrô de um sistema de alimentação altamente flexível, conforme descrito no capítulo 42.1.4.

42.1.2. O sistema de distribuição de energia na cidade de São Paulo

O Município de São Paulo é abastecido pela empresa Light —

Serviços de Eletricidade S/A., em corrente alternada, na frequência de 60 ciclos. Atualmente, a concessionária executa o Plano de Expansão 1965 — 1970, o qual visa, de maneira geral, melhoramentos na rede de distribuição, aumento de capacidade e flexibilidade operacional, bem como integração da energia recebida das usinas da CESP no sistema de distribuição.

O sistema de distribuição consiste, essencialmente, dos seguintes componentes:

a) — Estações receptoras, destinadas ao recebimento de energia.

b) — Anel principal de suprimento, em 230 kV, interligando barramentos principais das usinas da concessionária e estações receptoras, servindo à integração dos vários sistema de geração e à flexibilidade do sistema de distribuição.

c) — Subestações abaixadoras, de 230/88 ou 88 kV, alimentadas — direta ou indiretamente — pelo anel; destas estações terminais têm origem os circuitos radiais de 88 kV para o suprimento dos grandes consumidores e subestações principais da concessionária.

Para o suprimento das subestações próprias, a concessionária utiliza vários níveis de tensão:

1) — **Sistema de 88 kV:** sistema radial, normalmente com 2 circuitos aéreos separados, para o suprimento das subestações principais da concessionária e dos grandes consumidores. Recentemente, a concessionária passou a instalar no centro da cidade e em zonas residenciais circuitos subterrâneos de 88 kV, empregando quatro cabos singelos, de baixa pressão de óleo, servindo um como reserva.

2) — **Sistema de 40 kV:** sistema de transmissão aérea, relativamente antigo e de extensão reduzida, o qual não está sendo ampliado.

3) — **Sistema de 20 kV:** sistema de distribuição para alimentação subterrânea de subestações da concessionária no centro comercial da cidade, utilizando cabos de papel impregnado; também este sistema é relativamente antigo e não será ampliado.

4) — **Sistema de 13,2 e 3,8 kV:** sistemas radiais de distribuição para a alimentação de transformadores de distribuição a consumidores médios, na zona de distribuição aérea da concessionária.

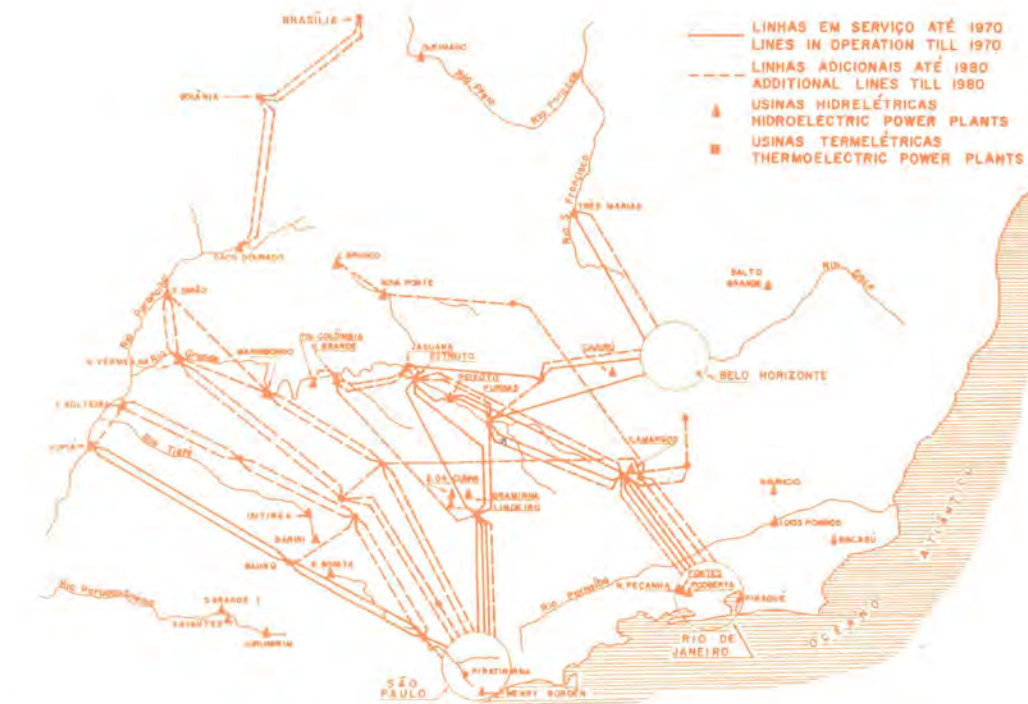


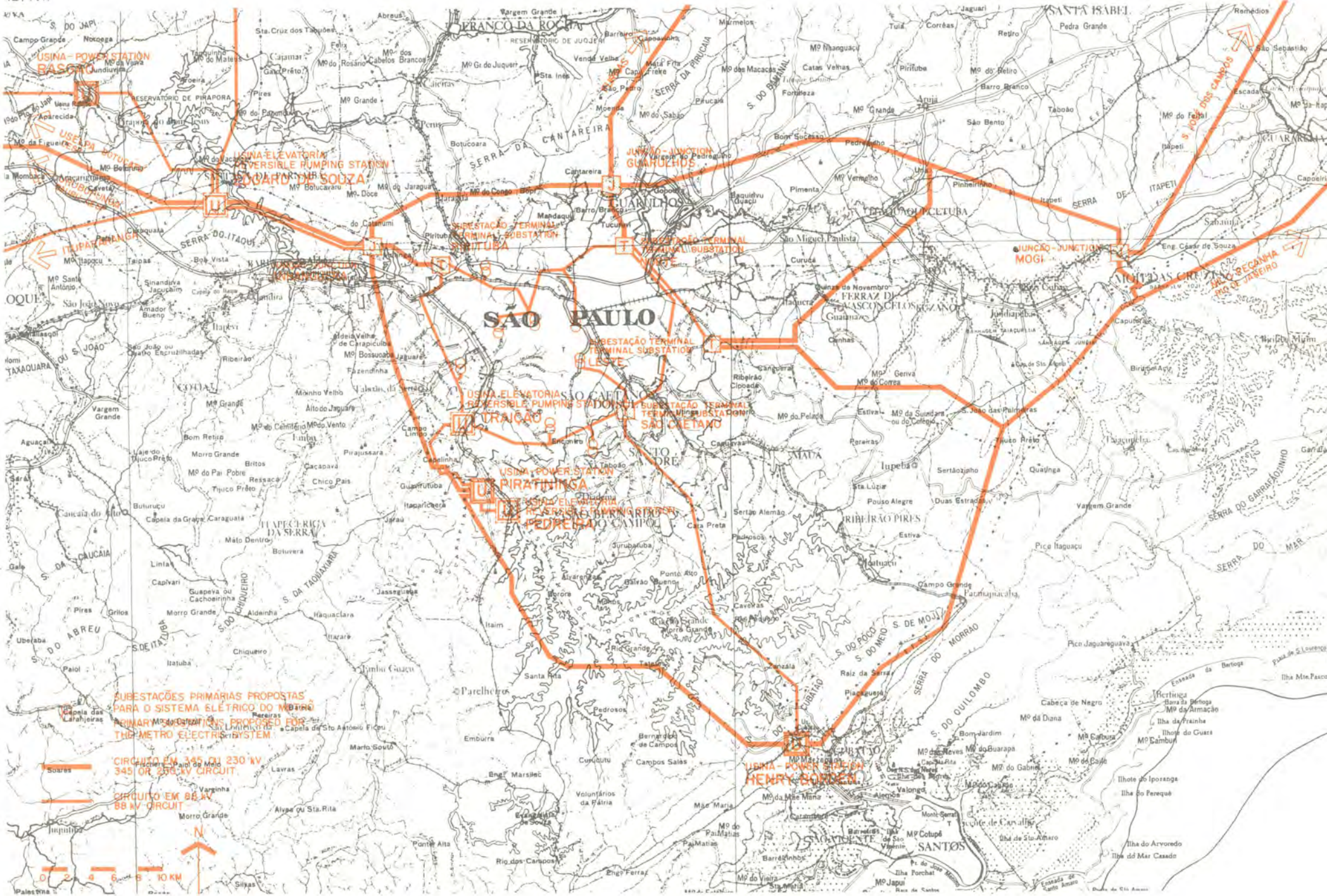
Fig. 42.1
Região centro-sul — Sistema energético
I. Usinas e linhas de transmissão principais
II. Balanço energético 1970-1980

Fig. 42.2
Sistema principal de abastecimento de energia da cidade de São Paulo

42.1.I

Hipóteses	Unidade	Fim de				
		1970	1972	1974	1977	1980
Oferta de ponta, previsão máxima	MW	8.097	9.902	12.103	16.549	21.245
Demanda de ponta, previsão máxima	MW	7.352	9.000	11.000	15.000	20.350
Balanço	MW	+ 745	+ 902	+ 1.103	+ 1.549	+ 895
Oferta de base, previsão máxima	MW	8.097	9.602	11.470	14.948	19.364
Demanda de base, previsão máxima	MW	7.080	8.600	10.400	13.500	17.600
Balanço	MW	+ 1.017	+ 1.002	+ 1.070	+ 1.448	+ 1.764
Oferta de base, previsão máxima	Médio MW	4.700	5.842	7.104	9.869	13.514
Demanda de base, previsão máxima		4.698	5.800	7.100	9.800	13.500
Balanço		+ 2	+ 42	+ 4	+ 69	+ 14
Oferta de base, previsão mínima	Médio MW	4.700	5.572	6.689	8.779	11.688
Demanda de base, previsão mínima		4.510	5.500	6.700	8.800	11.700
Balanço		+ 190	+ 72	— 11	— 21	— 12

42.1.II



42.2

Nome da usina	Sigla da concessionária	Fonte	Localização			Capacidade Nominal — kW				Observações referentes à programação
			Estado	Município	Rio	instalada 31-5-67	Projeto -estudo	Entrada em funcionamento 1967-1971	1972-1976	
Henry Borden I	Light — São Paulo	H	S. Paulo	Cubatão	Tietê, Rio Grande	482 085	—	—	—	
Henry Borden II		H	S. Paulo	Cubatão	Tietê, Rio Grande	382 500	—	—	—	
Piratinga		TV	S. Paulo	São Paulo	—	409 900	—	—	—	
Furnas Estreito	Furnas Furnas	H	M. Gerais	Alpinópolis	Rio Grande	912 000	+ 2x165 000	—	330.000	
		H	S. Paulo	Pedregulho	Rio Grande	—	4x133 000 2x150 000	532.000	300.000	
Peixoto	CESP	H	M. Gerais	Ibiraci	Rio Grande	175 000	+ 6x 50 000	300.000	—	
Jupia	CESP	H	M. Grosso	Três Lagoas	Paraná	—	12x100 000 2x 5 000	1.210.000	—	(2)+ 200.000
Ilha Solteira	CESP	H	S. Paulo	Pereira Barreto	Paraná	—	20x160 000	—	2.080.000	(3)+1.112.000
Chavantes	CESP	H	S. Paulo	Chavantes	Paranápa-nema	—	4x100 000	400.000	—	
Bariri	CESP	H	S. Paulo	Bariri	Tietê	82 800	+ 1x 41 400	41.400	—	
Ibitinga	CESP	H	S. Paulo	Ibitinga	Tietê	—	3x 39 000	117.000	—	
Promissão	CESP	H	S. Paulo	Promissão	Tietê	—	2x100 000	200.000	—	
Jaguará	CEMIG	H	M. Gerais	Sacramento	Rio Grande	—	6x106 000	212.000	424.000	
Capivara	CESP	H	S. Paulo		Paranápa-nema	—	5x120 000	—	—	(1)
Marimondo	Furnas	H	M. Gerais	Fronteira	Rio Grande	—	8x150 000	—	600.000	(1)
Pôrto Colômbia	Furnas	H	M. Gerais	Planuras	Rio Grande	—	4x 90 000	—	360.000	
São Simão	CEMIG	H	M. Gerais	Sta. Vitória	Paranaíba	—	8x165 000	—	—	(1)
Volta Grande	CEMIG	H	M. Gerais	Conceição das Alagoas	Rio Grande	—	4x100 000	—	400.000	
Água Vermelha		H	S. Paulo		Rio Grande	—	12x115 000	—	—	(1) 900.000
Cubatão III		H	S. Paulo	Cubatão	Desvio Tietê	—	6x 75 000	—	—	(1) 375.000

Legenda:

(1) Terminação recomendada até 1980 pelo estudo Canambra

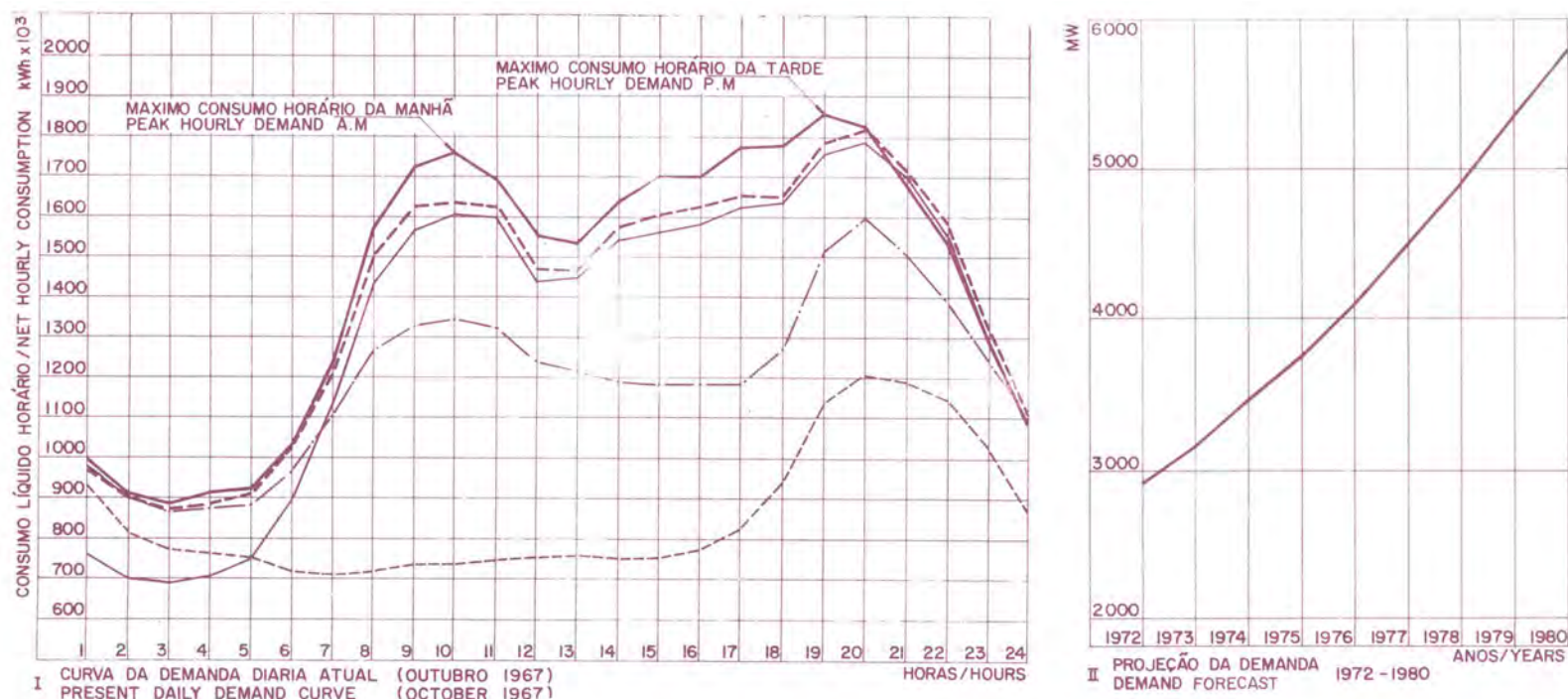
(2) Em estudo

H Usina hidráulica

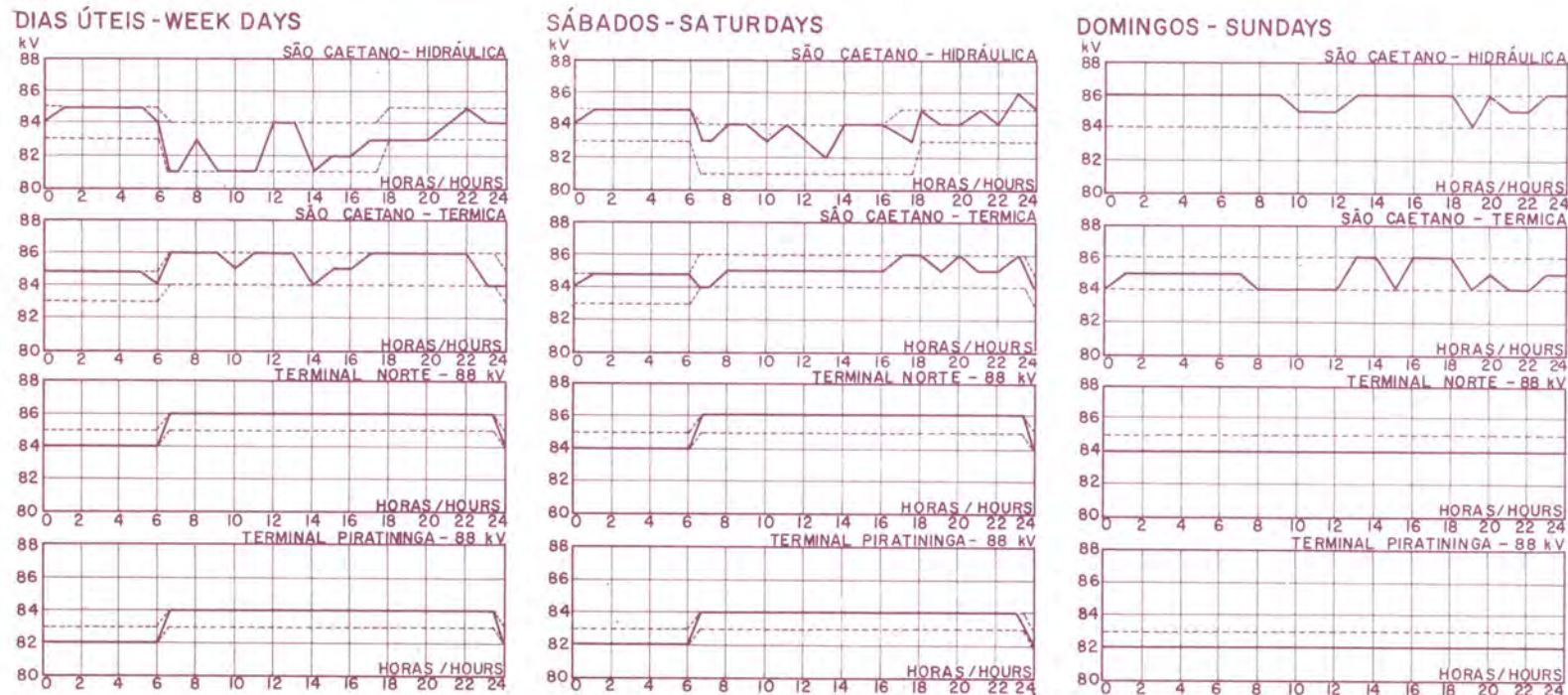
TV Usina térmica a vapor

(3) Terminação até 1978

42.3



42.4



42.5

Fig. 42.3
Usinas principais para o suprimento de energia do Grande São PauloFig. 42.4
Demanda de energia na rede de distribuição da concessionária (LIGHT — Serviços de Eletricidade S.A. — Região de São Paulo)
Legenda:

— Consumo líquido horário do dia de maior consumo líquido do mês (26-10-1967)
 - - - Média dos consumos líquidos horários de todos os dias úteis do mês (exceto 2.as-feiras)
 . . . Média dos consumos líquidos horários de todas as 2.as-feiras do mês
 --- Média dos consumos líquidos horários de todos os sábados do mês
 ---- Média dos consumos líquidos horários de todos os domingos e feriados do mês

Fig. 42.5
Regulagem típica das tensões em estações terminais; LIGHT — S.P.

5) — **Sistema de 3,8 kV, reticulado:** sistema de alimentação dos setores de distribuição subterrânea da concessionária, utilizado no centro comercial da cidade.

6) — **Outros sistemas:** as tensões de 23, 22, 11, 6,3, 2,2 kV foram utilizadas pela antiga São Paulo Light e associadas para o sistema de distribuição nos municípios das áreas de concessão respectivas; uma parte destas tensões já existia na época da transferência das concessões.

Todos os regulamentos vigentes, tensões de fornecimento, classificação de consumidores, especificações e requisitos técnicos, exigidos pela concessionária para o fornecimento de energia, estão reunidos no livro "Fornecimento de Energia Elétrica — Instruções Gerais", edição 1966 da São Paulo Light S/A — Serviços de Eletricidade.

Para efeito de fornecimento no Município de São Paulo, a concessionária distingue, em resumo:

a) — **Três classes de tensão:**
— distribuição secundária; 115/230 V, delta, uma fase com neutro central aterrado, ou 120/208 V, estrela com neutro aterrado.
— distribuição primária; 3,8 ou 13,2 kV, estrela com neutro aterrado.
— alta tensão (transmissão); 88 kV, estrela com neutro aterrado.

b) — **Três modalidades de fornecimento em distribuição secundária:**
— modalidade a: uma fase e neutro, 2 fios
— modalidade b: duas fases e neutro, 3 fios
— modalidade c: três fases e neutro, 4 fios

c) — **Quatro categorias de fornecimento, de acordo com a finalidade da instalação:**

— categoria I (distribuição secundária): para iluminação e usos domésticos em instalações exclusivamente residenciais.

— categoria II (distribuição secundária): para iluminação em instalações comerciais ou industriais com ou sem residência anexa.

— categoria III (distribuição secundária), para qualquer fim — exceto iluminação em instalações comerciais ou industriais com ou sem residência anexa.

— categoria IV (distribuição primária em alta tensão): para qualquer fim.

d) — **Dois zonas de distribuição:**
— zona de distribuição aérea.
— zona de distribuição subterrânea

Limitações referentes a cargas instaladas nas modalidades e categorias citadas :

— modalidade a: somente nas categorias I e II, até 4.000 W.
— modalidade b: na zona de distribuição aérea — na categoria I até 150.000 W, motores até a potência total de 15 c.v. na categoria II até 15.000 W eventualmente para motores até a potência total de 15 c.v. na categoria III até 15 c.v. na zona de distribuição subterrânea — na categoria I até 15.000 W na categoria II até 15.000 W na categoria III até 15 c.v.
— modalidade c: na categoria I até 150.000 W na categoria II até 75.000 W, apenas nas localidades onde o sistema de distribuição o permitir;

na categoria III até 100 c.v. categoria IV: somente em zona de distribuição aérea, em tensão de distribuição primária (3,8 ou 13,2 kV) quando a potência instalada ultrapassar individualmente os limites de 150.000 W, 75.000 W, ou 100 c.v., estabelecidos respectivamente nas categorias I, II e III, até a demanda máxima de 5.000 kW, ou a critério da concessionária. Em alta tensão (transmissão 88 kV) para demanda superior a 5.000 kW.

Fornecimento de energia para consumidores com cargas críticas:

A concessionária não permite a operação paralela de geradores de propriedade do consumidor com o sistema da concessionária. Consumidores em tensão primária recebem entrada única de um sistema radial aéreo, com número relativamente elevado de consumidores ligados ao mesmo circuito, portanto sujeito a falhas; para cargas críticas, o consumidor recorre a um sistema próprio de geração. Consumidores em 88 kV podem receber, dependendo do local, dois circuitos de 88 kV, sendo um destinado ao suprimento normal e outro para emergência em caso de falha; este arranjo, especialmente quando dotado de um sistema de transferência automática, permite o restabelecimento rápido do suprimento. A concessionária exige intertravamento positivo entre as linhas, sendo a operação de transferência efetuada em circuito aberto.

Estabilidade de tensão

A execução do Plano de Expansão 1965 — 1970 já surtiu efeito no que diz respeito a flutuações de tensão e número de falhas gerais: até 1966, consumidores em 88 kV registraram, até 22 falhas sérias por ano, com duração acima de 5 minutos e variações de tensão de 76 a 91 kV.

Quase que exclusivamente, essas falhas são ocorrências isoladas, limitadas a um dos circuitos radiais de 2 x 88 kV. No estágio atual do Plano de Expansão, todos os consumidores em 88 kV notaram marcada melhoria da estabilidade, normalmente em 82-90 kV, e grande redução do número de falhas sérias.

As tensões registradas atualmente em estações terminais típicas, podem ser vistas nas curvas apresentadas na figura 42.5. A complementação do Plano de Expansão, especialmente a instalação da Terminal Leste em 230/88 kV e integração da energia obtida da CESP — Jupiá, irão contribuir para novas melhorias da estabilidade e flexibilidade em geral.

Por outro lado, a concessionária não cogita alterar o sistema radial de 88 kV existente para um sistema de circuitos fechados; portanto, o número de falhas sérias, bem como sua duração, poderão ser reduzidos apenas gradativamente: o número de falhas sérias que afeta ambas as linhas 88 kV de um só consumidor, é estimado em 2 a 4 por ano, dependendo de condições atmosféricas, falhas de equipamento, comprimento de linhas, etc.

42.1.3. Método mais econômico para o abastecimento de energia primária

Para o abastecimento de energia elétrica existem duas possibilidades fundamentais. O suprimento próprio através de uma usina geradora própria

ou o abastecimento através da rede pública existente, devendo assinalar-se, desde já, que a potência necessária para o Metrô de São Paulo é no máximo da ordem de 170 MW, aproximadamente, o que, em relação ao abastecimento de energia geral, é relativamente inexpressivo.

Considerando-se de início a viabilidade de um abastecimento próprio, inicialmente interessam as duas formas convencionais de abastecimento, ou seja, a hidráulica ou a térmica. Ao examinar-se a possibilidade do emprêgo de usinas deste tipo para o abastecimento próprio, deverão ser consideradas as peculiaridades do suprimento de energia de um metrô, em relação à instalação das usinas, especialmente para o caso de São Paulo. Estas peculiaridades são:

a) — A demanda de energia do sistema metrô distingue-se pela ausência de uma demanda básica, constante. A projetada rede do metrô de 66,2 km, terá uma demanda máxima de aproximadamente 170 MW nas horas de pico do tráfego, e demanda quase nula nas altas horas da noite, durante a paralisação dos serviços entre 1 e 5 horas de madrugada.

b) — Não há centro de carga única: a carga do sistema metrô é composta de múltiplos centros de alimentação, distribuídos ao longo do traçado.

c) — A concessionária não permite alimentação simultânea das redes internas pelos geradores de propriedade do consumidor e pelo sistema da concessionária; portanto, o sistema de geração do metrô deverá ter rede de transmissão entre suas eventuais usinas de geração própria e as subestações de alimentação da rede.

A construção de uma usina hidrelétrica não é viável por falta de potencial hidráulico nas imediações da rede de metrô planejada; o suprimento do sistema metrô através de usina única e linha de transmissão extensa será demasiadamente oneroso bem como prejudicial à segurança operacional.

A segunda possibilidade, o emprêgo de uma usina térmica com turbinas a vapor, parece menos viável ainda, pois estas praticamente não servem para uma carga tão variável. As mesmas levam muito tempo para alcançar o rendimento ideal e seu limite mínimo de carga sempre deverá ser acima de 20% da carga nominal. As mesmas prestam-se principalmente para o atendimento de uma carga constante contínua, o que justamente não existe em um serviço de metrô. Mesmo sob estas condições, o emprêgo de turbinas a vapor é possível, por exemplo, após a adaptação de um sistema de re-superaquecimento. Isto, porém, é demasiado oneroso, reduzindo consideravelmente a rentabilidade de instalações tão pequenas. Além disso, a reserva de conjuntos sobressalentes, necessário para o serviço do metrô, encarece sensivelmente o suprimento de energia.

Do acima exposto é evidente que o suprimento de energia próprio, através de uma usina hidrelétrica ou térmica, não é interessante. Ainda resta examinar se pelo emprêgo de geradores Diesel ou turbinas a gás, é possível satisfazer economicamente à demanda de energia.

Foram examinadas duas alternativas. A primeira prevê uma usina dotada de turbo-geradores a vapor e a gás,

sendo que estes últimos fornecem a capacidade de pico. As premissas para esta usina são as seguintes:

3 conjuntos de turbo-geradores a vapor, cada um para 60/75 MW

2 conjuntos de turbo-geradores a gás, cada um para 15/19 MW

Capacidade total da usina 210/263 MW.

Para esta alternativa deve ser salientado o seguinte, em relação ao funcionamento:

a) — Todos os turbos-geradores são instalados em uma usina próxima à fonte de água e combustível.

b) — Em regime normal, duas turbinas a vapor ficariam em prontidão contínua. A demanda noturna seria suprida por uma das turbinas a gás; com o aumento da demanda diurna seriam postas em operação escalonada duas das unidades a vapor. Nas horas de pico (do rush), a geração seria ampliada com a operação de uma ou duas unidades a gás. De acordo com o diminuição da carga, as unidades em operação seriam desligadas sucessivamente, ficando apenas uma turbina a gás em operação noturna.

c) — As principais desvantagens deste método de operação seriam:

— duas caldeiras de vapor permaneceriam sob pressão e as respectivas turbinas a vapor teriam um ciclo de partida-parada diárias, operação difícil e prejudicial, principalmente à turbina.

— durante a maior parte do tempo de operação das turbinas a vapor, estas teriam apenas carga parcial, o que, apesar da característica de superaquecimento, resulta em baixa rentabilidade.

d) — Em caso de falha de uma unidade a vapor, a capacidade disponível estaria reduzida a 128 MW. Com o tempo de partida prolongado das turbinas a vapor, seria restabelecido o serviço normal somente dentro de algumas horas.

e) — A concentração de toda a capacidade geradora em um único ponto conduz a um aumento apreciável dos custos para o sistema de transmissão e distribuição de energia.

Dados estimados referentes à alternativa I

Terreno, com área suficiente para instalação de 3 unidades a vapor de 60/75 MW, e até 3 unidades a gás de 15/19 MW ± 36.000 m²

Investimento, de acordo com preços vigentes:

— de origem nacional 45%
— importado 55%
— valor global US\$ 28.000.000
Custo de produção estimado US\$ 0,024/kWh

A alternativa II prevê a geração de energia somente por turbo-geradores a gás. Os conjuntos dos turbo-geradores são instalados ao longo da linha. São previstos:

12 turbo-geradores a gás, de capacidade unitária nominal/emergência de 15/19 MW
Capacidade total instalada 180/228 MW

Observações referentes à operação:

a) As 12 unidades seriam agrupadas de maneira a formar 6

Fig. 42.6
Estudo econômico sobre fontes de energia;
comparação resumida

Fig. 42.7
Rede geral do Metrô: locação de
subestações primárias e retificadoras

Fig. 42.8
Linha Santana-Jabaquara: esquema geral do
suprimento de energia

	Unidade	Sistema de geração própria		Energia da concessionária
		Alt. I	Alt. II	
Área total	m ²	40.000	48.000	24.750
Investimento				
Fornecimento nacional	US\$1000	15.100	2.600	7.125
Equipamento importado	US\$1000	18.900	23.700	1.575
Total	US\$1000	34.000	26.300	8.700
Custo estimado de energia	US\$ 1000kWh	24,0	18,5	10,4
Custo estimado de energia, porém com isenção de tributação	US\$ 1000kWh	—	—	4,1
N.º de pontos de geração ou entrega de energia	—	1	6	9

42.6

casas de força, ao longo do traçado do metrô.

b) Duas das unidades seriam equipadas com sistema de pré-aquecimento. A demanda noturna seria suprida por uma das turbinas com pré-aquecedor; as outras unidades seriam escalonadas para operação a fim de atender à evolução da demanda diária do serviço do metrô.

c) Embora oferecendo grande flexibilidade referente à escolha de local para sua instalação, as turbinas a gás têm elevado nível de ruído. Em área urbana, sua instalação exigiria cuidados especiais.

d) Este sistema ofereceria elevada flexibilidade operacional.

A ocorrência de falha em uma das unidades, praticamente não afetaria a plena operação de pico do metrô.

e) A aquisição das unidades poderia ser feita em etapas sucessivas, estritamente de acordo com as fases de construção programadas do serviço do metrô.

f) A distribuição da capacidade geradora entre 6 casas de força, convenientemente localizadas, contribuiria para a simplificação e economia de investimentos dos respectivos sistemas de transmissão e distribuição de energia.

Dados estimados referentes à alternativa II

Terrenos, com áreas suficientes para permitir a instalação de 6 casas de força, de 2 unidades a gás de

15/19 MW cada, inclusive área de isolamento acústico $\pm 45.000 \text{ m}^2$

Investimento, de acordo com preços vigentes:

— de origem nacional 10%
— importado 90%
— valor global US\$ 21.500.000
— Custo de produção estimado US\$ 0,0185 kWh.

Existem outras alternativas para um sistema de geração próprio, porém estas seriam, economicamente, apenas variantes em torno das 2 alternativas acima elaboradas.

A fim de examinar a rentabilidade da geração de energia em regime próprio, de acordo com as duas alternativas apresentadas, os custos são comparados com os dados referentes à obtenção da energia da Light-Serviços de Eletricidade.

Os valores de investimentos adicionais, referentes à energia obtida em tensão de transmissão 88 kV da Light-Serviços de Eletricidade S.A., considerando a rede do serviço do metrô de 66,2 km de extensão, de 195/243,75 MVA seriam os seguintes:

Terrenos para instalação de 8 subestações primárias 88/23 kV $\pm 24.000 \text{ m}^2$

Investimento, de acordo com preços vigentes:

— de origem nacional 82%
— importado 18%
— valor global US\$ 7.500.000

Os custos de energia sempre dependem das tarifas a serem empregadas.

As tarifas vigentes, estabelecidas pela Portaria n.º 87 do Departamento



Subestação Retificadora
Subestação Primária 88/23 kV
Subestação Secundária 23/12 kV

42.7

Nacional de Águas e Energia, aplicáveis para serviços do metrô, compõem-se dos itens seguintes:

Tarifa básica, de acordo com o consumo de energia e demanda máxima mensal.

Tributação, consistindo de Imposto Único, Empréstimo Compulsório e Quota de Previdência.

Redução de 80% sobre a tarifa básica é concedida, entre outros, a serviços de utilidade pública para fins de tração elétrica urbana.

Adicionalmente, poderá ser solicitada das autoridades competentes a isenção do Imposto Único e Empréstimo Compulsório. O custo de energia obtida da concessionária, seria portanto:

US\$/kWh 0,0031 — caso seja concedida a referida isenção ou US\$/kWh 0,0080 — caso contrário.

Acrescentando ao custo de energia obtida da concessionária os respectivos custos de amortização e manutenção, o custo de energia seria:

com isenção \pm US\$ 0,0046
sem isenção \pm US\$ 0,0095

Em resumo, teremos, o quadro comparativo da figura 42.6.

A comparação de custos evidentemente demonstra a vantagem da obtenção de energia da Light.

Mesmo sem isenção de tributação e na melhor das hipóteses, o custo de energia obtida em regime próprio seria 95%, e no caso de isenção, que provavelmente seria obtida, até

400% mais caro, do que a obtenção de energia da concessionária.

Demais, com o sucessivo crescimento do sistema de geração e distribuição da Região Centro-Sul, da qual também São Paulo faz parte, oferece uma estabilidade de suprimento sempre crescente, o que também torna aconselhável a obtenção de energia elétrica diretamente da Light para o Metrô de São Paulo.

42.1.4. Suprimento de energia primária para as subestações do metrô

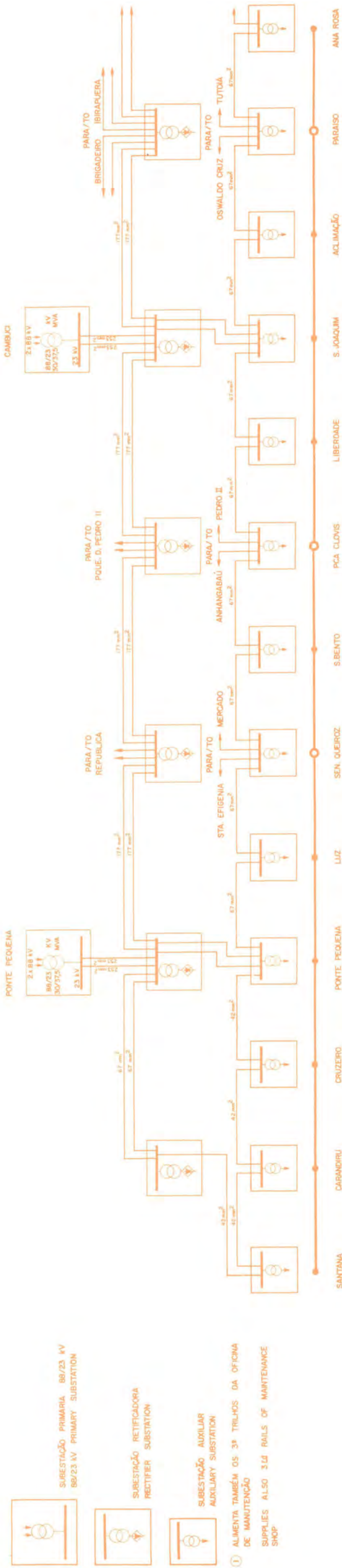
42.1.4.1. Generalidades

O suprimento contínuo e seguro de energia elétrica é de importância vital para a operação do metrô. Em caso de falha de alimentação de energia primária, numa subestação, a flexibilidade operacional deverá ser tal, que não aconteçam interrupções relevantes no serviço. As premissas básicas para obter esta elevada segurança operacional, são as seguintes:

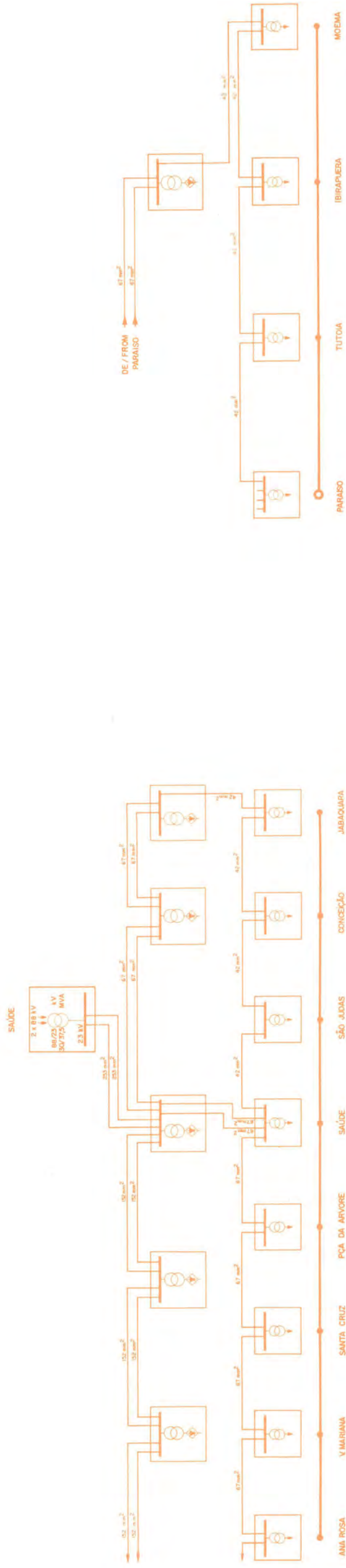
a) Cada subestação do sistema metrô deverá ter 2 circuitos de alimentação distintos, derivados de 2 barramentos primários separados.

b) As fontes de energia primária deverão ser capazes de fornecer energia livre de interrupções e flutuações de tensão.

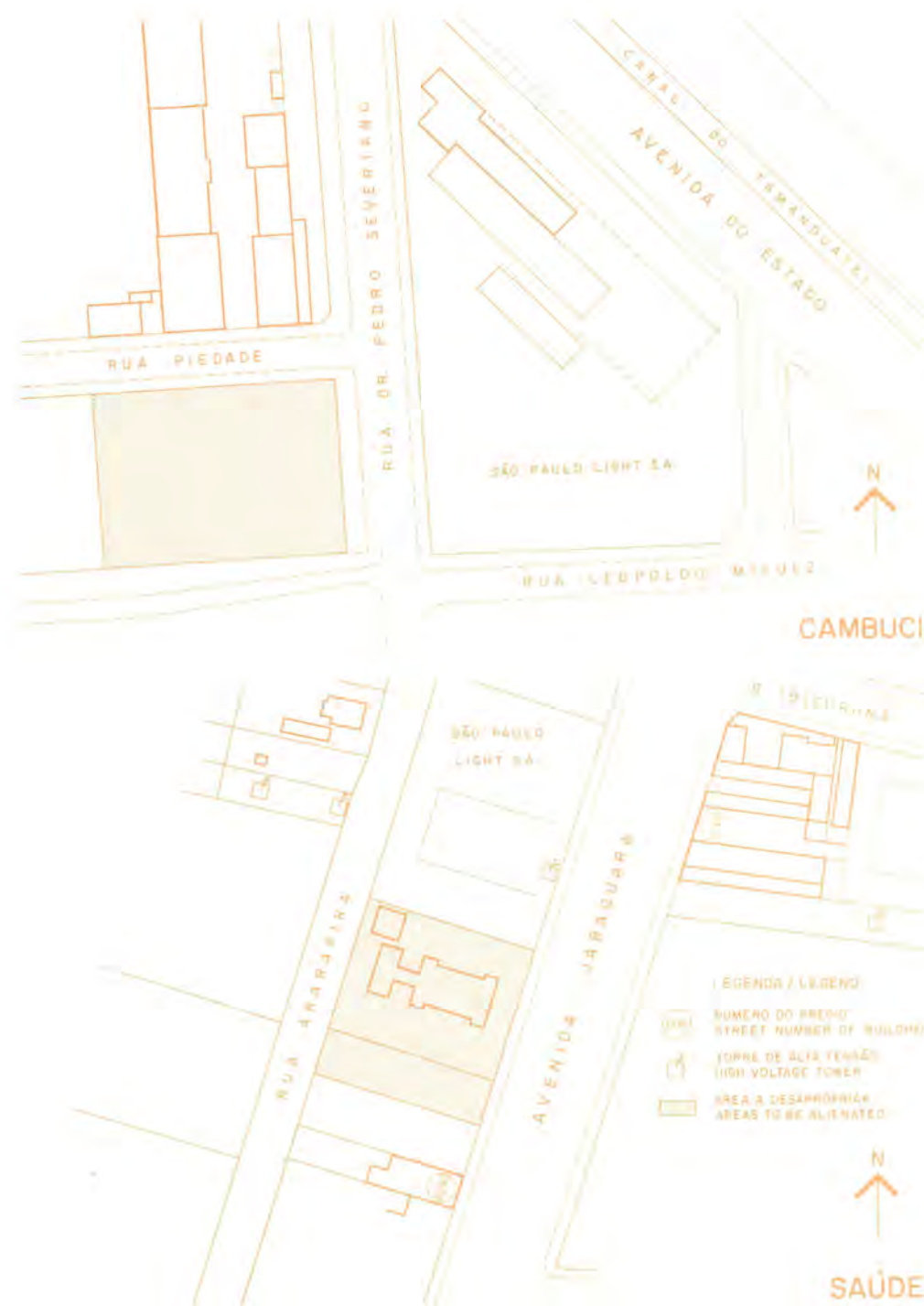
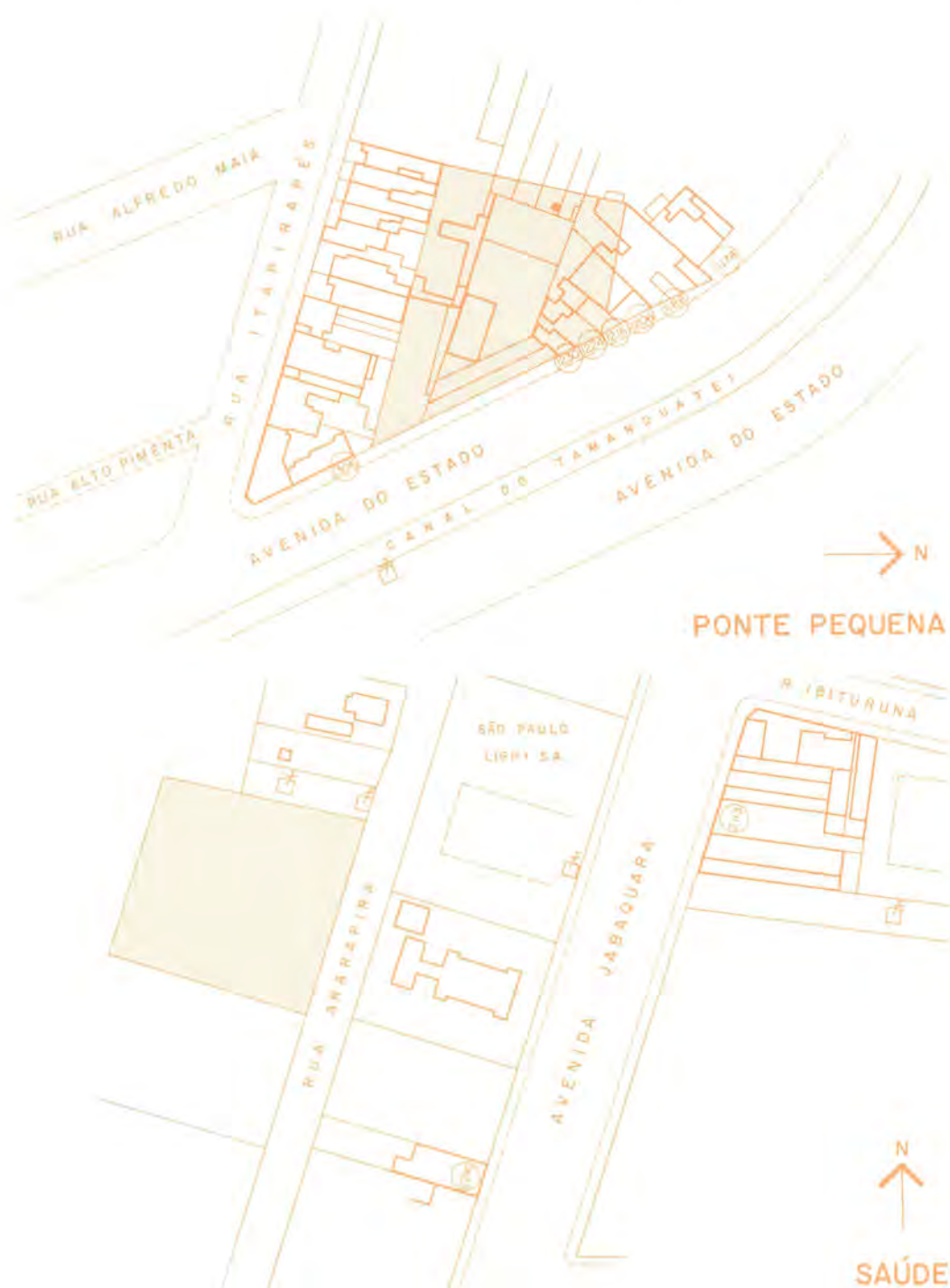
c) Todo o sistema de suprimento de energia primária deverá ser controlado e comandado por um posto central de comando remoto.



DISTANCIA DISTANCE	(Km)	0,740	0,756	1,245	1,080	0,670	0,460	0,725	0,335	0,855	0,785	0,605
CONSUMO DE ENERGIA POR TREM E DIREÇÃO POWER CONSUME PER TRAIN AND DIRECTION	(kWh)	34,0	36,0	38,2	33,2	31,0	26,6	39,5	33,5	49,0	39,4	30,8
CONSUMO DE ENERGIA POR TREM E DIREÇÃO POWER CONSUME PER TRAIN AND DIRECTION	(kWh)	35,1	36,0	45,6	46,1	31,0	20,6	27,8	22,6	18,0	38,4	25,7
CONSUMO DE ENERGIA POR TREM E TRECHO POWER CONSUME PER TRAIN AND SECTION	(kWh)	69,1	72,0	83,8	81,3	62,0	47,2	67,3	56,1	67,0	77,8	56,5
TREMS POR HORA E DIREÇÃO TRAINS PER HOUR AND DIRECTION		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	15 (33)
DEMANDA MÁXIMA DE ENERGIA POR HORA E TRECHO MAXIMUM POWER DEMAND PER HOUR AND SECTION	(MWh/h)	2,76	2,88	3,35	3,25	2,48	1,89	2,69	2,25	2,88	3,10	1,86
DEMANDA MÁXIMA DE ENERGIA DAS SUBST. RETIFICADORAS MAXIMUM POWER DEMAND OF RECTIFIER SUBSTATIONS	(MWh/h)	5,98						4,76		5,38		
POTÊNCIA INSTALADA NAS SUBESTAÇÕES RETIFICADORAS INSTALLED CAPACITY IN RECTIFIER SUBSTATIONS	(kW)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	3 x 2000 (+ 1 x 2000)	4 x 2000 (+ 1 x 2000)	
ESPAÇAMENTO DAS SUBESTAÇÕES SUBSTATION SPACING	(Km)	0,740	2,000		1,750		1,185		1,390		1,530	1745



DISTANCIA DISTANCE	(Km)	1,150	0,800	1,150	1,125							
CONSUMO DE ENERGIA POR TREM E DIREÇÃO POWER CONSUME PER TRAIN AND DIRECTION	(kWh)	46,5	42,2	29,2	42,3	50,2						
CONSUMO DE ENERGIA POR TREM E DIREÇÃO POWER CONSUME PER TRAIN AND DIRECTION	(kWh)	46,5	36,6	36,8	44,7	41,2						
CONSUMO DE ENERGIA POR TREM E TRECHO POWER CONSUME PER TRAIN AND SECTION	(kWh)	90,7	78,8	66,0	87,0	91,4						
TREMS POR HORA E DIREÇÃO TRAINS PER HOUR AND DIRECTION		15 (33)	15 (33)	15 (33)	15 (33)	15 (33)						
DEMANDA MÁXIMA DE ENERGIA POR HORA E TRECHO MAXIMUM POWER DEMAND PER HOUR AND SECTION	(MWh/h)	2,66	2,60	2,18	2,87	3,02						
DEMANDA MÁXIMA DE ENERGIA DAS SUBST. RETIFICADORAS MAXIMUM POWER DEMAND OF RECTIFIER SUBSTATIONS	(MWh/h)	4,27	4,60		4,04							
POTÊNCIA INSTALADA NAS SUBESTAÇÕES RETIFICADORAS INSTALLED CAPACITY IN RECTIFIER SUBSTATIONS	(kW)	2 x 2000 (+ 1 x 2000)	2 x 2000 (+ 1 x 2000)	2 x 2000 (+ 1 x 2000)	2 x 2000 (+ 1 x 2000)	2 x 2000 (+ 1 x 2000)						
ESPAÇAMENTO DAS SUBESTAÇÕES SUBSTATION SPACING	(Km)	1,825	1,555	1,950		1,150						



42.9

d) Todo o sistema de suprimento deverá ser padronizado, a fim de simplificar o controle geral e a manutenção do sistema.

Tendo em vista os aspectos econômicos (Capítulo 42.1.3.), concluiu-se que, para o suprimento de energia ao metrô, somente se poderia recorrer à rede da concessionária. Para tanto, foi examinada a viabilidade de obter energia elétrica da concessionária, de maneira a satisfazer as premissas básicas para a segurança operacional. Após os devidos entendimentos com a Light-Serviços de Eletricidade S/A, confirmou-se a capacidade da Light para atender às necessidades do sistema do metrô, segundo os dados daquela concessionária, referentes a suprimento e planejamento (Capítulo 42.1.1.). Portanto, está assegurado desde já, o suprimento de energia primária pela Light-Serviços de Eletricidade S/A.

42.1.4.2. Premissas para o suprimento de energia primária ao metrô

A rede de distribuição da Light na cidade de São Paulo dispõe de 3 tensões primárias: 88 kV, 13,2 kV e 3,8 kV. Atualmente, o sistema de distribuição das duas tensões citadas por último está sujeito a certas limitações de carga, de forma que não chega a satisfazer as exigências mínimas anteriormente descritas e indispensáveis ao bom funcionamento de um metrô. Tendo em vista as informações da Light sobre a impossibilidade de ampliação dessas redes, considerou-se a alimentação do metrô pela rede de 88 kV.

Já hoje pode ser notada a tendência de conduzir o suprimento de energia na tensão de 88 kV cada vez mais para o centro urbano. Assim sendo, a rede do metrô poderá ser facilmente ligada em todos os pontos importantes à respectiva rede de distribuição de 88 kV.

O sistema de distribuição da concessionária em 88 kV é radial e, conseqüentemente, conforme está descrito no capítulo 42.1.2., sujeito a falhas — embora em número limitado — apesar dos melhoramentos, atuais e futuros, da rede de distribuição. Portanto, o sistema de fornecimento de energia para o serviço de metrô deverá dispor de várias subestações primárias 88/23 kV, bem como do respectivo sistema de distribuição, permitindo que, durante colapso total de suprimento em uma das subestações primárias, a carga total seja distribuída pelas subestações restantes, permitindo o imediato restabelecimento do serviço.

Todos os assuntos referentes ao acima exposto foram tratados e coordenados com a concessionária, estando especificados e confirmados no Despacho da Light, n.º DSG/RSP-444, de 19/12/1967.

Entre os assuntos principais combinados com a Light, e que servem de premissas gerais para o futuro planejamento do metrô, citam-se os seguintes:

a) A concessionária considera a projeção da demanda de energia do sistema metrô, de “diminuta em comparação com a carga total da São Paulo Light”, não sendo, portanto, necessárias medidas especiais para suprir a demanda.

b) Os circuitos de distribuição da concessionária em 88 kV são radiais, com pontos de alimentação nas respectivas estações terminais; esse sistema será ampliado, não se cogitando de sua modificação.

c) Qualquer ligação paralela, inclusive transitória, entre linhas e circuitos 88 kV, não é permissível; todas as operações de manobra do sistema 88 kV, do metrô — na medida em que não forem totalmente automáticas — só deverão ser executadas com aprovação da Light.

d) Está prevista para o futuro a capacidade de interrupção simétrica de 3 500 MVA para disjuntores operado no sistema de 88 kV.

e) Segundo levantamentos estatísticos efetuados pela Light, deve ser considerada a média de 2 a 4 falhas anuais na rede de 88 kV. Esse baixo número de falhas pode ser considerado irrelevante para a operação do metrô.

f) Para o suprimento de energia da primeira linha do metrô, Santana-Jabaquara com o ramal Paraíso-Moema, serão instaladas 3 subestações primárias 88/23 kV (Fig. 42.7). Cada subestação terá a capacidade instalada de 30/37,5 MVA aproximadamente, alimentada por entrada dupla, 2 x 88 kV (Fig. 42.8), estando ambas as linhas normalmente sob tensão. De acordo com os regulamentos da Light, a alimentação só poderá ser obtida por uma linha de cada vez. Durante falha em uma das linhas de 88 kV, a transferência para a outra linha será feita automaticamente. A alimentação por uma das duas linhas de 88 kV às subestações primárias 88/23 kV será feita diretamente pela Light às suas

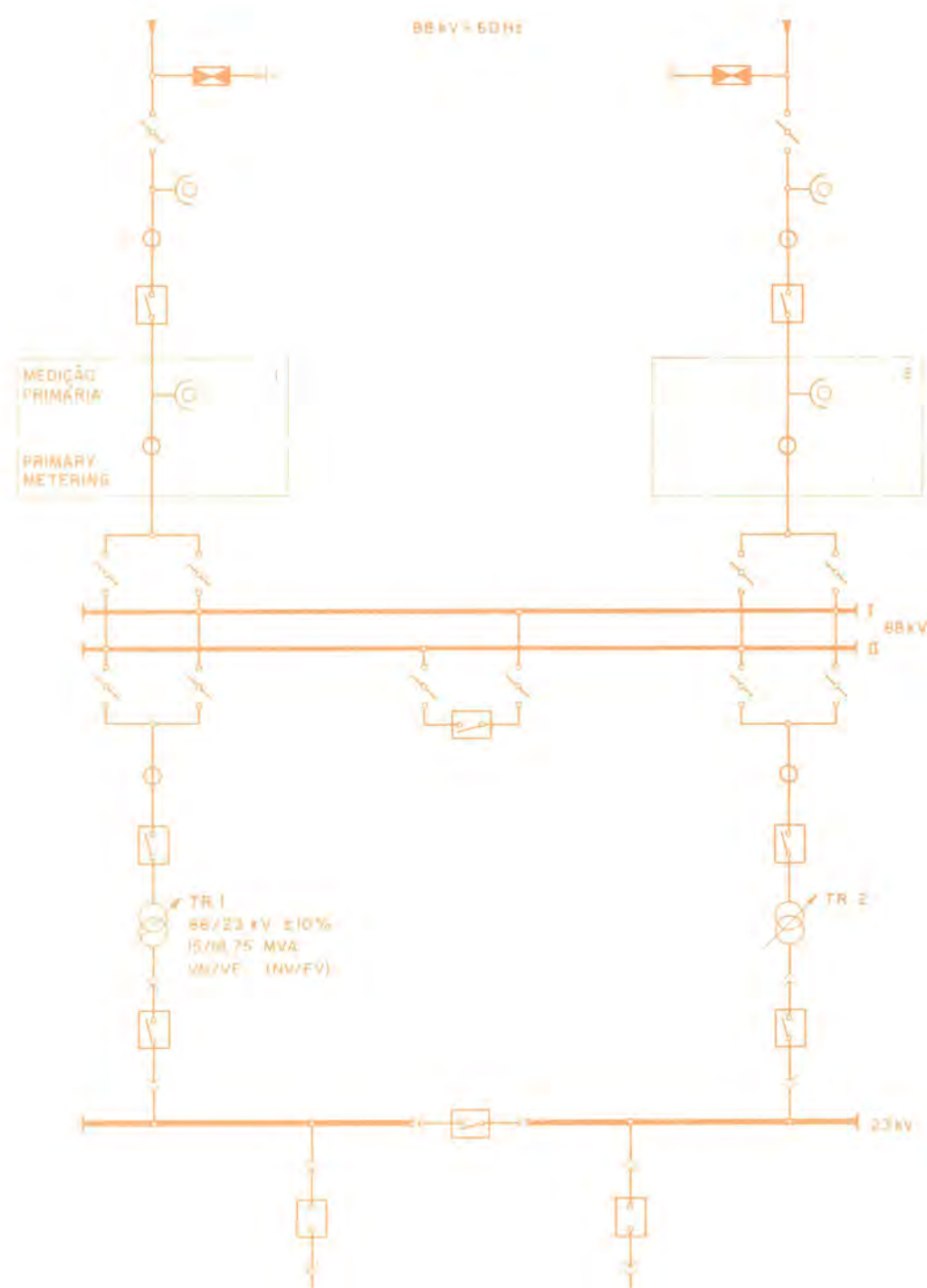
expensas. A fim de evitar a construção de linhas de transmissão ou dispendiosas instalações de cabos de 88 kV, estas 3 subestações intermediárias serão instaladas nas proximidades das subestações principais ou das linhas transmissoras de 88 kV da concessionária.

g) De acordo com o projeto do traçado geral da rede de metrô, serão instaladas, afinal, 5 subestações primárias de 88/23 kV adicionais e ampliada a subestação Cambuci, (uma das 3 subestações previstas para a primeira linha) em virtude do entroncamento futuro das linhas.

42.1.4.3. Seleção do nível de tensão para o sistema de suprimento de energia primária

Para as subestações primárias de 88 kV, foi escolhida a tensão secundária de 23 kV que suprirá as subestações do metrô. Esse nível de tensão corresponde às recomendações da IEC (International Electrotechnical Commission) para sistemas operando em 60 ciclos.

Na área de suprimento do Estado de São Paulo são utilizadas as tensões de 13,2 — 23 — 34,5 kV, existindo, na área servida pela concessionária Light, principalmente, as duas tensões de 13,2 e 23 kV. Na escolha do nível de tensão, considerou-se que a rede de cabos seria exclusivamente de cabos secos, conforme as normas vigentes. Assim, teve que ser excluída a tensão de 34,5 kV, pois, a fabricação nacional de cabos secos só é feita para as classes até 25 kV. Outrossim, o maior espaçamento de isolamento necessário para 34,5 kV, exigiria instalações



42.10

muito mais volumosas nas subestações do metrô.

Os estudos econômicos que se basearam na quantidade de cabos necessários para a rede do metrô, mostraram que os gastos a mais na aplicação da tensão existente de 13,2 kV, seriam da ordem de aproximadamente 18%. A concessionária não opôs quaisquer objeções à escolha da tensão de 23 kV para alimentação das subestações do metrô.

42.1.4.4. Subestações primárias de 88/23 kV

Os dados necessários para a instalação das subestações referentes à rede do Metrô de São Paulo, já se encontram concluídos para a Linha Norte-Sul, que será a linha prioritária. Para essa linha foram calculados a demanda de energia (Capítulo 25.), bem como o número e a capacidade das subestações.

A localização das três subestações foi determinada tendo em vista a distância entre as subestações de 88 kV da Light e as subestações primárias de alimentação; pela distribuição mais uniforme possível das três subestações ao longo da Linha Norte-Sul, e pelas condições locais de construção das subestações. Dentro desse critério os locais escolhidos foram os seguintes (Fig. 42.9):

a) Subestação primária Ponte Pequena

A subestação será construída na Av. do Estado, ao Norte da Rua Itapirapés. Servirá para alimentar — em operação normal — a linha desde

Santana até inclusive Senador Queiroz. Esta subestação será alimentada pela linha terminal Norte-Paula Souza (2 x 88 kV) da concessionária.

b) Subestação primária Cambuci

Será construída perto da subestação da Light no Cambuci, em um terreno livre, da Prefeitura Municipal, situado entre a Rua Piedade e a Rua Dr. Pedro Severino. A subestação alimentará o trecho de São Bento até Paraíso, sendo por sua vez alimentada pela Linha São Caetano-Cambuci (2 x 88 kV) da concessionária.

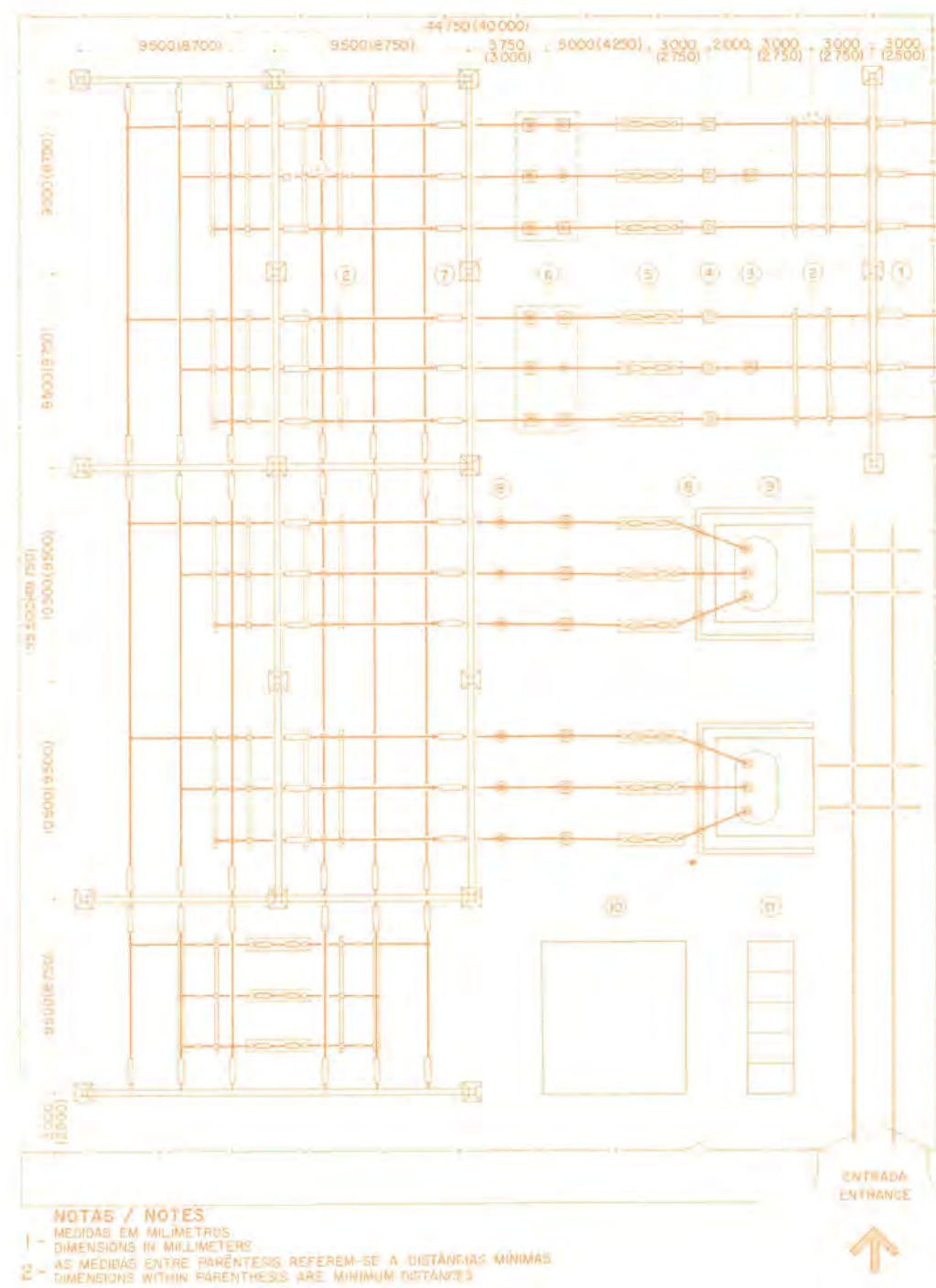
c) Subestação primária Saúde

Será construída perto da subestação Saúde da Light. Existem ali dois terrenos: um terreno livre a Oeste da Rua Ararapira e um outro ao Sul da subestação Light. Esta subestação primária alimentará o trecho Ana Rosa-Jabaquara, sendo por sua vez alimentada pela linha São Caetano-Traição (2x88 kV) da concessionária.

As três subestações serão estações ao ar livre, com capacidade nominal de aproximadamente 2x15/18,75 MVA. Sua localização e interligação às subestações do metrô estão representadas nas figuras 42.7 e 42.8.

O diagrama básico de circuitos e as dimensões de uma subestação primária típica são mostrados nas figuras 42.10 e 42.11.

Os condutores aéreos 2 x 88 kV ou cabos provenientes da rede da Light mais próxima, são conduzidos através de pórticos ou subterraneamente, com intercalação de disjuntores, ao barramento duplo da subestação primária. O barramento



42.11

duplo dispõe de certo número de seccionadores dispostos de forma a permitir manobra de transferência dos disjuntores, bem como seccionamento de diferentes partes da instalação da própria subestação.

O barramento duplo servirá para alimentar dois transformadores de 88/23 kV, cujas saídas secundárias serão conduzidas paralelamente ao barramento de 23 kV. Cada transformador terá um disjuntor principal de entrada e outro de saída.

Tendo em vista as futuras ampliações da rede do metrô, será previsto espaço para a instalação de uma unidade transformadora adicional nas subestações primárias, situadas nas proximidades de pontos de cruzamento de linhas do metrô.

Todos os transformadores principais de 88/23 kV têm capacidade básica de 15 MVA. Através de ventiladores montados nos radiadores, a capacidade dos transformadores poderá ser aumentada temporariamente para 18,75 MVA.

Essa capacidade adicional será aplicada nas horas de pico, nos casos de falha de alguma subestação ou uma unidade transformadora.

Outrossim, estão previstos nas subestações de 88/23 kV reguladores de tensão automáticos que mantêm constante a tensão secundária de 23 kV com uma tensão primária sujeita a variações de até $\pm 10\%$.

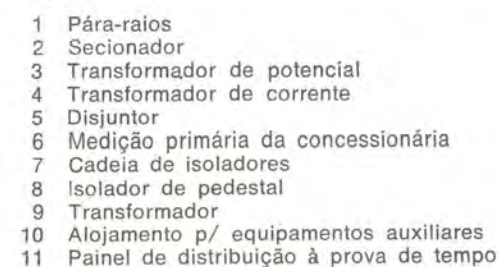
De acordo com pesquisas junto ao parque industrial da cidade de São Paulo, se registraram no passado

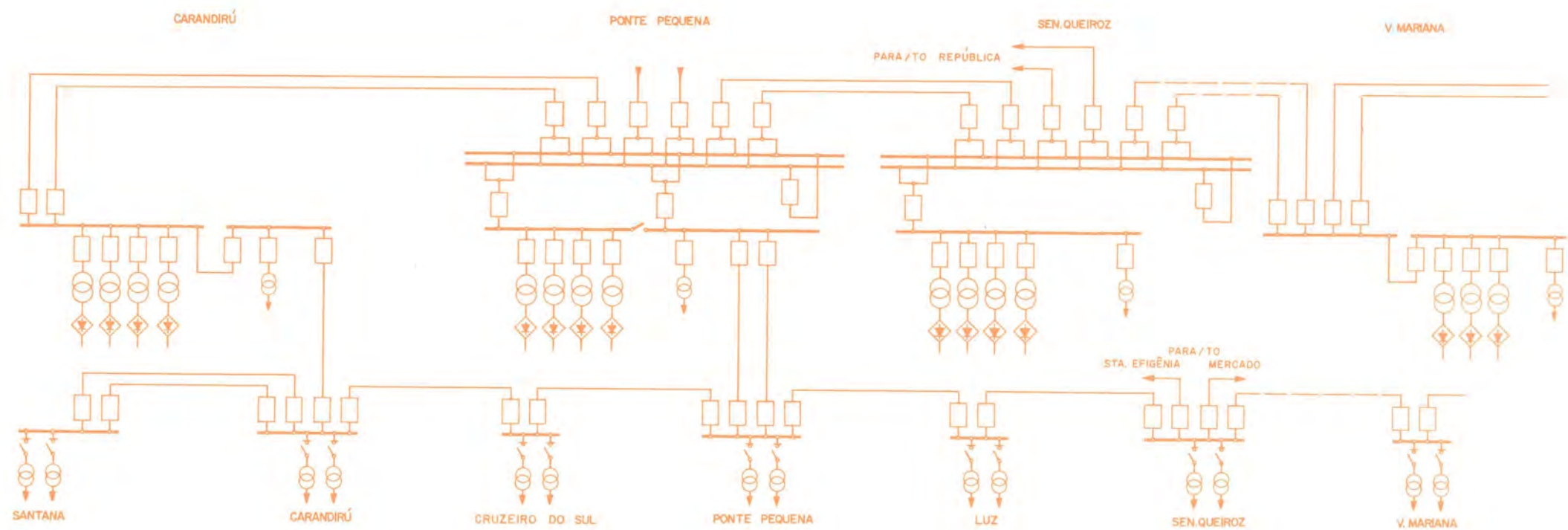
Fig. 42.9
Áreas propostas para a localização de subestações primárias de 88/23 kV

Fig. 42.10
Subestação primária de 88/23 kV; diagrama unifilar típico



Fig. 42.11
Subestação primária de 88/23 kV; planta típica

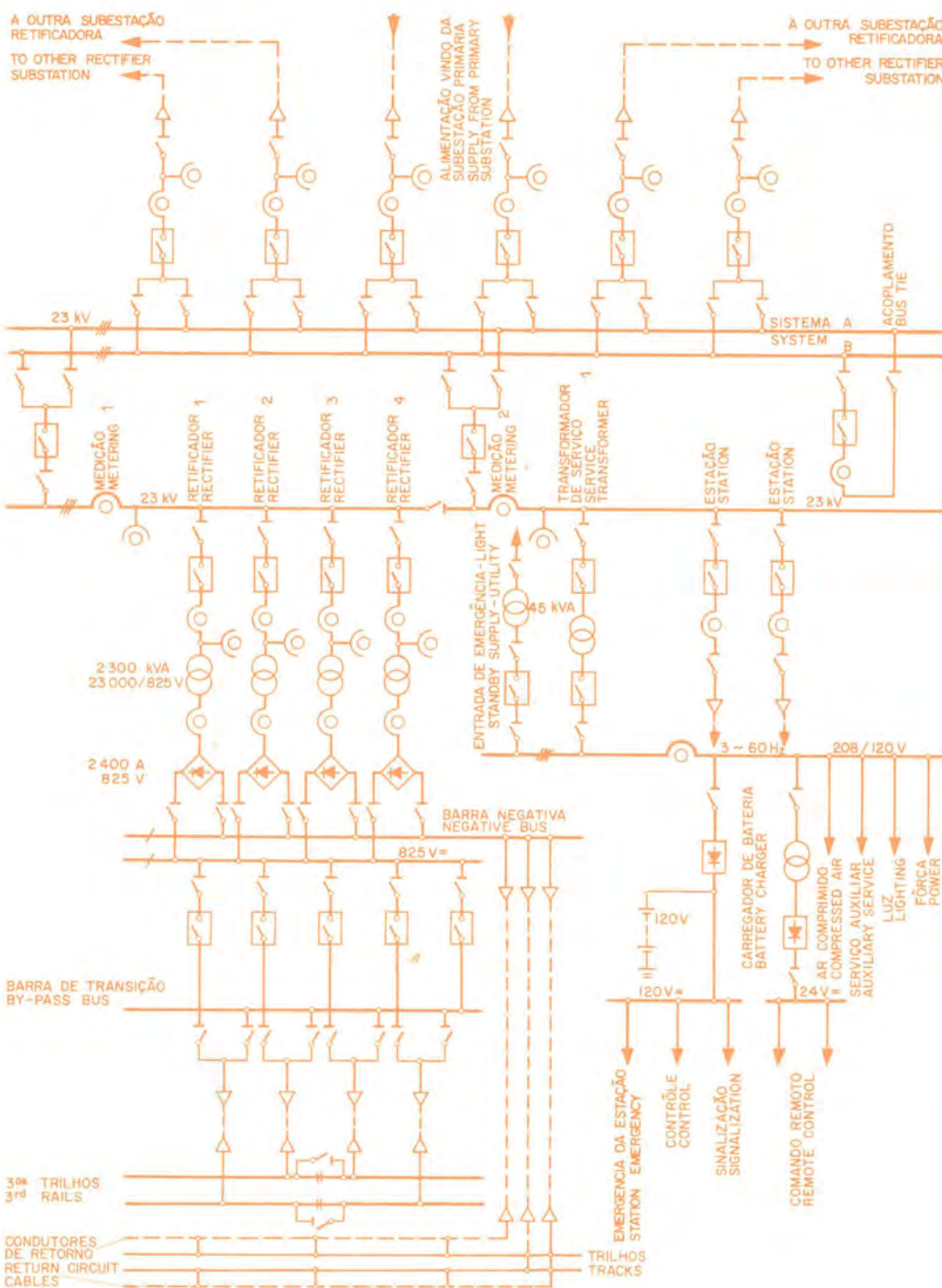
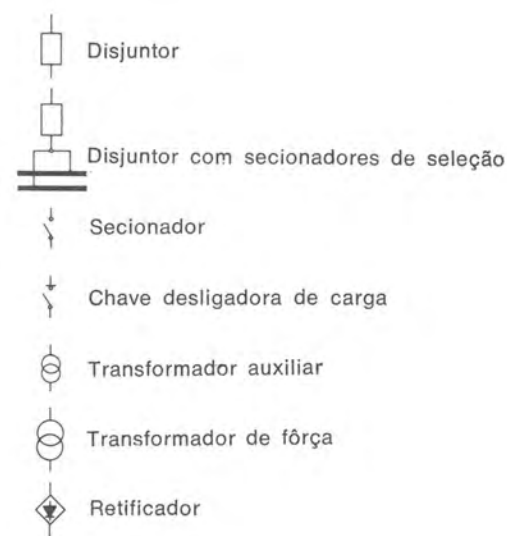




42.12

Fig. 42.12
Esquema típico do sistema de distribuição em 23 kV

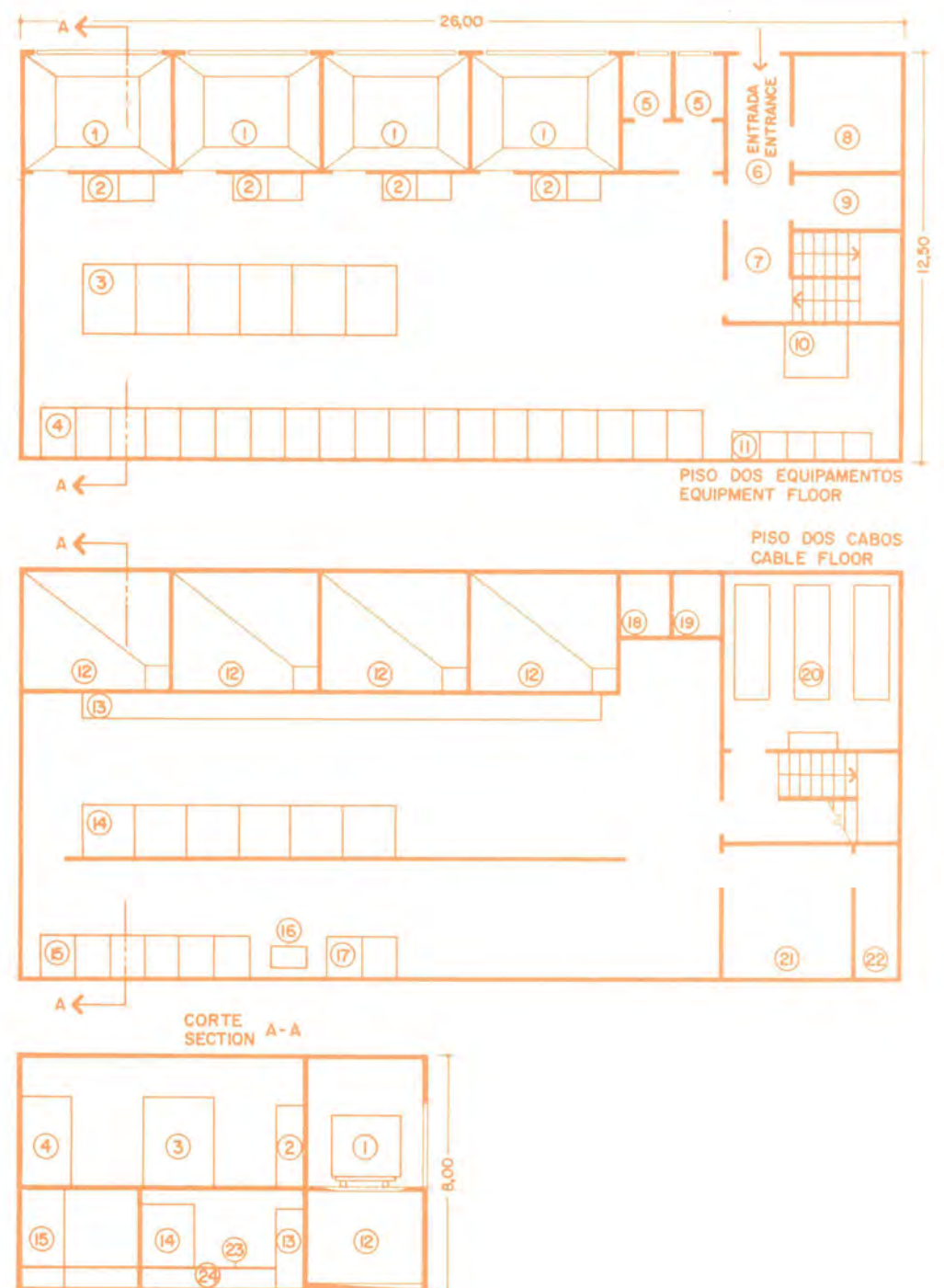
Fig. 42.13
Diagrama unifilar de uma subestação retificadora com barramento duplo de 23 kV



42.13

Fig. 42.14
Esboço da disposição de uma subestação retificadora subterrânea

- 1 — Transformador de retificação
- 2 — Retificador
- 3 — Equipamento de manobra CC.
- 4 — Equipamento de manobra 23 kV
- 5 — Transformador de serviço
- 6 — Entrada do túnel
- 7 — Corredor
- 8 — Sala de estar
- 9 — WC
- 10 — Alçapão para montagem
- 11 — Distribuição de B.T.
- 12 — Poço de captação de clophen
- 13 — Distribuição do polo negativo
- 14 — Barra e equipamento de transferência
- 15 — Secionadores de linhas CC.
- 16 — Transformador de isolamento
- 17 — Secionadores de estações
- 18 — Carregador de bateria 110 V
- 19 — Carregador de bateria 24 V
- 20 — Sala de baterias
- 21 — Oficina
- 22 — Ar comprimido
- 23 — Grelha
- 24 — Piso de cablagem



42.14

flutuações de tensão muito superiores aos valores admissíveis, que variam de um mínimo de 76 a um máximo de 91 kV. Com a implantação do plano de expansão da Light 1965/70, aliada ao melhoramento da disponibilidade de energia na Região Centro-Sul, a estabilidade de tensão poderá ser melhorada consideravelmente, de forma a assegurar aos vários consumidores de 88 kV flutuações máximas entre 82 a 90 kV. No caso dessas flutuações, se reduzirem ainda mais, em virtude da futura ampliação da rede de distribuição de 88 kV, poderia ser dispensada a instalação de reguladores de tensão automáticos nas futuras subestações primárias.

Para as saídas de 23 kV para as subestações do metrô são utilizados cabos secos subterrâneos. A rede terá cabos paralelos, de forma que, no caso de falha de um deles, continue garantida a plena operação. No caso de falha de uma subestação ou unidade transformadora, serão utilizados ambos os cabos ligados em paralelo para a transmissão da capacidade total.

Na figura 42.8 acham-se representadas as ligações de cabos das estações de 88/23 kV para as subestações do metrô e para as estações de suprimento nas estações do metrô para as instalações de 23 kV. Os cabos destas ligações foram dimensionados de forma que permitam as transferências de carga em qualquer situação de emergência ao longo da Linha Norte-Sul. Para tornar isso tecnicamente possível (Fig. 42.12) foram previstos barramentos duplos nas subestações do metrô situadas nos pontos de entroncamento.

Os valores constantes da figura 42.8 foram calculados e especificados no capítulo 25.

As subestações primárias de 88/23 kV foram planejadas basicamente como subestações automáticas, dispensando pessoal de operação. Os postos de comando estão alojados em um edifício.

Os dispositivos de comando, necessários para a manobra das instalações, são instalados em armários blindados à prova de tempo na área descoberta.

Os elementos de controle principais são acessíveis ao pessoal de operação.

As instalações ao ar livre terão controle remoto; sua operação será feita de um posto de comando central, ao qual são transmitidos também automaticamente as confirmações das manobras executadas e as leituras dos aparelhos de medição. As instalações de comando remoto acham-se especificadas no capítulo 42.5.

42.1.4.5. Suprimento de energia para a oficina de reparos

O suprimento de energia para todas as instalações elétricas da oficina de reparos, é feita através de uma subestação separada, a qual recebe sua tensão primária da rede de alimentação da Light. Desta forma, as instalações elétricas da oficina de reparos não dependem do sistema elétrico geral do serviço do metrô.

Sómente o 3.º trilho, necessário para a manobra dos trens na oficina de reparos, será alimentado pela subestação retificadora mais próxima.

42.1.4.6. Ampliação da rede do metrô

No plano da rede do metrô (Fig. 42.7), acha-se representada a rede total para a cidade de São Paulo, obtida e proposta através do presente estudo. A potência necessária estimada para o desenvolvimento total de 66,2 km de linhas, importa em aproximadamente, 170 MW. O cálculo da capacidade para a Linha Norte-Sul, bem como a respectiva necessidade de energia, cujos valores foram extrapolados para a rede total, foi baseada na hipótese de marcha com os tempos de viagem mais curtos (capítulo 42.2). A potência necessária citada representa, portanto, um valor máximo, que poderá ser reduzido, considerando-se as velocidades citadas no capítulo 40.2.3.2.

Para obter do sistema de 88 kV a energia necessária para a rede do metrô, são necessárias mais cinco subestações primárias de 88/23 kV, cuja localização aproximada acha-se representada na figura 42.7.

Para atender a demanda de 189 MVA será necessário instalar nas 8 subestações primárias a capacidade de 195/243,75 MVA, a fim de prover uma capacidade de reserva de aproximadamente 25%, que servirá para atender a eventuais desligamentos de partes da instalação em virtude de danificação de equipamentos ou para serviços de manutenção. Para garantir a possibilidade de expansões futuras do sistema do metrô, pelo menos 3 das subestações primárias deverão ser projetadas com o espaço necessário para a instalação futura de mais uma unidade transformadora padronizada, atingindo-se então a capacidade final de 240/300 MVA.

Recomenda-se manter uma ampla padronização das partes das instalações por ocasião do projeto e da execução das instalações, a fim de facilitar os serviços de reparo e de substituição de peças.

42.2. Subestações retificadoras

42.2.1. Distribuição das subestações ao longo da linha e suas dimensões

O abastecimento de energia dos veículos do metrô é feito pela rede da Light através das subestações retificadoras. Estas estão dispostas ao longo da linha e seu número foi determinado de acordo com pontos de vista técnico e econômico, adiante descrito. O abastecimento de energia correto dos veículos estará assegurado e as perdas na transmissão de energia, bem como os investimentos, serão mantidos em níveis razoáveis.

O dimensionamento preciso das instalações de abastecimento de energia exige um cálculo detalhado de cada um dos trechos da linha, baseado em um programa máximo de operações. Atualmente, um cálculo destes é executado por computadores, para o que são necessários todos os dados do traçado da linha, dos horários e dos programas de tração, isto é, dados que, no decorrer dos estudos, não foram determinados. As instalações de abastecimento de energia para a Linha Santana-Jabaquara com ramal Paraíso-Moema, que está prevista

como a primeira a ser construída, foram dimensionadas por um processo de cálculo aproximado, cuja precisão, entretanto é suficiente.

Com os valores assim calculados para a Linha Santana-Jabaquara com ramal Paraíso-Moema, será determinada a quantidade e a localização das subestações retificadoras para todo o resto da rede. Dos cálculos detalhados que foram efetuados, deduziram-se os seguintes resultados essenciais:

Nos 20,125 km de extensão da Linha Santana-Jabaquara com ramal Paraíso-Moema, existem 23 estações com a **distância média entre pontos de parada de $D = 915$ m**. A demanda máxima desta linha com um intervalo de sequência de $T_n = 90$ s é de 50.600 kW. (Cap. 25.1.1.).

De acordo com um método indicado pelo Prof. A. Patrassi, ⁽¹⁾, o número econômico de subestações retificadoras necessárias para a alimentação, foi fixado em 12.

A localização das subestações retificadoras foi escolhida tendo em vista as menores perdas possíveis na alimentação e os mínimos investimentos. (Fig. 42.7 e 42.8).

Após a determinação das tensões para os trens e para as subestações, aplicando as indicações das Publicações IEC (3,4) e tomando como distância média entre pontos de parada $D = 0,915$ km e distância média entre subestações $L = 1,829$ km, foram calculadas as seguintes correntes para trens completos:

Valor médio da corrente do trem $I = 1,99$ kA
Valor eficaz da corrente do trem $I = 3,06$ kA
Valor máximo da corrente do trem $I = 1,99$ KA

Com estes valores foram determinadas as correntes nas subestações, como segue:

Valor médio da corrente da subestação $I_s = 8,0$ kA
Valor eficaz da corrente da subestação $I_s = 8,0$ KA
Valor máximo da corrente da subestação $I_s = 20,9$ kA.

Para a cobertura desta demanda é necessária uma capacidade retificadora de 5250 kW. Em consideração à série de tipos dos retificadores de silício para a alimentação dos trens, a **capacidade nominal de uma subestação** foi fixada em **$P_{sr} = 6000$ kW**. Deste modo, uma subestação retificadora se compõe de **3 x 2000 kW derivações do retificador** e **1 x 2000 kW derivação do retificador como reserva**. Os retificadores de silício deverão ser construídos conforme a classe de carga "F" do IEC.

As instalações de abastecimento de corrente — o 3.º trilho — devem ser dimensionadas de tal maneira que as tensões mínimas fixados pelo IEC sejam obedecidas sob todas as condições operacionais. Para manter o valor mínimo de tensão e sendo usado um 3.º trilho de aço, torna-se necessária uma seção de, no mínimo, 8900 mm². O 3.º trilho, com o peso de 74 kg/m, usado em Londres, Nova Iorque e Toronto, corresponde a essa exigência, motivo pelo qual o mesmo é recomendado para São Paulo.

No dimensionamento das instalações de retorno de corrente deverão ser observados dois critérios:

a) a queda máxima de um setor de abastecimento não deve ultrapassar 90 V, e

b) em consideração às pequenas correntes de fuga e como precaução contra a corrosão eletrolítica, a queda da tensão, calculada com o valor diário médio da corrente de carga, não deve ultrapassar 5 V. (vide também o cap. 42.6.).

O resultado do cálculo efetuado sob estes aspectos, indica que o reforço necessário da seção do trilho de via TR-57 por linha é de 4 cabos de cobre, de 500 mm² cada um.

A fim de poder evitar com segurança curto-circuitos nas linhas, as menores correntes de curto-circuito deverão estar bem acima das máximas correntes operacionais. Isto somente acontece, quando o setor de abastecimento não ultrapassar um determinado comprimento. Como demonstra o cálculo, este comprimento não é ultrapassado nas distâncias escolhidas entre as subestações, podendo ser dispensados pontos de interligação entre as subestações.

As instalações de abastecimento de energia foram dimensionadas de tal forma, que em caso de paralização de uma subestação retificadora, as duas estações vizinhas poderão assumir o abastecimento do trecho de linha correspondente. A queda de tensão conseqüente, manter-se-á, como o cálculo demonstrou, dentro dos valores-limite fixados pela IEC, quando, nestes casos de emergência, se determina pequenas restrições operacionais.

A localização das subestações retificadoras das demais linhas da rede foi determinada com base nos resultados da primeira linha, o traçado da linha e a distribuição das estações (Fig. 42.7).

42.2.2. A disposição de uma subestação

42.2.2.1. Dados gerais

A função da subestação retificadora é garantir o suprimento de energia elétrica aos veículos do metrô, em corrente contínua. A corrente trifásica em alta tensão de 23 kV é abaixada à tensão operacional do metrô pelos transformadores, e retificada nas unidades de retificação. De acordo com as suas funções, uma subestação retificadora compreende os seguintes componentes:

⁽¹⁾ Prof. Ing. Patrassi, Angelo: "La scella della tensione di elettrificazione per le ferrovie urbane e suburbane a forte traffico", Ingegneria Ferroviaria, 1964, Aprile.

As instalações de manobra de corrente trifásica em alta tensão, os transformadores, os retificadores, os painéis de corrente contínua, os disjuntores de corrente contínua, as instalações para os serviços auxiliares, as derivações de alimentação das estações, as instalações de comando remoto e alarme, e a parte de construção civil.

O diagrama unifilar da subestação retificadora é mostrado na figura 42.13.

42.2.2.2. A instalação de manobras de corrente trifásica em alta tensão

A instalação de manobras de corrente trifásica em alta tensão compreende o sistema de barramentos, a entrada de alimentação proveniente da subestação distribuidora — se for o caso — com as derivações para as subestações adjacentes, assim como o barramento da subestação propriamente dita com as derivações para os transformadores.

Das 12 subestações retificadoras planejadas para a Linha Santana-Jabaquara com o ramal Paraíso-Moema, três receberão uma alimentação pelas subestações distribuidoras intermediárias (88/23 kV) através de dois sistemas de cabos de corrente trifásica independentes um do outro (Fig. 42.8).

Para a melhor distribuição da carga entre os circuitos de abastecimento, é conveniente equipar as subestações retificadoras abastecidas por subestações intermediárias, com um sistema de barramentos duplos. Nas ramificações e cruzamentos também deverão ser previstos barramentos duplos, a fim de facilitar, operacionalmente, a livre distribuição da carga do abastecimento auxiliar. Além disso, o sistema de barramentos duplos aumenta a segurança operacional e facilita a manutenção. As restantes subestações retificadoras somente terão barramentos simples.

Na figura 42.13 é mostrado um diagrama de circuitos de uma subestação retificadora com barramento duplo. Conforme a capacidade instalada, a instalação de alta tensão abrange as seguintes células:

2 a 6 células para a alimentação vinda da subestação distribuidora com saídas para as subestações retificadoras adjacentes; 1 conjunto de aparelhos de medição, 3 a 5 derivações para os transformadores e retificadores; 1 conjunto de medição para os serviços auxiliares, 1 derivação para o transformador de serviços auxiliares, 1 derivação para o transformador de sinalização e 1 derivação para alimentação da estação.

Conforme a capacidade instalada, o conjunto do equipamento de alta tensão deverá ser dimensionado para uma capacidade de ruptura de 250 MVA ou 350 MVA.

Para a extinção de arcos, os disjuntores poderão operar com ar ou líquido. No Brasil são usados, quase sem exceção, disjuntores que operam com líquido, chamados de reduzido volume de óleo. O custo da manutenção e as medidas dos mesmos são superiores às dos disjuntores a ar comprimido que, porém, ainda não são fabricados no Brasil, devendo ser, eventualmente, importados. As manobras dos

disjuntores são efetuadas por comando remoto no painel individual.

No caso de não serem utilizados disjuntores removíveis, então cada disjuntor deverá ser equipado com um seccionador. Os seccionadores deverão ser travados em relação aos disjuntores, de maneira que não poderão ser manobrados sob carga.

Se um disjuntor está livre dos dois lados, isto será avisado por um sinal luminoso "LIVRE". Um dispositivo de curto-circuito e ligação à terra deverão ser previstos para as três fases; em cada célula, deverá haver conexões para os mesmos. Para os disjuntores das derivações para as estações, a capacidade de ruptura de 250 MVA é suficiente. O acionamento dos disjuntores poderá ser elétrico ou pneumático. As duas modalidades deram bom resultado em serviço. A escolha do tipo de acionamento depende das ofertas das firmas fornecedoras.

Subestações retificadoras com barramento duplo serão dotadas com disjuntores de acoplamento dos barramentos.

42.2.2.3. Transformadores do retificador

Considerando a possibilidade de sobrecarga dos retificadores, a capacidade dos transformadores do retificador 23/0,825 V para 2.400 A de corrente contínua nominal, é dimensionado em aproximadamente 2.300 kVA. A tensão dos transformadores poderá ter ajuste fixo dentro de uma tolerância de $\pm 2,5\%$. Como ligação será escolhida a YYO. O tipo será para instalação abrigada, com relé Buchholtz, termômetro de ponteiro com contato de máxima, desumidificação do ar e roletes lisos para movimentos laterais e longitudinais. Para evitar incêndios em instalações subterrâneas, os transformadores receberão uma carga de piranol.

42.2.2.4. Transformadores auxiliares

Quanto aos transformadores auxiliares, deverão ser previstos: o transformador para serviços auxiliares e o transformador de separação. O transformador para os serviços auxiliares deverá ter a capacidade de cerca de 50 kVA com uma relação de transformação em vazio de 23 kV/120 V e do grupo de ligação YZ 11. Esse transformador servirá para satisfazer a demanda própria da subestação.

A demanda própria também poderá ser suprida através de uma bateria ou por uma ligação separada com a rede pública. Como a rede do metrô por motivos de segurança não pode ser ligada diretamente à rede pública, deverá ser previsto um transformador intermediário com relação de transformação 1:1.

42.2.2.5. Retificadores

Para os primeiros trens com tração à corrente contínua, a retificação da energia recebida através da rede pública era efetuada por meio de retificadores rotativos, que trabalham com altas perdas e são bem dispendiosos em relação à manutenção. Com o desenvolvimento técnico, foram substituídos por retificadores a vapor de mercúrio, que tiveram um desempenho operacional relativamente bom.

Ultimamente o retificador de silício, a variante mais econômica de retificador a seco, se impôs em geral. O tipo de construção à ventilação normal não tem partes móveis, sujeitas a desgaste. Assim sendo, as despesas de manutenção ficaram reduzidas a um mínimo. A gama da temperatura de ignição é tão vasta, que o retificador praticamente trabalha sob qualquer condição climática. Devido à construção de muitos elementos de silício ligados em série e em paralelo, a segurança operacional é muito grande, principalmente com a derivação paralela geralmente prevista. Assim sendo, para o abastecimento de energia do Metrô de São Paulo são propostos retificadores de silício. Estes deverão ser construídos com conexão em ponte trifásica e serem dimensionados para uma capacidade nominal de 2000 kW. A possibilidade de sobrecarga deverá ser calculada de acordo com a classe de sobrecarga "F" da IEC — Publication 146. Além disso, os dispositivos de proteção dos lados de corrente trifásica e corrente contínua deverão ser ajustados de tal maneira que os diodos não sejam supersolicitados.

42.2.2.6. Instalação de manobras de corrente contínua

A extensão da instalação de manobras de corrente contínua pode ser vista no diagrama unifilar da figura 42.13. O mesmo se compõe essencialmente do barramento de corrente contínua de 825 V, do barramento negativo, do barramento de desvio e das ligações e derivações dos barramentos. As derivações terão seccionadores e disjuntores. O travamento entre o seccionador de cabos, os respectivos disjuntores e a chave de derivação, deverá ser de tal maneira que só seja possível manobrar com os disjuntores desligados. Além disso, só deverá haver a possibilidade de ligar uma única derivação com o barramento de desvio. As chaves de linha deverão poder interromper rapidamente todos os curto-circuitos que ocorrerem; a sua característica deve levar em conta a proteção dos retificadores. O acionamento pode ser efetuado do próprio painel de distribuição ou através do comando remoto.

A fim de aumentar a segurança operacional, deverá ser previsto um dispositivo de controle de curto-circuito. Por ocasião de um desligamento do disjuntor da linha, poderá ser ligado — através de um relé — uma resistência de teste ao terminal do disjuntor aberto, com a finalidade de examinar a resistência do trecho alimentado.

Este dispositivo de teste deverá permitir uma simples averiguação da carga restante do referido trecho de linha.

Aproximadamente 10 s após o desligamento do disjuntor por sobrecarga, será efetuado o primeiro teste durante 4 s. Novos testes serão feitos a intervalos de 20 s até o religamento do disjuntor ou conforme o caso, até que decorra um tempo ajustável de no máximo 2 min.

O bloqueio do disjuntor só será liberado quando a sobrecarga, o curto-circuito ou o sinal de defeito no respectivo trecho tenham desaparecido. Os 10 s até o primeiro controle individual são necessários, a fim de garantir o retrocesso da chave de cames até a posição zero.

Na disposição das armações, dos dispositivos de segurança e proteção e da ligação à terra, deverão ser observados os respectivos regulamentos e normas. Principalmente, deverão ser consideradas as providências relativas à proteção contra a corrosão eletrolítica, recomendadas no capítulo 42.6.

42.2.2.7. Instalação para os serviços auxiliares

A instalação para os serviços auxiliares abrange o transformador de demanda própria; o transformador intermediário com ligação à rede; a bateria com o dispositivo de carregar; o barramento com as saídas e as respectivas chaves. Todos os aparelhos para a distribuição de energia de corrente trifásica de 120 V e de corrente contínua de 120 V/24 V deverão ser convenientemente instalados em um painel.

Para o abastecimento de emergência deverá ser prevista uma bateria de chumbo. A capacidade da mesma deverá permitir que, tanto a demanda própria da subestação como a iluminação de emergência das estações e dos túneis, possa ser atendida durante cerca de 3 horas. O retificador de carga e compensação deverá ser construído com regulagem de tensão constante e limitação da intensidade de corrente.

No caso de serem empregadas chaves de acionamento a ar comprimido, uma instalação de compressores de dimensões adequadas, deverá ser prevista. Por motivos de segurança, a capacidade dos compressores deverá ser distribuída para dois conjuntos, sendo que os motores deverão ser comandados de tal maneira que, no caso de consumo elevado de ar ou falha de um conjunto, o outro seja ligado automaticamente. Ao mesmo tempo, os reservatórios de ar deverão ser dimensionados de tal forma, que em caso de falha total da instalação geradora de ar comprimido, um terço das chaves acionadas ainda possam executar dois ciclos de manobras "Ligado-Desligado" com pressão suficiente.

42.2.2.8. Comando remoto e instalação de alarme

Em relação à técnica de comando, as subestações deverão ser formadas de modo que as mesmas possam ser comandadas tanto nas subestações, como através de um comando central remoto. Um painel de manobras na subestação contém todas as instalações importantes de manobras e alarme. O comando remoto é

Fig. 42.15
Posição do 3.º trilho com tomada inferior de corrente

Fig. 42.16
Posição do 3.º trilho com tomada superior de corrente

tratado mais detalhadamente no capítulo 42.5.

42.2.2.9. Divisão do espaço das subestações

A divisão, em princípio, de uma subestação retificadora de 4 unidades retificadoras é demonstrada na figura 42.14. No exemplo mencionado a subestação é de dois andares. No andar superior, o chamado andar das instalações, encontram-se os transformadores e retificadores; a instalação de manobra para 23 kV e corrente contínua; a distribuição de baixa tensão; os transformadores da demanda própria e uma sala de estar. As células para os transformadores retificadores são providas de aberturas para o exterior, pelas quais as unidades poderão ser introduzidas ou retiradas. No caso de instalações subterrâneas, as aberturas deverão ser do lado da via, a fim de que as unidades possam ser introduzidas vindo transportadas pelos vagões do metrô. Nas instalações de superfície pode-se transportá-las por caminhão, até a entrada do edifício. Para tanto deverão ser previstas, na construção as respectivas rampas. No andar inferior, o chamado andar dos cabos, encontram-se os seccionadores, a sala de bateria, os aparelhos de carregar a bateria, uma pequena oficina e a instalação de compressores. Além disso ali ainda se encontram as caixas de descarga do óleo dos transformadores. Para a sala de baterias deve-se prever boa ventilação. É imprescindível que os regulamentos de segurança sejam observados.

As medidas inscritas no esquema apresentado mostram as dimensões aproximadas de uma subestação padrão do metrô. As mesmas servem para a verificação do espaço necessário e servirão de base para o projeto da obra civil para as instalações.

A disposição demonstrada é somente uma das alternativas possíveis, sendo que, no projeto detalhado, a divisão deverá ser adaptada às condições locais e à respectiva capacidade. As dimensões dos elementos de construção individuais oferecem para tanto os dados necessários.

42.3. Alimentação de energia aos veículos

42.3.1. Dados gerais

A alimentação de energia para as automotrizas é efetuada através de fios trolley ou através do 3.º trilho. Conforme o tipo dos veículos empregados e principalmente de acordo com a tensão alimentadora, será empregado um ou outro tipo de construção. No serviço ferroviário normal, geralmente é usado o fio trolley. Devido às altas tensões, às intensidades empregadas, as seções dos fios de contato, são relativamente pequenas. A execução mais econômica é a suspensão por meio de catenária. Este sistema de instalação do fio trolley requer espaço adicional na parte superior e também maiores distâncias de segurança devido às altas tensões empregadas. Para os metrô, cujas linhas, na sua maioria, passam em túneis, estes fatores representam enormes aumentos de custo, motivo pelo qual, o 3.º trilho é preferido para a alimentação de energia.

Comparado com o fio trolley, o 3.º trilho tem a vantagem de ser muito mais robusto e oferecer maior segurança operacional. Como o peso do 3.º trilho não tem tanta importância, como ocorre com o fio trolley, é possível conseguir menor queda de tensão, graças às maiores seções. Os custos da instalação do 3.º trilho, são um pouco mais elevados que para o fio trolley, porém são mais que compensados pelo custo menor na construção de túneis, pois os gabaritos de passagem livre são bem menores. Após estas explicações, propõe-se, para o Metrô de São Paulo, o 3.º trilho para a alimentação de energia aos trens.

42.3.2. Seleção do tipo de construção para o 3.º trilho

O 3.º trilho que está disposto ao lado da via poderá ser contatado pelo coletor de corrente, montado na carcaça ou no truque da automotriz, tanto por baixo, como por cima, ou pelo lado.

Na Europa, geralmente é preferido o contato com o 3.º trilho pelo lado de baixo (Fig. 42.15). Perante os outros tipos de construção, este sistema tem a vantagem de permitir melhor revestimento, possibilitando uma proteção mais eficiente contra contatos acidentais. Além disso, a área de contato situada na parte inferior está muito menos sujeita a depósitos de sujeira. Mesmo dentro das condições de São Paulo onde não há problema de manter o 3.º trilho livre de neve, este fator não deverá

ser desprezado. A fixação do 3.º trilho com contato por baixo é mais onerosa que nos outros tipos. Mas, como nesta disposição o afastamento entre o 3.º trilho e o dormente é maior, os isoladores ficam relativamente bem protegidos por ocasião de serviços na via. Os custos mais altos da aquisição e de montagem, geralmente são compensados pelos custos menores de manutenção. Longas experiências, na prática, demonstraram que o 3.º trilho com contato superior, fixado muito pouco acima dos dormentes, atrapalha muito os serviços na via. Além disso, os isoladores fixados logo acima dos dormentes sempre correm perigo de danificação por ocasião da socagem do lastro nas vias.

O 3.º trilho contatado lateralmente é bem pouco empregado. O mesmo exige um ajuste muito mais preciso dos coletores de corrente quanto à sua posição em altura, que nos outros casos. No caso de uma tolerância muito pequena, os coletores de corrente precisam ser constantemente adaptados ao diâmetro do aro da roda, o que representa maiores despesas de manutenção. Em vista disso, este tipo de construção não é aconselhado.

O trilho com tomada de corrente superior é aplicado, principalmente nos E.U.A. Sua principal vantagem é a fixação e a montagem simples. Desvantagem, porém, é a proteção contra toques, relativamente deficiente e o perigo que correm os isoladores por ocasião de serviços na linha. De acordo com estas reflexões, seria o 3.º trilho com contato pela face inferior o que representa as maiores vantagens. Este tipo, porém, somente é empregado, quando a seção do 3.º trilho não é muito grande, visto que a estrutura de suspensão não permite pesos muito elevados. De acordo com as pesquisas realizadas (Cap. 42.2.1.) para o Metrô de São Paulo deveria ser previsto um trilho com peso de 74 kg/m. Acontece, porém, que este trilho é pesado demais quanto à suspensão. Por esse motivo, é proposto o 3.º trilho contatado por cima, para o Metrô de São Paulo. A figura 42.16 demonstra em princípio este tipo de construção, apresentando as dimensões mais importantes.

Deverão ser escolhidos os correspondentes coletores de corrente para veículos. A fim de obter uma base segura para apoio do 3.º trilho, os dormentes deverão ter o comprimento total de 2,80 m nos pontos de fixação, com 1,50 m para o lado do 3.º trilho, a partir do eixo da via. O 3.º

trilho é de aço de baixo teor de carbono, a fim de propiciar boa condutibilidade.

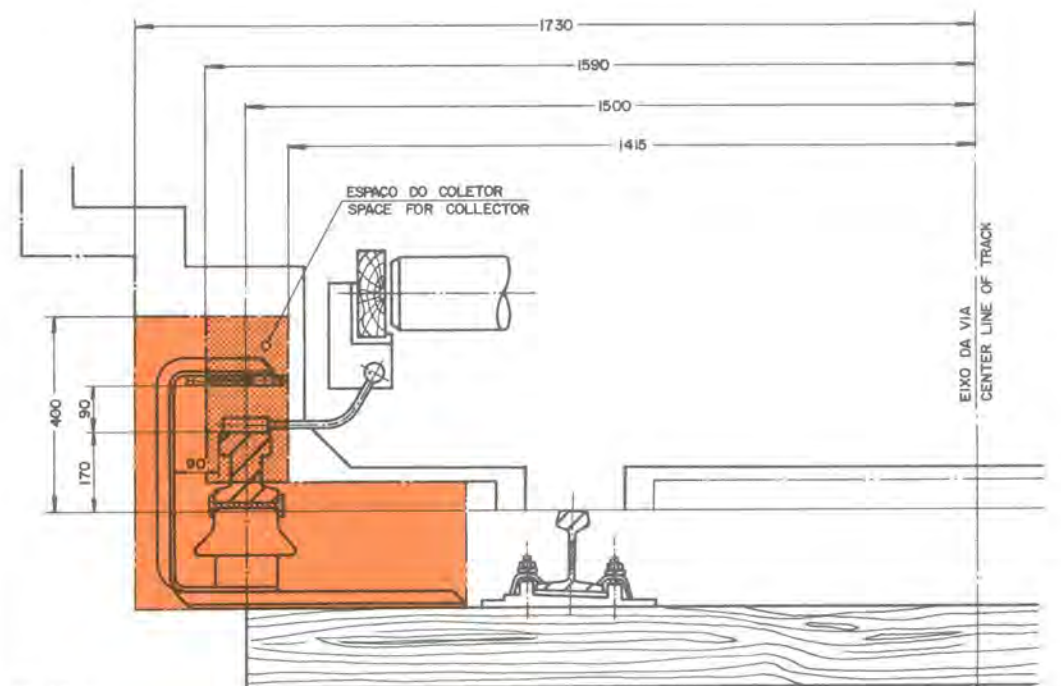
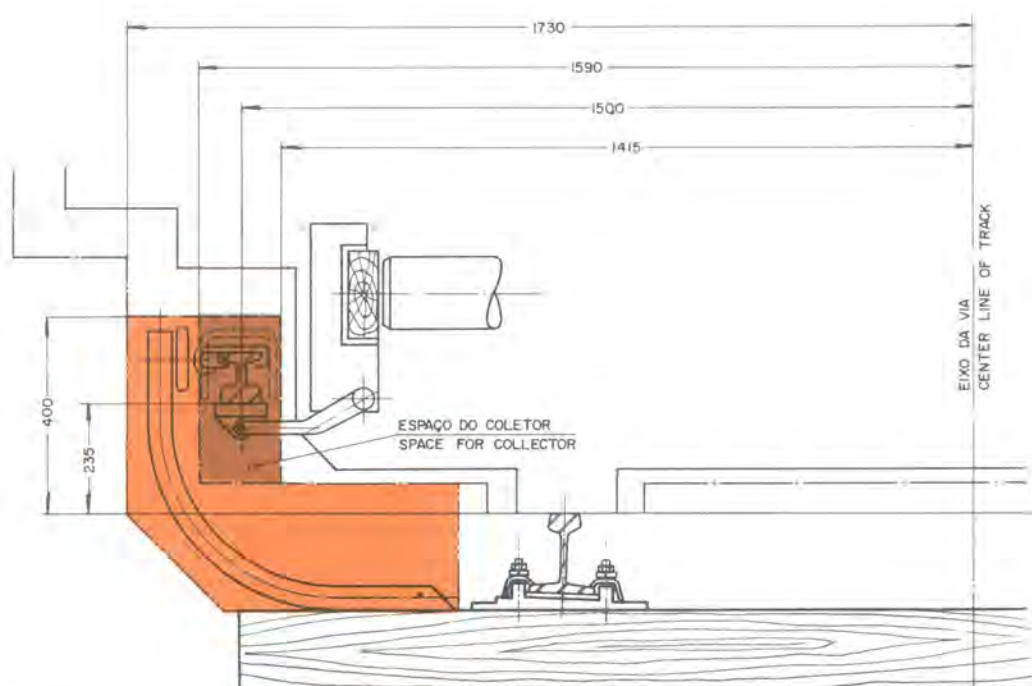
As vantagens operacionais do 3.º trilho contatado por baixo são, porém, de tal monta, que não se deve perder de vista o desenvolvimento de 3.º trilhos mais leves com a mesma condutibilidade. Entre as possibilidades hoje existentes, por exemplo, há o 3.º trilho de alumínio. Experiências com esse tipo de trilho porém, até hoje falharam, visto que o desgaste da superfície de contato, mesmo tratando-se de alumínio de tempera superficial, é muito elevado. Por outro lado, experiências com 3.º trilhos bimetálicos, com a superfície de contato em aço e o emprêgo de alumínio para aumentar a condutibilidade, foram muito promissoras. Entre os diferentes tipos de construção, o que melhor aprovou foi a execução em perfil de aço, com preenchimentos de alumínio laminado.

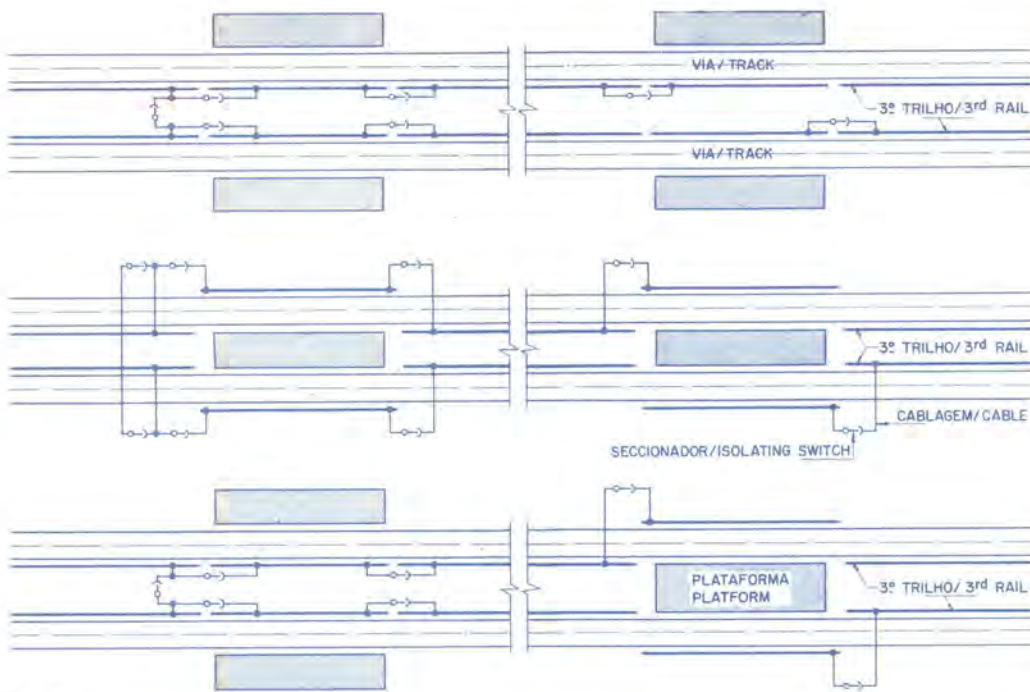
Seu emprêgo imediato, porém, ainda não é viável, em vista da falta de experiência operacional e também devido ao preço, atualmente muito elevado. Para a segurança operacional da instalação dos 3.º trilhos a qualidade dos isoladores de pino é de suma importância. Na produção dos isoladores de pino é empregada porcelana e esteatita. De acordo com a norma DIN 40685, a porcelana tem resistência à compressão de 4.500 a 5.000 kg/cm², e a esteatita de 8.500 a 9.500 kg/cm². Como justamente o isolador empregado para o sistema de 3.º trilhos contatados por cima está sujeito a altas pressões, é aconselhável o uso de esteatita para os isoladores.

Geralmente, até hoje, o revestimento de proteção dos 3.º trilhos foi executado em madeira. No caso, as despesas de manutenção são relativamente elevadas. Assim, recentemente começaram a ser usados revestimentos de poliéster com fibras de vidro, bem mais vantajosos em relação à manutenção. Outra vantagem destes revestimentos modernos é seu peso bem menor e a sua construção menos difícil e mais estética, motivo pelo qual é este o tipo que deverá ser empregado para o Metrô de São Paulo.

42.3.3. Disposição do 3.º trilho na via

Na via singela não importa o lado no qual o 3.º trilho é disposto. Por motivos de segurança operacional,





42.17

porém, deverá ser adotado em princípio, a disposição do 3.º trilho do lado oposto às saídas de emergência, ou seja, do lado oposto à plataforma. Nos trechos em túneis de via dupla — isto é, em trechos do sistema em galeria (cut and cover) — as saídas de emergência correrão ao longo das paredes externas dos túneis. Esta disposição oferece a maior segurança, tanto para funcionários, como para passageiros e também evita o perigo decorrente dos trens que transitam pela outra linha. Neste caso os 3.ºs trilhos serão colocados entre as duas linhas. A mesma disposição está prevista para os trechos elevados e em nível.

Nas estações, os 3.ºs trilhos deverão ser colocados de acordo com a disposição das plataformas. Havendo plataformas centrais, os 3.ºs trilhos dentro da área da estação ficarão ao lado externo; havendo plataformas dos lados externos das linhas, os trilhos ficarão entre estas últimas como na linha comum. A figura 42.17 mostra a disposição dos 3.ºs trilhos nestes casos.

Para a durabilidade dos coletores de corrente dos veículos e também para a preservação ao desgaste dos 3.ºs trilhos, o deslizamento suave dos contatos de fricção sobre o 3.º trilho é de importância decisiva. Porque, em cada salto do coletor de corrente é provocado um arco voltaico, que danifica a superfície, tanto do contato de fricção, como da parte superior do trilho. Superfícies danificadas aumentam a fricção, o que por outro lado aumenta o desgaste. A fim de obter um deslizamento suave, as superfícies de deslizamento do 3.º trilho deverão ser montadas o mais nivelado possível. Alterações abruptas das posições de altura ou laterais deverão ser evitadas e dever-se-á ter especial cuidado em obter transições suaves. Isto significa que a distância entre os apoios do 3.º trilho não poderá ser muito grande, devido à flexão do mesmo. Considerando o peso do 3.º trilho, com a distância de 0,70 m entre os dormentes, é aconselhável o apoio do 3.º trilho em cada quinto dormente. Com isto a distância entre os apoios será de cerca de 2,80 m.

Para absorver as modificações de comprimento motivadas pelas diferenças de temperatura, estão previstas juntas de dilatação. Estas deverão ser executadas de tal maneira, que a passagem do coletor de corrente não provoque aumento de desgaste. Como não se deverá ultrapassar determinada largura das

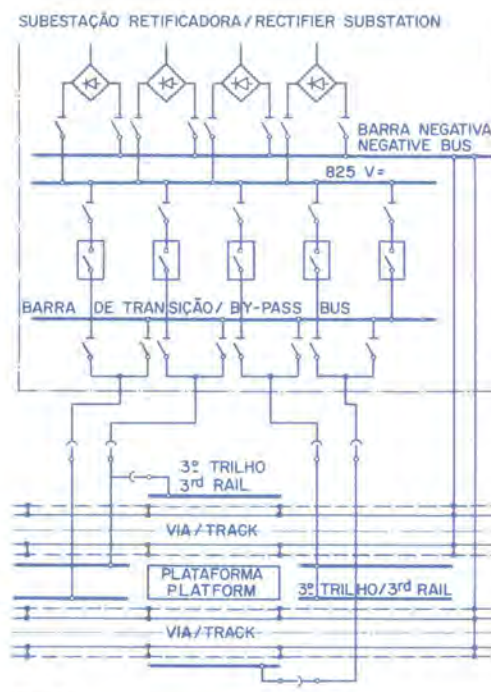
juntas de dilatação, o comprimento do 3.º trilho será limitado de acordo com as temperaturas existentes. Na Europa, o comprimento do trilho de 180 m em túneis e de 90 m na via ao ar livre, deu bons resultados. Uma vez adaptados às dimensões usuais de fornecimento e às condições da linha, os comprimentos deverão ser escolhidos dentro dos moldes aplicados na Europa.

Nos desvios, o 3.º trilho terá que ser interrompido. Para evitar a formação de um arco voltaico, a distância sem contato não deverá ultrapassar a distância entre os coletores de corrente extremos de uma unidade automotriz. Considerando o comprimento dos carros, o trecho máximo sem contato será de 37,5 m.

Nas interrupções do 3.º trilho deverão ser previstas rampas de entrada e saída. Estas deverão ser construídas de maneira que por um lado a sapata do coletor de corrente se introduza com facilidade, e por outro lado, as forças de impacto que surgirem sejam mantidas dentro de limites razoáveis. De acordo com as experiências existentes, as rampas do 3.º trilho de saída para trechos de alta velocidade poderão ser construídas com a inclinação de 1:20. As rampas de entrada poderão ter uma inclinação máxima de 1:50. Inclinações maiores apresentam o perigo de saltos dos coletores de corrente. Como as linhas do Metrô de São Paulo serão executadas para trânsito bidirecional, estes dispositivos de interligação deverão todos ser executados em um único tipo, isto é, com a inclinação de 1:50. Considerando a faixa de ação vertical do contato de cerca de 60-70 mm, rampas de curto comprimento deverão ser previstas nos pontos de interrupção. A fim de garantir uma transmissão segura da energia, mesmo com superfícies gastas, o contato deverá ser assentado antes do centro da rampa. O trecho máximo sem contato de 37,5 m estará compreendido entre centro a centro da rampa. No caso de desvios compridos, esta exigência somente poderá ser obedecida, se o 3.º trilho for levado o máximo possível para dentro da área do desvio e se a seção do trilho for diminuída em direção à ponta.

42.3.4. Circuitos elétricos para a alimentação e retorno de corrente

A alimentação do 3.º trilho, através da subestação retificadora, será efetuada em separado para cada direção, a fim de aumentar a



42.18

flexibilidade operacional. Como já foi mencionado acima, o metrô está previsto para o trânsito bidirecional. Isto significa que deverá ser possível partir com energia total nas duas direções de cada via. Interrupções do 3.º trilho, maiores que a distância entre os contatos extremos de uma composição, não serão por isso permissíveis. Assim sendo, também não pode haver trechos de proteção sem contato. Por isso também o 3.º trilho é separado na altura dos extremos da plataforma, para obter uma separação elétrica e também conseguir uma passagem sem perigo. Refaz-se a ligação por meio de cabos com chaves seccionadoras (Fig. 42.18).

Por ocasião de desligamentos de trechos da linha, as chaves seccionadoras dos trilhos serão abertas e o trecho do 3.º trilho, oposto à plataforma, será usado como trecho de proteção.

Como é demonstrado nas figuras 42.13 e 42.18, os disjuntores de carga deverão ser dispostos na subestação, sendo que as chaves seccionadoras deverão estar dispostas diretamente na linha. Para melhor proteção contra danificações externas, a alimentação vinda da subestação para a linha deverá ser executada com cabos de chumbo. A fim de permitir desligamento imediato em caso de defeito, cabos com condutor de proteção deverão ser aplicados. Na área das linhas serão suficientes cabos flexíveis, colocados em valas especiais.

Para o retorno de corrente, existe fundamentalmente a possibilidade do emprego de um 4.º trilho, de barras ou perfis, ou de cabos de cobre. As desvantagens do 4.º trilho são as construções especiais necessárias nos veículos e a dificuldade de serviço na linha que o mesmo provoca. Além disso, a seção existente para o retorno, embora isolada da terra, é muito diminuta, o que dificulta sobremaneira manter as diferenças de tensão necessárias à segurança. Barras ou perfis colocados paralelamente ao trilho também não representam solução satisfatória, pois dificultam os serviços na linha. Por isso são recomendados, para os condutores necessários ao retorno da corrente à subestação, cabos revestidos de plástico, em instalação paralela à linha, instalados em valas e ligados em intervalos regulares aos trilhos da via permanente.

A fim de evitar altas quedas de tensão no circuito de retorno, e para aumentar a proteção contra corrosão eletrolítica, estão previstas ligações

Fig. 42.17 Disposição do 3.º trilho em estações e vias

Fig. 42.18 Esquema dos alimentadores CC em uma estação

transversais de trilhos e linha. Conforme VDE 0115, § 48 b deverão ser efetuadas ligações transversais dos trilhos a cada 100 m e ligações transversais das linhas a cada 250 m. No caso presente não haverá necessidade de ligações tão frequentes, visto que as quedas de tensão no circuito de retorno serão mantidas dentro dos limites permissíveis, mesmo sem as ligações transversais. Na técnica de sinalização a ser adotada deverão ser empregadas bobinas de impedância no lugar das ligações transversais, para separação dos circuitos de áudiofrequência, necessários para a localização dos veículos. Devido às altas correntes de retorno estas bobinas de impedância são relativamente caras. Em consideração às dimensões suficientes das instalações de retorno de corrente, estas bobinas só deverão ser instaladas dentro e entre duas estações.

Em vista dos setores de alimentação relativamente pequenos do metrô, (Cap. 42.2.1.), os pontos de interligação poderão ser dispensados, para uma distribuição melhor de tensão e, principalmente, para um serviço operacional mais flexível, devendo ser previstas chaves seccionadoras para o 3.º trilho nas estações entre as subestações, também para as ligações transversais (Fig. 42.17 e 42.18).

As chaves seccionadoras deverão ser selecionadas para conduzir a corrente de regime contínuo e para interromper correntes menores, correspondentes à carga dos serviços auxiliares dos trens. Antigamente, as chaves seccionadoras do 3.º trilho eram manobradas manualmente. Últimamente, surgiram no mercado chaves acionadas por comando remoto. Este é o tipo recomendado para o Metrô de São Paulo, sendo que as chaves de manobra deverão ser instaladas no comando remoto central.

42.4. Instalações de força e luz nas estações de metrô

As instalações de força e luz nas estações de metrô são muito importantes e deverão ter um funcionamento de alta eficiência. Com efeito, qualquer falta de corrente em um transporte em massa cujas estações são, na maioria dos casos, subterrâneas, pode causar graves transtornos operacionais, e até mesmo pôr em risco a segurança dos passageiros. De acordo com as

pesquisas efetuadas (Cap. 42.1.3.), o maior grau de eficiência no fornecimento de energia é obtido através de uma ligação direta na rede de 88 kV da Light, transformando-a para 23 kV nas próprias subestações do metrô e fornecimento adequado de corrente para a iluminação de emergência e para outras instalações particularmente importantes ao serviço. Construções uniformes e emprêgo de instalações intercambiáveis contribuirão igualmente para facilitar o manêjo dos aparelhos pelos empregados, para tornar o contrôle mais simples e as verificações operacionais mais seguras.

Considerando-se os múltiplos sistemas de corrente, para a tração, para as instalações de força e luz e para o equipamento de sinalização e de intercomunicação, se deve prestar particular atenção em seguir as diretrizes sobre medidas de proteção, como, por exemplo, as que estão contidas nas normas VDE 0100 e nas prescrições para instalações elétricas ferroviárias da VDE.

42.4.1. Fornecimento de energia elétrica

Em cada estação será implantada uma instalação de alta tensão para abastecimento das instalações de força e luz. A tensão de entrada será de 23 kV.

As correntes de baixa tensão, comuns na área de São Paulo, são, geralmente: para corrente de força, 440 V; para ligações de força e luz de menor importância, 220 ou 110, 208 ou 120 e 220 ou 127 V.

Como cada estação do metrô deverá dispor de um fornecimento de corrente de emergência ligada à rede pública, deverá ser escolhido para cada uma delas um transformador com tensão secundária de 440/220-127 V. Para cada um dos aparelhos consumidores descritos a seguir, dever-se-á dispor de uma tensão de ligação dessa natureza, correspondente às suas características. Do ponto de vista de abastecimento de corrente de emergência os aparelhos consumidores de cada estação serão divididos em dois grupos:

Grupo I — aparelhos importantes, em serviço também com corrente de emergência.

Grupo II — aparelhos consumidores menos importantes, fora de serviço quando ligada a corrente de emergência.

42.4.2. Instalações de alta tensão

O tamanho das instalações de alta tensão das estações do metrô depende da capacidade elétrica necessária a ser instalada. Para as instalações é aconselhada uma padronização de capacidade. No caso será possível, de acordo com as normas ABNT, adotar, para os transformadores de 23/0,44/0,22/0,13 kV, capacidades padrão, de 300 kVA ou de 500 kVA. Assim estarão disponíveis, desde o início, e para todos os projetos, todos os dados necessários, sobre medidas, peso, preço, espaço ocupado e espaços que devem ser deixados livres.

Por questão de segurança os transformadores previstos para as

instalações de alta tensão das estações do metrô, deverão ser refrigerados com piranol, a despeito de seu alto preço, aproximadamente 45% mais caro que o óleo. O piranol tem a vantagem, em relação ao óleo, de não ser inflamável, é quimicamente muito estável, não se oxida e não explode. Além disso, é inodoro.

A instalação de distribuição deverá ser composta de uma caixa de aço inteiramente blindada a ser instalada na estação de alta tensão. De acordo com o número dos transformadores serão necessárias 3 ou 4 células. As células 1 e 2 servirão para a entrada dos cabos de 23 kV. Nas células 3 e 4 ficarão as saídas para os transformadores. As chaves deverão ser igualmente introduzidas nas células na ordem de tensões escolhidas. A capacidade de curto-circuito de toda a instalação deve ser de acordo com as determinações da Light, de, no mínimo, 250 MVA.

Ao se fazer a montagem de todos os aparelhos, dever-se-á cuidar para que haja bom isolamento das instalações elétricas em relação à construção. Por essa razão, as caixas de distribuição, bem como os transformadores, deverão ser colocados sobre suportes isolantes (moldados em resina sintética).

Devido ao acúmulo de poeira, dever-se-á tomar medidas que garantam a boa limpeza do recinto de alta tensão. É recomendável a injeção permanente de ar no recinto através de um filtro, de maneira a manter a pressão interna sempre ligeiramente superior à externa.

42.4.3. Ligações à terra

As ligações à terra dos diferentes sistemas de corrente deverão ser rigorosamente separadas, dando-se particular atenção a que sua instalação seja absolutamente perfeita.

Na ligação à terra dever-se-á fazer diferença entre o fio-terra da via e o fio-terra exterior. Conforme as condições do terreno a ligação de terra exterior será efetuada em profundidade, ou em superfície com sondas de profundidade. Antes da entrada na obra, os fios-terra até então isolados, serão reunidos a uma barra de cobre. Dever-se-á exigir de cada um dos fios-terra exteriores um valor de resistência inferior a 2 ohm. Todos os aparelhos consumidores de eletricidade da estação de metrô deverão estar ligados ao terra externo.

Os aparelhos consumidores de eletricidade situados na área do túnel, ou nas imediações do fornecimento, de energia à linha, serão ligados ao terra da via.

42.4.4. Distribuidores

O sistema de distribuição será instalado em uma sala na qual o painel de distribuição de baixa tensão será diretamente ligado à sala de alta tensão. Além dos aparelhos consumidores, o sistema disporá ainda de uma alimentação que virá da estação de alta tensão. Possui ainda, como ligação auxiliar, uma alimentação proveniente da rede pública.

As duas entradas comportarão um dispositivo de segurança contra ligação simultânea. Do painel

distribuidor principal de corrente de baixa tensão a energia será dirigida para os subdistribuidores, localizados em cada um dos setores de consumo.

Passará, igualmente, pelos distribuidores uma rede para a iluminação de emergência, em corrente contínua, cuja energia será proveniente da bateria da subestação mais próxima. A tensão dessa instalação corresponderá à da bateria, que é de 120 V.

42.4.5. Consumidores

Como fontes de consumo de energia, encontrar-se-ão, em cada estação do metrô: escadas rolantes, elevadores, instalações de ventilação, instalações de iluminação, tomadas, aquecedores elétricos, portas gradeadas e lojas, instalações óticas e acústicas.

A importância de cada uma dessas instalações, de acordo com os grupos I e II, deverá corresponder às condições próprias de cada estação, e receber solução especial para cada caso.

42.4.6. Iluminação

Ao ser executada a iluminação de uma estação de metrô, dever-se-á distinguir entre a iluminação das partes reservadas ao público e os setores reservados ao serviço.

Para a iluminação dos setores públicos deverão ser observadas as seguintes exigências:

- procurar obter o efeito certo na iluminação arquitetônica, através de luz corretamente dosada;
- provocar no usuário o efeito ótico desejado;
- utilizar elementos estandarizados, de fácil montagem;
- dispor o conjunto das instalações de tal maneira que possibilite inspeção e conserto com custos tão baixos quanto possíveis.

De acordo com as experiências colhidas em estações de metrô, o iluminamento médio necessário nos setores públicos das estações, como, por exemplo, plataformas, recintos de bilheteria e túneis para pedestres, deve ser da ordem de 180 lux. Nas escadarias, esse iluminamento deve ser de, pelo menos, 200 lux.

Os pontos de luz devem ser dispostos de maneira a obter uma iluminação geral harmoniosa em todos os setores destinados ao público. Nesse sentido se deve dar particular atenção às plataformas. Os rebordos das plataformas devem ser acentuados através de técnica de iluminação. A maneira mais adequada para se obter isso, é um cordão de luzes ao longo do rebordo. A distância do cordão de luzes do rebordo deve ser escolhida de forma a proporcionar uma sombra de contraste.

Sempre que as condições arquitetônicas o permitirem, dever-se-á dar preferência ao cordão de luzes, em lugar de pontos de luz isolados, pois o maquinista de um trem que se aproxima não é ofuscado por esse cordão de iluminação. Para se evitar o efeito de ofuscamento será necessário que se instalem anteparos em sentido transversal ao túnel, junto às luzes da plataforma, ou então situá-las no teto do recinto. A

iluminação dos recintos laterais e de serviço tem importância secundária, em comparação com a das áreas destinadas ao público. Sua intensidade deve ser escolhida de acordo com o serviço a ser executado em cada um desses lugares. Fora isso, essas iluminações não se diferenciam das de outras construções do mesmo tipo.

Deverão ainda receber iluminação os condutos sob as plataformas por onde correrão os cabos de fornecimento de energia, os cabos de sinalização, e os dos serviços internos da estação. Deverá ser prevista uma iluminação de emergência em corrente contínua, com rede separada e com lâmpadas incandescentes, para as plataformas, os recintos das bilheteria, as passagens em túneis para pedestres, as salas das operações elétricas e os túneis.

No túnel deverão ser previstos pontos de luz a uma distância de 15 m um do outro, e com lâmpadas incandescentes de 40 W. Se por acaso houver uma interrupção de corrente, essa instalação será ligada automaticamente. Poderá ainda ser operada manualmente para percurso de um trecho a pé ou nos casos de consertos na via.

42.4.7. Pannel de recepção de comunicações

Por motivos de segurança, será indispensável uma fiscalização centralizada das instalações elétricas mais importantes de uma estação de metrô. Para isso, existem duas possibilidades: englobar todas as mensagens no sistema de intercomunicação à distância da subestação e retransmiti-las à Estação Central de São Bento, ou transmitir as mensagens a cada uma das respectivas estações, ficando a fiscalização a cargo dos serviços locais. Uma centralização acarretará uma considerável ampliação das funções da central São Bento, tornando indispensável o aumento do quadro de recepção das comunicações e contrôle.

De acordo com as necessidades operacionais existentes deverá ser previsto, no mínimo, um funcionário de serviço para cada duas estações. No escritório desse funcionário poderão ser instalados os quadros e reunidas as mensagens desse trecho da linha.

Como pontos importantes necessitando de intercomunicação, numa estação de metrô, se deve contar:

- Escadas rolantes;
- Iluminação do túnel;
- Iluminação das plataformas;
- Bombas;
- Ventilação.

Do ponto de vista da segurança contra perturbações e eventuais interrupções é aconselhável uma subdivisão dos circuitos.

42.5. Contrôle central de fornecimento de energia

Já há dezenas de anos que se utiliza com sucesso dispositivos de comando à distância, nas empresas de fornecimento de energia. A grande experiência no ramo tem estimulado sua aplicação, também nas linhas de tráfego ferroviário urbano e de longa distância. As instalações de contrôle

remoto fazem convergir para uma, ou poucas centrais, comunicações de comutação, controle e alarme, a partir de estações elétricas com postos situados distantes uns dos outros. Servem, assim, para a racionalização dos serviços ferroviários pela economia de pessoal e a aceleração das operações de manobra. Ensejam ainda a possibilidade de fiscalizar, a partir de um posto central, o desenrolar de todas as operações, constatando imediatamente toda e qualquer falha, e providenciando imediatas providências para sua remoção.

Os sistemas eletromecânicos inicialmente utilizados, como por exemplo, os comandos remotos de seletor foram aperfeiçoados parcialmente, ou substituídos em sua totalidade, por meio de dispositivos eletrônicos.

No que diz respeito à técnica de relés, também a eletrônica proporcionou a vantagem de ampliação da capacidade das instalações, com dimensões reduzidas, de possibilidades mais rápidas de transmissão e controle, bem como menores custos de manutenção pelo emprego de elementos de ligação sem contatos. Em comparação com as instalações de comando remoto utilizadas nas empresas de fornecimento de energia e ferrovias de longa distância, as tarefas para estas instalações eram muito diminutas nas empresas de transporte a curta distância, motivo pelo qual um sistema eletromecânico, de custos bem mais baixos, satisfazia as exigências.

Como se pode notar no setor internacional de transportes a curta distância, há uma tendência geral para a automatização total das operações ferroviárias, com altas acelerações, bem como alta sequência de trens e mínimas distâncias entre trens. Isto, porém, exige a centralização das instalações de controle e de comando, com mensagens e comandos de manobra extremamente rápidos. As instalações elétricas, fixas do metrô, a serem comandadas através de uma central, distinguem-se das instalações das ferrovias de longa distância e das empresas de fornecimento de energia, pelo fato de se situarem relativamente juntas uma da outra. Assim as instalações nas subestações poderiam ser manejadas eletromecanicamente, mas, como a experiência demonstrou que para os metrô — já em consideração às futuras expansões das redes — os sistemas de comando remoto oferecem a melhor solução.

Nos modernos sistemas deste tipo, todas as conexões de transmissão e recepção, que participam de todos os processos de transmissão, compõem-se exclusivamente de elementos de construção eletrônicos. As entradas e saídas são comandadas através de relés. Estes sistemas podem transmitir qualquer quantidade de comandos, informações e valores de medição.

Há algum tempo está se tentando reunir em um sistema as tarefas de telecomando da sinalização com o comando remoto da instalação elétrica, fixas, o que diminuiria os custos das instalações e do sistema de reposição.

42.5.1. Transmissão

As experiências têm mostrado que, em geral, a comunicação em linha conjunta, também chamada

comunicação série ou de linha única, adapta-se bem para o controle das instalações de fornecimento de energia e sinalização de ferrovias eletrificadas. Em um único cabo duplo podem ser ligados vários aparelhos de postos distantes. Para a transmissão de sinais de comando, mensagens e sinais, escolhe-se condutores em cabos de intercomunicação remota situados ao longo da via.

42.5.2. Sistema de controle remoto

Comandos e mensagens são elaborados independentes uns dos outros e transmitidos por canais separados. O serviço na direção da emissão opera-se, em geral, espontaneamente. No sentido da recepção, pode-se escolher operação espontânea e cíclica. O tipo de transmissão espontânea é particularmente apropriado para a transmissão rápida de mensagens para mudanças. No caso a recepção da informação sucede pela mudança de disposição. Ao contrário, com tipo de transmissão cíclica, as informações são regularmente transmitidas em série de intervalos pré-determinados. Cada uma das vantagens dos tipos de transmissão acima citados, ou seja a repetição contínua da transmissão de informações em funcionamento cíclico, e a transmissão rápida de sinais de mudança em funcionamento espontâneo podem ser aproveitadas pelo emprego simultâneo do funcionamento misto, espontâneo-cíclico. O capítulo 23.4.4. contém algumas descrições técnicas abreviadas sobre algumas instalações de comando remoto eletrônico.

42.5.3. Posto de manobras

Básicamente dispõem-se para a disposição e instalação dos elementos de controle e de operação nos postos de comando do metrô das mesmas possibilidades que nas empresas de fornecimento de energia elétrica. Tem-se em particular, a escolha entre mesa ou painel de distribuição. Qual dessas duas instalações é a mais apropriada para cada caso, depende essencialmente da importância das instalações de telecomando, mas também do espaço que pode ser posto à disposição.

42.5.4. Investimentos

Para os sistemas mais antigos que, de acordo com as explicações

anteriores, não servem para o Metrô de São Paulo, em vista da desejada automatização total, não há possibilidade de comparação de preços correspondentes ao nível de preços atuais.

A fim de determinar-se corretamente os investimentos necessários para um sistema de telecomando moderno, todo eletrônico, primeiro precisaria ser elaborado um projeto detalhado, no qual deverá ser determinado o volume total e completo da instalação de comandos e mensagens e de transmissão.

Para comparação, porém, pode-se utilizar uma instalação de metrô, para a qual já existem cálculos. Esta instalação tem ao total 92 subestações, para as quais são necessários 2890 comandos e 6835 mensagens. Os comandos e as mensagens são transmitidos pelo sistema todo eletrônico com uma velocidade telegráfica de 200 Baud.

As linhas do metrô se cruzam no centro da cidade, onde também está prevista a instalação da central de comandos.

O preço desta instalação, incluindo linhas de transmissão, montagem e início de funcionamento, sem a remuneração para o pessoal especializado e sem despesas de alfândega e de transporte é de aproximadamente US\$ 950.000.

42.5.5. Resumo

Para o Metrô de São Paulo é proposto um sistema de comando remoto completamente eletrônico, e com possibilidades de ampliação. Na central de controle remoto serão reunidos — em relação ao espaço — as instalações de comando do equipamento elétrico e fixo, e da instalação de sinalização. Para o funcionamento estão previstos mesas e painéis de manobras.

A central de comando deverá supervisionar as condições operacionais de todas as instalações fixas e das operações metroviárias.

Todas as peças da instalação poderão ser comandadas à distância, bem como acionadas manualmente.

Transmissões erradas das informações devem ser impossibilitadas através de adequadas medidas técnicas. Além disso ainda deverá haver a possibilidade de uma futura programação das tarefas de comando e controle.

42.6. Problemas de corrosão e ligação à terra

42.6.1. Generalidades

Nas instalações ferroviárias de corrente contínua o processo de retorno da corrente deve, em geral, efetuar-se através dos trilhos de tração e dos cabos de retorno colocados paralelamente aos trilhos.

A experiência mostra, contudo, que as correntes de retorno podem escapar dos trilhos para o leito da via. A corrente de retorno utiliza-se ainda de outros caminhos de fuga às vezes a grandes distâncias das instalações da linha propriamente dita. Essas correntes, assim chamadas de dispersão ou de fuga, provocam freqüentemente corrosão eletroquímica nos condutores metálicos situados nas proximidades das linhas. Particularmente atingidos por esse fenômeno são as canalizações e os cabos instalados ao longo dos trilhos.

A ameaça de corrente de fuga é maior nos trechos assentados em superfície aberta, onde a resistência de transmissão das linhas para o solo adjacente é menor do que nos trechos elevados ou de túnel. Na maioria dos casos, os trechos assentados em superfície aberta ocorrem somente no perímetro externo das cidades. Em comparação com o perímetro urbano, é pequeno o número de canalizações e de cabos ali existentes, sendo assim mais fácil a adoção de medidas especiais de proteção.

No intuito de reduzir ao mínimo a corrente de fuga e seus efeitos, é necessário que se tomem certas precauções, que serão descritas a seguir.

42.6.2. Prescrições e normas

Divergem as opiniões nos círculos especializados a respeito da proteção mais apropriada contra a corrosão. Inúmeras são as prescrições e normas apresentadas. No que concerne particularmente às condições de trechos em túnel, pouco se tem dito, contudo, nessas prescrições.

As principais normas estão relacionadas a seguir:

UIC-Merkblatt 605-1
(Internationaler Eisenbahnverband)
Schutz gegen elektrolytische Korrosion
Einrichtungen in Gleichstrom-
Fahrleitungsnetzen zur Verringerung
der Gefährdung benachbarter

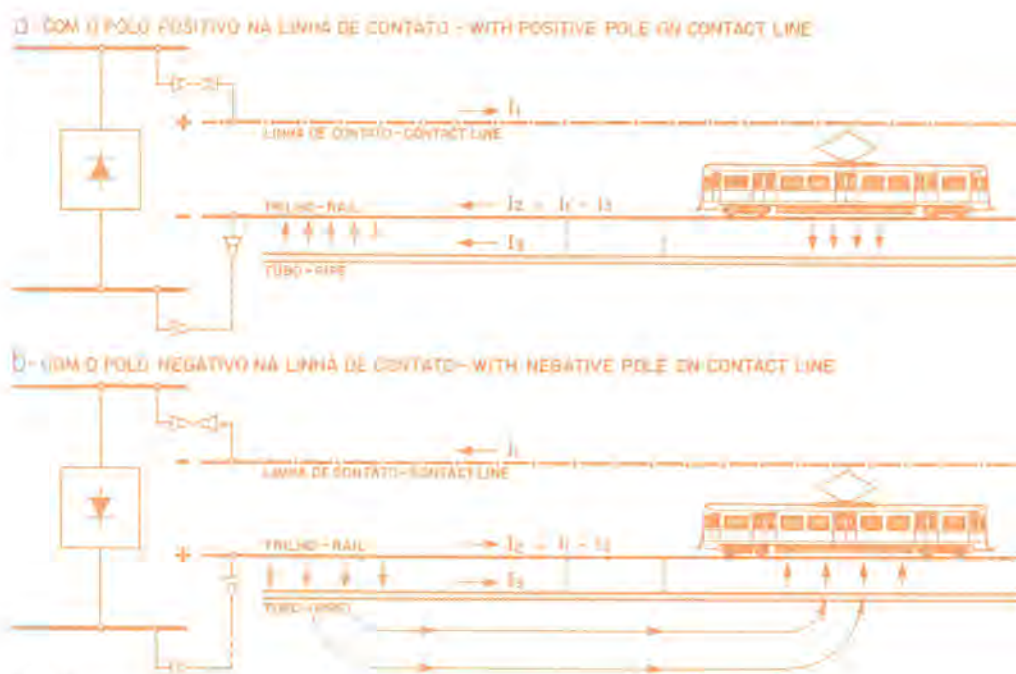


Fig. 42.19
Condições de corrente de fuga

Leitungen durch elektrolytische Korrosion.

UIC-Merkblatt 605-2
(Internationaler Eisenbahnverband)
Schutz gegen elektrolytische Korrosion
Massnahmen, die an Rohrleitungen in
der Nahe von Gleichstrombahnen zu
treffen sind.

VDE 0115/3.65
(Verband Deutscher Elektrotechniker)
Bestimmungen fuer el. Bahnen
§ 49 Massnahmen zur Verringerung
der Streustroeme von
Gleichstrombahnen.

VDE 0150/3.65
(Verband Deutscher Elektrotechniker)
Bestimmungen zum Schutz von
Rohrleitungen und Kabeln gegen
Korrosion durch Streustroeme aus
Gleichstromanlagen.

VOV — Empfehlungen 6.66
(Verband Oeffentlicher
Verkehrsbetriebe)
Empfehlungen fuer Massnahmen zur
Verringerung der Korrosionsgefahr
durch Streustroeme fuer die
Durchfuehrung von
Schutzmassnahmen zur Verhuetung
von zu hohen Beruehrungsspannungen
bei Tunnelanlagen fuer
Gleichstrombahnen.

C.C.I.T.T.
(Comité Consultatif International
Télégraphique et Téléphonique)
Recommandations concernant la
protection des cables souterrains
contre la corrosion.

Considerando-se as normas acima
descritas e os dados experimentais de
metrô existentes, foram elaboradas
as normas para redução da corrente
de fuga e, conseqüentemente, da
corrosão eletrolítica descritas a seguir:

42.6.3. Medidas de proteção para a redução da corrosão eletrolítica

42.6.3.1. Instalação elétrica

a) A escolha da polaridade da
corrente em sua instalação tem
importância decisiva no
desenvolvimento do fenômeno de
corrosão. Se o polo negativo for ligado
ao 3.º trilho, a corrente de tração
(Fig. 42.19a) sobe da subestação
através dos trilhos de tração e dos
cabos de retorno até o carro motor e
volta então através do 3.º trilho para a
subestação retificadora. Caso haja
fuga de corrente, a transmissão se
opera depois da saída nas vizinhanças
da subestação retificadora, através
dos cabos e tubos paralelos aos
trilhos para o veículo. Portanto, o

ponto de fuga da corrente
movimenta-se com o trem em
movimento ao longo de toda a linha.
Como a corrosão se verifica nesses
pontos de fuga da corrente dos cabos
e tubos que servem de condutores,
com o polo negativo ligado ao 3.º
trilho, a rede de tubos e cabos
instalada na área adjacente
deteriora-se em toda a sua extensão.

Ao contrário, estando o polo positivo
ligado ao 3.º trilho, a corrente de
tração segue caminho inverso ao
acima descrito (Fig. 42.19b). Como
neste caso a corrente de fuga
abandona os cabos e tubulações nas
imediações da subestação retificadora,
a área sujeita a danificações
limita-se à vizinhança da subestação.

Com essa polarização só há corrosão
numa área restrita, de maneira que é
mais fácil a execução de medidas
anti-corrosivas (por exemplo, desvio
da corrente de fuga com escoadouro).
No Metrô de São Paulo o polo
positivo será ligado ao 3.º trilho,
beneficiando-se das vantagens acima
descritas.

b) As causas da corrente de fuga são
quedas de tensão particularmente
altas nas instalações de retorno. Por
isso, estas quedas de tensão devem
ser mantidas nos níveis mais
baixos possíveis. Sobre esses níveis
tem-se, por experiência, os seguintes
valores:

A queda máxima da tensão no retorno
não deve ultrapassar 90 V.

A queda média de tensão no retorno,
calculada por meio do valor diário
médio da corrente de carga, deve
limitar-se a 5 V.

As instalações de retorno da corrente
do metrô, devem, pois, ser planejadas
de forma a manter os limites acima.
Por essa razão, para se manter dentro
desses limites, a resistência de
retorno deverá ser reduzida por meio
de cabos paralelos aos trilhos e a
distância entre as subestações deverá
ser abaixo de 2 km, quando a
sucessão de trens é de 90 s. Uma
soldagem tecnicamente perfeita dos
trilhos é também condição prévia
para a baixa resistência elétrica.

42.6.3.2. Ligação à terra

No intuito de se evitar uma
transmissão do potencial dos trilhos
para condutores dispostos nas áreas
fora do túnel, é preciso que a ligação
terra da via e a ligação terra do
sistema de água sejam perfeitamente
separadas uma da outra.
Encanamentos, envólucros de cabos e
suas blindagens não devem por isso

ter nenhum ponto onde possa haver
ligação condutora de eletricidade.

Nos trechos situados em superfície
aberta não é, contudo possível uma
separação completa entre ligação
terra da via e ligação terra do sistema
de água. Medições de corrente de
fuga deverão indicar se neste caso é
preciso prever dispositivos
anti-corrosivos nos tubos e cabos, e
também se não seria conveniente
separar elétrica e galvânicamente o
trecho externo do trecho em túnel.

O fornecimento da corrente de força,
luz e sinalização no túnel só pode ser
através da rede de abastecimento
público por meio de transformadores
com enrolamentos independentes,
para que a "ligação terra da corrente
alternada" (= ligação terra do sistema
de água) permaneça isolada da
ligação terra da via.

Ligação terra da via e ligação terra do
sistema de água não devem ter ligação
com a armação do corpo do túnel.

42.6.3.3. Isolamento

Isolamento dos trilhos

O isolamento ohmico entre trilhos e
leito da via deve ser tão eficiente
quanto possível, para que atue
amplamente contra fugas de corrente.

Em trechos de túnel relativamente
secos os dormentes de madeira sobre
lastro oferecem isolamento suficiente.

Isolamento do túnel

Caso todos os dispositivos de
proteção contra a corrosão descritos
neste parágrafo forem aplicados, não
serão necessárias medidas especiais
de isolamento no corpo do túnel para
a limitação da corrente.

Como proteção contra a umidade ou
onde o solo seja agressivo ao
concreto, o corpo do túnel é isolado
externamente. Esse isolamento
técnico atua, igualmente, como
isolante elétrico e coopera com as
medidas descritas.

Os seguintes isolamentos técnicos
estão previstos para os diferentes
processos de construção de túnel.

Em túnel aberto pelo processo "cut
and cover", as paredes externas
recebem um isolamento de várias
camadas de papelão betuminoso.

Nos trechos construídos pelo método
da couraça não se faz, em geral,
isolamento externo. Caso estes túneis
comportem "tubbings" de ferro
fundido, aplica-se-lhes um isolamento

interno de papelão betuminoso. Com
"tubbings" de concreto os túneis
recebem um isolamento betuminoso
moldado em concreto (Cap. 16.5.).

Os trechos em superfície aberta e os
elevados não recebem nenhum
isolamento especial.

Outras medidas no corpo da obra

Os diversos lances de túnel devem ser
interligados eletricamente para que
haja proteção contra corrosão e para
proteção contra tensões muito altas de
contato.

Deve tomar-se cuidado para que não
haja nenhuma ligação metálica entre
os trilhos e a blindagem do túnel.

Esta também não deve ter nenhuma
ligação metálica com a blindagem de
construções estranhas. (p. ex.,
alicerces de edifícios), encanamentos
ou envólucros metálicos de cabos,
devido a possível propagação de
corrente de fuga.

Encanamentos, cabos de fornecimento
de energia e de intercomunicações do
metrô devem ser, sempre que possível,
introduzidos no corpo do túnel.

42.6.4. Resumo Final

O meio mais eficaz de restringir a
corrente de fuga, e portanto, de evitar
corrosões, consiste em manter baixa a
queda da tensão no retorno da
corrente, dispensando atenção
particular ao valor médio da queda
de tensão. Caso sejam levadas em
consideração todas as medidas
apontadas, é de se esperar uma
suficiente proteção contra a corrosão.
Medidas complementares (para
proteção de encanamentos e de
cabos), particularmente nos trechos a
céu aberto, só poderão ser adotadas
uma vez concluídas as instalações, de
acôrdo com medições de correntes de
fuga efetuadas.

50. Normas fundamentais para a manutenção

50.1. Bases para manutenção do material rodante

50.1.1. Considerações gerais

Para que não venham a surgir problemas operacionais, os trens devem receber conservação destinada a mantê-los sempre em perfeitas condições de operação nos períodos de serviço. Do ponto de vista do tráfego, providências devem ser previstas a fim de que o passageiro fique bem impressionado com o estado de manutenção dos carros. Estes dois requisitos, de ordem operacional e de tráfego, só podem ser preenchidos se os trens forem periodicamente inspecionados no que tange à sua segurança operacional e sua adequação para o tráfego. Esses períodos de revisão devem ser previamente fixados com base nos quilômetros percorridos. Um esquema periódico de tratamento e limpeza dos veículos deve ser preparado, indicando os diferentes trabalhos a serem executados em cada período a fim de conservar os carros em atraentes condições de uso.

O vulto e a frequência dos serviços de manutenção dependem essencialmente do tempo de trabalho, sem revisão, dos elementos utilizados na construção dos veículos. No intuito de reduzir ao mínimo o tempo fora de serviço para revisão dos veículos, se deve reunir os serviços em determinados grupos de inspeção. Os prazos de revisão devem ser fixados com base na experiência das operações. A frequência das revisões deve ser basicamente determinada pelo intervalo necessário para a manutenção do grupo, do menor espaço de tempo ou da menor quilometragem percorrida.

O seguinte esquema para manutenção e conservação é idealizado de acordo com estes pontos de vista.

50.1.2. Esquema de manutenção

Para o controle das condições de segurança de operação dos trens, haverá os seguintes testes ou inspeções, cuja oportunidade deve ser decidida com base nos quilômetros percorridos.

Diariamente, antes do início do serviço, o maquinista deve fazer um teste de funcionamento do trem. Particular atenção deve ser dada para que todas as falhas verificadas anteriormente sejam eliminadas.

Deve-se verificar se o coletor de corrente, a chave geral, o comando de marcha, os fusíveis, as instalações de ar comprimido, de sinalização, de iluminação e de fechamento das portas estão em ordem e funcionam corretamente. Deve-se verificar também, se os veículos estão unidos corretamente entre si e se o freio está ligado em todos os veículos, funcionando perfeitamente.

Semanalmente, com cerca de 3 000 km percorridos, os veículos devem ser examinados por baixo. Testar particularmente:

Corpos de roda, molejo e suspensão, juntas parafusadas e rebitas, suspensão dos motores e da caixa de engrenagens e os equipamentos de freios.

Mensalmente, correspondendo a um percurso de cerca de 12.000 km, uma revisão intensiva dos elementos operacionais (R1) deve ser executada por peritos, para verificação das condições perfeitas de funcionamento. Essa revisão consta de: — verificar, desligando, todos os comandos a partir de cada uma das cabines de comando, funcionamento do maquinário auxiliar, teste de vedação dos dispositivos de ar comprimido, coletor de corrente e interruptores, motores de tração e auxiliares (abrir e trocar as escovas de comutação gastas e quebradas, eliminar as rebarbas porventura formadas nos comutadores, testar os porta-escovas e as conexões dos cabos) resistências de frenagem, de aceleração e outras, baterias (terminais de conexões apertadas) teste de curto-circuito das células, densidade de eletrolito, nível da água, dispositivos de engate dos cabos, freios pneumáticos e elétricos (válvula de comando de frenagem, dispositivo de bloqueio, equipamento de comando automático, interruptor de emergência, timoneria dos freios, lonas dos freios) sistema de iluminação, limpador de parabrisa, apito, áreas de deslize dos mancais, molas de suspensão e estado dos aros da roda. As peças devem ser limpas. Os lubrificantes devem ser complementados ou substituídos, de acordo com as prescrições do fabricante. Peças de equipamento que faltem, devem ser repostas. Depois dos serviços de vistoria os veículos devem ter todos os seus comandos ligados de cada uma das cabines de comando.

Vistoria semestral

Só se necessitam realizar inspeções pormenorizadas de tempos em tempos. Devem, sempre que possível, ser feitas de uma só vez e como

complemento da revisão mensal que coincide com o prazo de seis meses.

A revisão mensal acrescenta-se:

Revisão dos freios: abrir, limpar e lubrificar os cilindros dos freios. Verificar e ajustar a tolerância de jogo dos mancais e do jogo de balanceio; troca de bateria, troca de óleo do compressor de ar, limpeza das caixas de conexão dos cabos.

Calibragem dos aros das rodas

O perfil das rodas em suas bordas e superfícies de contato deve ser retificado ao atingir um desgaste de 6 mm. Isto pode ser realizado com os rodeiros montados, em um torno retificador operado por baixo do trem. Nas condições previstas em São Paulo, deveria haver uma retificação cada 150.000 a 200.000 quilômetros rodados, equivalentes a um prazo de cerca de 18 meses. Para melhor estabilidade de marcha dos veículos a remodelagem dos perfis das rodas deveria ser efetuada cada 18 meses, ao mesmo tempo que os serviços de revisão semestral, mesmo que o limite de desgaste não tenha sido atingido.

Um quadro esquemático elaborado de acordo com estas considerações sobre inspeções operacionais pode ser examinado no alto da figura 50.1.

Inspeção Geral (RG1)

No intuito de conservar sua capacidade operacional durante todo o tempo de utilização, os veículos devem passar por uma inspeção geral em intervalos prolongados. Todas as peças sujeitas a desgaste devem ter seus limites de uso verificados e, se for o caso, ser retificadas ou trocadas. Com a reposição de partes importantes (motores, caixa de engrenagens, rodeiros, eixos montados, truques pré-montados, combinadores de comando, grupos de ventiladores, junções, etc.) que podem ser trocados rapidamente, os tempos de parada para inspeção serão curtos e se pode, assim, economizar espaço na oficina de manutenção e carros de reserva.

Ao mesmo tempo que a inspeção geral, (RG1) podem ser também executados trabalhos importantes, tais como modernização parcial dos salões de passageiros, remodelações para melhorar a resistência ao desgaste ou aumento da capacidade operacional, proteção anticorrosiva, reforma dos assentos, dos pisos e da pintura, etc.

O intervalo entre duas RG1 depende essencialmente do tipo de construção

dos veículos, assim como da matéria prima e do equipamento empregado. A participação dos custos de inspeção nos custos totais de operação é relativamente alta, o que torna desejável seu maior espaçamento.

Para a nova construção em andamento, a data da primeira RG1 deveria ser marcada de acordo com as experiências obtidas nos testes efetuados para a colocação em operação e com os dados fornecidos nas inspeções da garantia. Contudo, não deveriam ser ultrapassados 350.000 quilômetros de percurso, correspondentes a cerca de 3 anos de funcionamento. Caso as experiências de operações mostrarem condições favoráveis, poderá, mais tarde, ser pouco a pouco aumentado o tempo entre os prazos de inspeção correspondentes a limites de quilometragem.

Na parte de baixo da figura 50.1 foi tomado como padrão o espaçamento de três anos entre cada inspeção geral (RG1).

Inspeção geral com modernização RG2

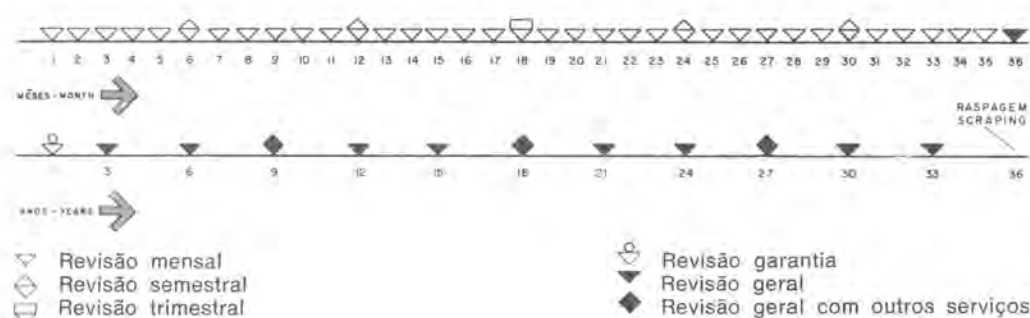
Com o intenso tráfego de São Paulo, prevê-se um considerável desgaste, sobretudo das instalações internas. Assim, uma reforma completa deverá ser prevista de 9 em 9 anos, mais ou menos. Nessas ocasiões seria desejável proceder a uma modernização do interior dos carros, de acordo com o gosto da época. No esquema da figura 50.1, parte inferior, foi previsto um espaçamento de 9 anos entre cada RG2.

50.1.3. Esquema de conservação operacional

Os serviços de limpeza, que, em parte, devem ser feitos em curtos espaços de tempo (varrer, tirar o pó, limpar as vidraças, lavar interna e externamente), devem ser executados nas horas de pouca intensidade de tráfego e, na medida do possível, ao mesmo tempo que os serviços de manutenção. Além disso, os tempos de parada e as despesas poderiam ser mantidos baixos por meio de mecanização dessas operações.

Em virtude da grande utilização prevista do interior dos carros, deveria haver **duas vezes por dia** uma limpeza a seco. Sendo necessário, nessas ocasiões haverá lavagem dos pisos e limpeza das janelas.

Uma vez por semana se deve proceder a uma limpeza das paredes



50.1

externas, do teto e das janelas, utilizando-se um aparelho mecânico de lavar, com escovas giratórias. Nos planos de circulação dos veículos (Fig. 24.5) constam as horas previstas para os serviços de limpeza diária, ao mesmo tempo que as horas de pausa operacional.

De mês em mês, os interiores dos carros devem ser lavados a fundo, desinfetados e tratados. Pode-se então, igualmente rever, trocar ou retirar os anúncios de propaganda. Também uma vez por mês, ao mesmo tempo que os serviços de manutenção mensal, deveria haver uma limpeza a fundo do chassi, do equipamento motor e da rodagem.

Finalmente, por ocasião de cada inspeção geral, deverá haver uma limpeza geral intensa e especial de todas as partes do veículo.

50.1.4. Veículos auxiliares

Os veículos auxiliares, cujo número necessário será reduzido, atingirão certamente uma quilometragem relativamente pequena na rede, tal como está prevista. Para conservar esses veículos em condições operacionais, bastará realizar cada cinco anos uma inspeção geral. Além disso, devem ser testados, mensalmente, os dispositivos de frenagem e observadas as prescrições de manutenção indicadas pelo fabricante para manter o veículo em condições de operação.

Se existe um só veículo de uma função, devem ser tomadas as devidas providências, para que suas funções nas ocasiões de retirada provisória de serviço, sejam preenchidas por outros veículos, a título de ajuda.

50.2. Diretrizes para a manutenção das instalações estacionárias

Nas instalações estacionárias do metrô estão incluídas as edificações, a via permanente, as instalações elétricas, as instalações de sinalização e telecomunicações, assim como a maquinaria.

A manutenção destas instalações deveria ser feita de maneira tal, que possam preencher todos os requisitos de um perfeito funcionamento e, além disso, satisfazer as exigências de um ótimo serviço público, especialmente no que se refere à limpeza e

apresentação. Enfim, para garantir um serviço que toda moderna companhia de transporte coletivo deveria oferecer aos usuários como melhor forma de promoção.

Uma das principais condições para manutenção eficiente e econômica é que sejam tomadas prontamente medidas de prevenção e que as insuficiências possam ser reconhecidas e eliminadas imediatamente. De acordo com a frequência, com que ocorrem determinados defeitos ou tendo em vista a segurança exigível das instalações, na maioria das vezes serão estabelecidos prazos para revisões periódicas. Com referência à extensão e ao processo das revisões, serão emitidas instruções pormenorizadas e exatas para garantir a execução objetiva e a mais perfeita possível destes serviços.

De conformidade com a periculosidade oferecida pela instalação defeituosa encontrada, os resultados das revisões serão registrados num livro próprio ou em simples relatório.

Como complementação das revisões, sugere-se instruir os funcionários do metrô no sentido de observar permanentemente as instalações e equipamentos sob seu controle.

É possível distinguir dois métodos de manutenção. Em um deles, as instalações estarão sendo fiscalizadas permanentemente, eliminando-se imediatamente qualquer falha que porventura ocorra. No segundo método, entretanto, a manutenção se processa de acordo com um esquema pré-estabelecido de manutenção periódica, incluindo certos trabalhos imprescindíveis. O primeiro método é mais subjetivo e individual, enquanto que o segundo, pela sua estrutura esquemática, apresenta características mais objetivas, oferecendo, portanto, maior segurança. Em vista disso, deverá ser este último sistema preferido, particularmente nas empresas de grande vulto.

Neste esquema, os trabalhos menores, como por exemplo: lubrificação, limpeza e pequenos consertos, serão executados por pessoal da própria companhia, devidamente habilitados, ao passo que para trabalhos maiores deverão ser contratados empreiteiros. Esta solução traz como resultado vantajoso a limitação do quadro de pessoal de manutenção. A seguir serão enumerados em resumo os principais trabalhos de manutenção nas diversas instalações.

50.2.1. Instalações de engenharia civil

As instalações de engenharia civil do metrô abrangem obras de arte e edificações em geral. Para as edificações comuns não há necessidade de formular diretrizes de manutenção específicas, pois, às mesmas se aplicam todas as regras válidas para qualquer construção civil.

As obras de arte se dividem, conforme o tipo de construção, em trechos em elevado, trechos subterrâneos, túneis e oficinas. De acordo com as características de cada uma destas construções serão elaboradas diretrizes específicas com referência a todos os aspectos que devem ser observados. Assim sendo, toda a estrutura dos trechos em elevado e dos galpões deverá ser submetida a uma revisão periódica regular. Nesta revisão a atenção deve se dirigir em particular para qualquer formação de fenda ou rachadura, quebra de pequenas partes ou qualquer outro dano, além de um controle rigoroso dos apoios estruturais. Tratando-se de elementos de aço, a pintura anti-corrosiva deverá ser renovada ou, pelo menos, retocada em intervalos regulares. Nas instalações de drenagem deve-se observar se o funcionamento é perfeito e se a limpeza foi realizada com a periodicidade necessária.

50.2.2. Via permanente

Todas as vias de tráfego deverão ser percorridas semanalmente pela dresina calibradora da bitola, cujos apontamentos gráficos demonstrarão qualquer irregularidade.

Por outro lado, a finalidade das inspeções visuais regulares das vias de tráfego é a de examinar o estado da fixação dos trilhos, e, caso haja necessidade, de eliminar imediatamente qualquer defeito eventualmente encontrado. Ao mesmo tempo se deve verificar se os trilhos apresentam algum desgaste ondulatório, alguma ruptura ou formação de rachaduras. Conforme já foi descrito é necessário que as falhas descobertas no decorrer da calibragem da bitola ou da inspeção visual, sejam sanadas com a maior presteza possível. Quando se trata de vias com dormentes de madeira assentados em lastros, as mesmas, ou seja, trechos contínuos de um curto comprimento, serão repassados periodicamente por uma turma de trabalhadores para reajustamento em altura e direção. Antes de tudo, se deve dar a maior importância à perfeita posição das vias nas rampas de superelevação e nas curvas. Para reduzir o desgaste do boleto dos trilhos e do friso das rodas, nas curvas muito fechadas com um raio de $R \leq 350$ m, nesses locais deveriam ser instalados dispositivos lubrificadores estacionários dos trilhos. Sua manutenção e limpeza são condições preliminares para o bom funcionamento.

Além disso, também os desvios deverão ser submetidos a rigorosas revisões periódicas que incluam o jacaré do desvio, as agulhas e todos os meios de fixação. Conjuntamente se testam as instalações de manobra do desvio, inclusive os dispositivos de controle e fechamento nas pontas das agulhas, para garantir funcionamento perfeito e seguro.

50.2.3. Instalações elétricas

Nestas são incluídas as instalações de alta tensão, inclusive os cabos e a rede de transmissão, instalações de corrente contínua com retificadores, subestações, trilhos condutores com sua fixação e contatos, assim como todas as instalações de força e luz.

Com referência à manutenção das instalações de alta tensão, sugere-se a plena adoção das normas vigentes no Brasil. As mesmas são observadas, por exemplo, pela "Light" e se restringem principalmente a testes de funcionamento periódicos e trabalhos de limpeza.

As diretrizes mencionadas poderão ser adotadas também no caso das subestações retificadoras, onde, todavia, os disjuntores merecerão atenção toda especial.

Como nas vias de tráfego, organizar-se-á um serviço de inspeção visual periódico do trilho condutor com relação a fixações soltas, isolamento defeituoso, etc.

Entretanto, seria conveniente que o exame visual do trilho condutor não fosse feito pela mesma pessoa que percorre as vias de tráfego a fim de inspecioná-las. Com intervalos mais prolongados deverão ser feitas revisões pormenorizadas, nas quais se verifique, também, se o limite do desgaste do trilho condutor não foi excedido.

Finalmente, as instalações de força e luz deverão ser submetidas regularmente a testes de funcionamento e revisões do isolamento. Por outro lado, é preciso assegurar, de vez em quando, que o funcionamento normal e eficiente dos grupos geradores de emergência esteja garantido.

50.2.4. Instalações de sinalização e telecomunicação

As instalações de sinalização e telecomunicação também estão sujeitas às normas gerais de manutenção, que prevêem revisão periódica.

Em vista da complexidade das modernas instalações previstas para o Metrô de São Paulo, sugere-se confiar a responsabilidade de manutenção e limpeza, pelo menos nos primeiros anos, às firmas fornecedoras. Pela experiência obtida neste período poderão então ser elaboradas normas de manutenção e confeccionados dispositivos de controle apropriados para aplicação futura.

50.2.5. Maquinaria

Na manutenção do grande número de máquinas empregadas nas instalações de um metrô, deverão ser observadas as normas gerais, assim como as diretrizes particulares a cada máquina e estabelecidas pelos fabricantes. Na maioria das vezes, os fornecedores, por exemplo, de escadas rolantes, elevadores, instalações de ar condicionado, equipamentos de ventilação, dispositivos de extinção de incêndios, grupos de bombas para drenagem e todos os tipos de aparelhos de elevação, determinam prazos adequados para a execução de revisões gerais, que, em conjunto com os regulamentos dos poderes públicos, prescrevem o procedimento nos trabalhos de revisão e manutenção.

51.1. Princípios básicos da administração de material de consumo

A manutenção do funcionamento normal de um serviço de metrô requer a estocagem dos mais diversos materiais. Esta estocagem deverá ser regulada de tal maneira que as quantidades armazenadas sejam mantidas nos níveis mais baixos possíveis, porém, suficientes para evitar a paralisação das operações por falta de material.

Os materiais podem ser classificados em materiais para a manutenção dos veículos, materiais empregados na manutenção de equipamentos estacionários, mecânicos e elétricos, de sinalização e telecomunicação, bem como materiais de manutenção da via permanente, de obras de arte e das construções civis em geral.

A estocagem em grande escala, dos materiais de consumo é dispensável, pois combustíveis, graxas, óleos e outros poderão ser obtidos normalmente a curto prazo no comércio.

O contrário se verifica com relação aos materiais empregados na manutenção dos veículos, dos equipamentos estacionários, mecânicos, elétricos, de sinalização e de telecomunicação. Para estes há necessidade de formação de estoques de maior volume, que se orienta pelo gasto por unidade de tempo e pelas respectivas possibilidades de fornecimento.

Os materiais usados na manutenção da via permanente, de obras de arte e de construções civis em geral serão fornecidos na maioria das vezes pelos empreiteiros encarregados da manutenção. Todavia deverá ser

previsto o armazenamento de quantidades mínimas destes materiais para a execução de ligeiros reparos por conta própria.

Toda estocagem deverá ser planejada de uma tal maneira, que se possa dispor, com a menor imobilização de capital, do material em quantidades suficientes para o bom funcionamento dos serviços.

51.2. Materiais de consumo geral

O abastecimento de energia elétrica deverá ser assegurado mediante contratos de fornecimento, conforme estabelecido no capítulo 42. O abastecimento de água deverá ser regulamentado de maneira semelhante. A maioria dos outros materiais necessários (Cap. 25.) é encontrada no comércio normal, sendo que uma reserva para o gasto médio de 1 a 3 meses é suficiente.

51.3. Material para a manutenção de veículos

A demanda de veículos verificada pressupõe tempos curtos de inspeção e consertos. Estes só são conseguidos, se as peças gastas ou defeituosas forem substituídas por peças novas ou recondicionadas. Assim, por exemplo, em caso de defeitos no motor de tração deverá ser trocado o truque-motor completo. Enquanto o veículo já se encontra

novamente em circulação, o motor poderá ser consertado ou, se o dano for maior, o motor danificado poderá ser substituído, ficando assim o truque em condições de serviço.

Por experiência, os fabricantes de veículos estimam e determinam a quantidade de peças de reposição necessárias para o equipamento primário. Durante a primeira fase operacional o valor destas peças deverá montar em cerca de 4% do valor do investimento em veículos.

Com o aumento do número de veículos aperfeiçoados em série, este valor deverá girar em torno de 3%.

As despesas anuais rotineiras com materiais de consumo para a manutenção de veículos, poderão ser avaliadas em aproximadamente 40% da taxa de depreciação normal anual.

51.4. Materiais de consumo para a manutenção das instalações estacionárias, elétricas, da maquinaria e de equipamentos de sinalização e comunicações

A estocagem de materiais e peças de reposição para estas instalações depende, essencialmente, da escolha de equipamento padronizado a serem fornecidos, quando possível, pelo mesmo fornecedor. A armazenagem de peças de reposição para um maior número de instalações idênticas, permite a redução essencial dos tempos de paralisação. Como a assistência técnica para instalações complicadas, no início de funcionamento, compete às firmas

fornecedoras, é de bom alvitre contratar com estas o equipamento primário de peças de reposição.

Também para as instalações estacionárias o gasto para o equipamento primário será de cerca de 3%, para a via permanente ao redor de 1% do montante do investimento. Para a reposição o valor será de 30-35% da taxa de depreciação normal anual.

51.5. Materiais de consumo para a manutenção da via permanente, obras de engenharia e edifícios:

Para estas instalações a necessidade de estocagem é mínima, pois os serviços maiores de manutenção serão efetuados por empreiteiros especializados, aos quais também compete o fornecimento do material necessário.

Materiais e peças, que podem ser danificados ou destruídos em acidente, bem como material necessário para pronta intervenção em pontos que apresentam perigo, precisam existir em disponibilidade. (Trilhos, dormentes, trilhos de contato com suporte, agulhas para aparelhos de mudança de via, jacarés, etc.).

Tendo em vista a recomendação de que a manutenção seja executada por terceiros, todo o material e equipamento por eles empregado, não será contabilizado como custo direto, mas sim, computado na indenização para as tarefas executadas pelos empreiteiros citados.

52. Instalações de manutenção

As instalações necessárias para manutenção e revisão do material rodante, das construções fixas e dos equipamentos mecânicos e elétricos, foram previstas para servir à totalidade da rede. A instalação de vias conjugadas permite o estacionamento da maior parte das automotrizes empregadas na Linha Norte-Sul.

Essa concentração permite grande economia no dimensionamento das diversas instalações e no tempo gasto para os serviços e as operações.

Está previsto construir as instalações em um terreno situado ao Sul do Jabaquara, na terminal provisória da Linha Norte-Sul. O contorno e o aproveitamento previstos para essa área de aproximadamente 13,8 ha constam da planta de situação da figura 52.1.

As instalações que forem dispensáveis, para serviços operacionais durante a primeira etapa de construção, serão discriminadas especialmente nos itens seguintes. Por motivos técnicos parece ser aconselhável, que os edifícios de algumas das instalações sejam construídos inteiramente na primeira etapa das obras.

52.1. Instalações para tratamento, revisão e manutenção do material rodante

52.1.1. Averiguação e determinação dos locais de estacionamento necessários para os veículos

Os serviços diários de limpeza interna — que serão executados à noite ou nas horas de pouco tráfego durante o dia — levarão a média de 60 minutos por trem. A paralisação de um trem poderá ser reduzida para 10 a 15 minutos, se forem empregados grupos de 6 faxineiros.

A revisão de transmissões e truques a ser feita sobre uma vala de vistoria cada 6 dias leva cerca de 30 minutos por trem. Com 140 trens funcionando por dia e um acréscimo de 20% de perda, a respectiva vala de vistoria deverá estar ocupada.

$$\frac{140 \cdot 0,5 \cdot 1,2}{6} = 14 \text{ horas por dia}$$

Igual espaço de tempo levará a limpeza externa, que também deverá ser feita de 6 em 6 dias, em instalação de lavagem mecânica, com escovas rotativas.

A revisão mensal do mecanismo (R1), juntamente com os serviços de conservação e pequenos reparos, levará cerca de 45 horas por composição. A revisão mais detalhada do mecanismo (R2), que deverá ser feita cada 6 meses, gastará aproximadamente o dobro do tempo. Considerando que cerca de 12 oficinas poderão trabalhar simultaneamente sem mútuo estorvo, nas composições formadas de 6 carros, isto é, 3 unidades duplas, a paralisação de um trem geralmente durará cerca de 4 horas para o R1 e 8 horas para o R2.

Para a revisão do mecanismo (R3), que deverá ser feita aproximadamente cada 18 meses e que inclui o acerto dos perfis das rodas feito abaixo do piso, serão necessárias cerca de 150 horas de trabalho (das quais 30 horas serão gastas pelo torno de rodas instalado sob o piso da oficina). Para a determinação do tempo de parada supõem-se que, para os serviços na parte do trem que não se encontrar em cima do torno de rodas, são necessários dois dias de trabalho.

Assim sendo, para um espaço de tempo de 3 anos entre duas revisões principais devem ser calculados, por composição, para revisões:

$$\begin{aligned} 30 \text{ R1 a } 0,5 \text{ dia de trabalho} &= 15 \text{ dias de trabalho} \\ 4 \text{ R2 a } 1,0 \text{ dia de trabalho} &= 4 \text{ dias de trabalho} \\ 1 \text{ R3 a } 2,0 \text{ dias de trabalho} &= 2 \text{ dias de trabalho} \end{aligned}$$

um total de 21 dias de trabalho, em 3 anos, ou seja, 7 dias de trabalho por ano.

Desta forma, para os 152 trens automotrizes a serem conservados, considerando 250 dias de trabalho por ano (semana de 5 dias) serão necessários

$$\frac{152 \cdot 7}{250} = 4,25 \text{ postos de serviço de comprimento de um trem com vala de vistoria.}$$

Além dessas revisões, deve-se contar com falhas imprevistas, cujos reparos levarão tempos variáveis. Por experiência, calcula-se que levarão cerca de 30 a 35% do tempo previsto para as revisões do mecanismo. No caso, isto representaria, para cada trem, anualmente cerca de 2,1 a 2,4 dias de trabalho, ou sejam, respectivamente, 1,3 a 1,4 postos adicionais de serviço, do comprimento de um trem.

As limpezas mensais dos veículos, dos truques e das instalações de

acionamento, deverão ser feitas por ocasião das revisões dos mecanismos, sendo que para a lavagem interna deverão ser previstos postos especiais com plataformas de limpeza, que terão o comprimento de um trem e a altura de uma plataforma comum. Com um gasto de 30 horas de trabalho por trem, a ocupação correspondente do posto é calculada em 4 horas. Desta forma, por dia de trabalho, duas composições poderão ser atendidas por um só posto, sendo que, para 152 trens, com 25 dias de trabalho por mês, seriam necessários:

$$\frac{152}{2 \cdot 25} = 3,1 \text{ postos de lavagem}$$

com plataformas laterais de limpeza.

Para as revisões principais trienais (RG1), com o emprêgo previsto de truques e demais peças grandes de troca, a ocupação média do posto poderá ser calculada em 10 dias de trabalho por carro.

Em um período de 36 anos ocorrerão ocupações de:

$$\begin{aligned} 8 \text{ RG 1 a } 10 \text{ dias de trabalho} &= 80 \text{ dias de trabalho} \\ 3 \text{ RG 2 a } 30 \text{ dias de trabalho} &= 90 \text{ dias de trabalho} \\ \text{Total} &= 170 \text{ dias de trabalho} \end{aligned}$$

isto é, a média anual de $170 : 36 = 4,7$ dias de trabalho por carro.

Conseqüentemente, calculando-se 250 dias de trabalho por ano, a manutenção dos 912 carros exigirá:

$$\frac{912}{250} \cdot 4,7 = 17,1 \text{ postos de serviço.}$$

Esses valores médios citados deverão ser aumentados por ocasião do projeto das instalações, a fim de que as mesmas possam atender às demandas máximas de reparos, que inevitavelmente ocorrerão durante o funcionamento do metrô.

Segundo essas considerações, a manutenção do material rodante requererá o seguinte:

A limpeza diária permanente não exigirá vias especiais, pois que será feita no local de estacionamento previsto para o trem.

Do ponto de vista operacional, estão previstas possibilidades de estacionamento para 28 trens (vias 9 a 12, 21 a 28 e parte Sul das vias 13 a 17).

Para os demais serviços, serão necessários os seguintes comprimentos de via, e respectivos postos de serviço:

um posto de comprimento de um trem, com vala de vistoria no trecho que leva à instalação de lavagem externa (via 18);
uma via de 360 m de comprimento para a instalação de lavagem externa (via 18);

cinco postos de revisão do comprimento de um trem, com galerias de trabalho para verificações do mecanismo e eventuais reparos (vias 13 a 17, no galpão). A via 8 está prevista para reparos de vulto;

seis postos de espera, do comprimento de um trem, sem cobertura e sem valas, para pequenos serviços de manutenção, funcionando como postos auxiliares no caso de demandas máximas (via 2-8 parte Norte);

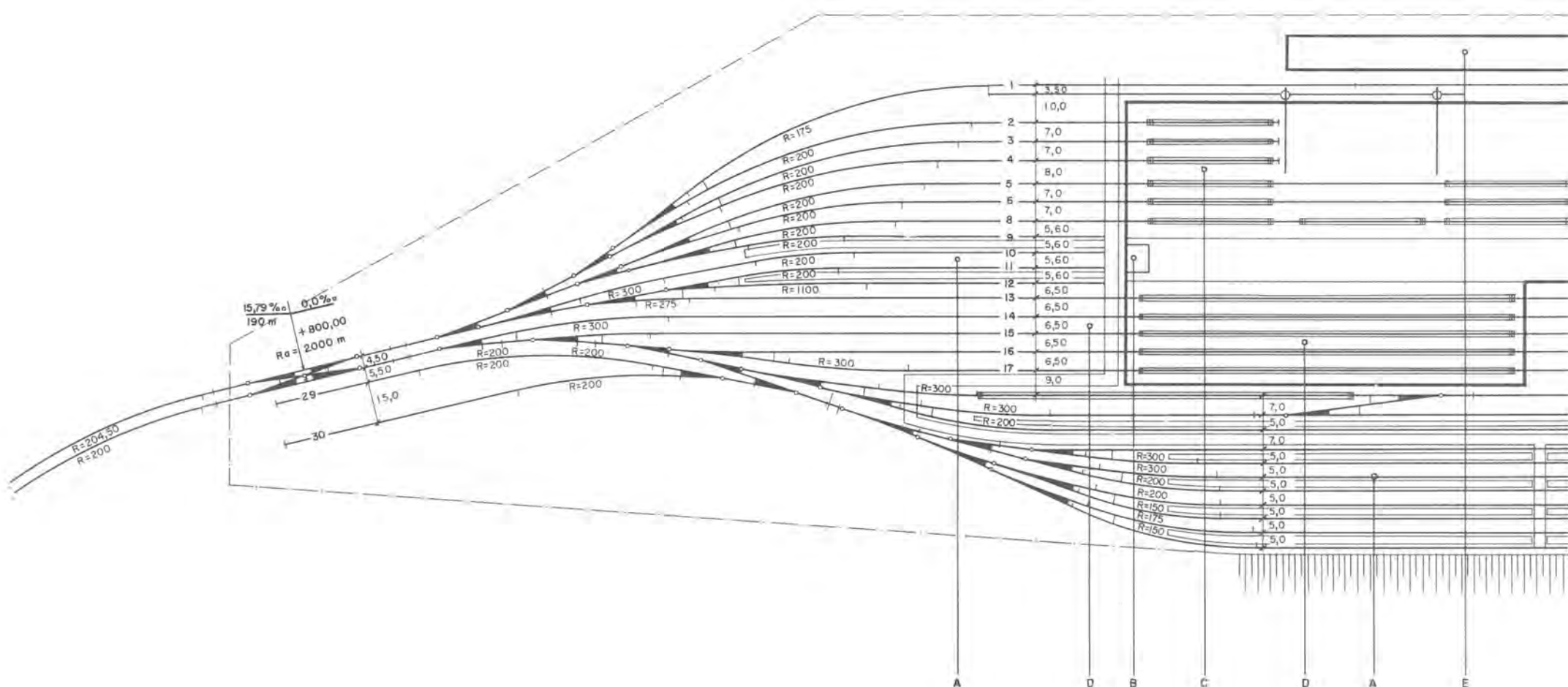
quatro postos, do comprimento de um trem, com plataformas laterais de serviço, cuja altura corresponde a da plataforma comum, para as limpezas internas mensais (vias 31 a 34);

uma via para retificação dos perfis das rodas, (via 8, parte Sul). A instalação é projetada de forma que a unidade dupla possa ser tratada sem ser separada.

Para as revisões principais as composições deverão ser separadas e os carros deverão ser levados para postos de serviço de carros individuais. Serão necessários: 18 postos, sendo que em seis grupos de dois postos seguidos (via 5 e 6) deverá ser executada a inspeção principal (RG 1) em regime de fluxo contínuo de serviço. Outros seis postos (via 2 a 4) estão previstos para serviços mais demorados (RG 2).

A quantidade de postos para revisões principais foi limitado a 18 postos, pois somente ocorrerá ocupação total da oficina, quando o veículo fornecido por último fôr submetido à sua primeira revisão principal. Nessa data, porém, certamente poderão ser escolhidos intervalos maiores de revisão, o que possibilitará uma reserva máxima de postos de reparos. Outrossim, os trechos de vias necessárias à derivação, poderão ser utilizados para depositar materiais suplementares ou estacionar veículos que aguardam peças de substituição.

Finalmente, ainda foi prevista uma via (1), na qual poderão ser colocados os veículos do metrô que foram trazidos por meio de porta-vagões rodoviários e que também poderá ser utilizada como via de saída para veículos



52.1

auxiliares ou como via de contorno da instalação total de vias.

52.1.2. Descrição das instalações (Fig. 31.88 a 31.94)

A área de estacionamento serve para guardar uma parte das automotrizs que forem dispensáveis durante a parada das operações ou durante as horas de menor tráfego. A mesma comporta, nas vias 20 a 28, um total de 19 trens; nas vias 9 a 12 ao Norte do galpão das revisões, 4 trens e nas vias 13 a 17, ao Sul do galpão, 5 trens.

Para economia de tempo e uma execução segura da limpeza diária do material rodante, estão previstas plataformas simples de limpeza entre as vias que estão dispostas em distâncias de 5 m entre si, nas vias 21 e 22, 23 e 24, 25 e 26, 27 e 28, bem como ao lado da via 20. Essas plataformas cobrem o 3.º trilho podendo abrigar igualmente os coletores de lixo.

Entre as vias 9 e 10, bem como 11 e 12, estão dispostas plataformas de limpeza correspondentes. Entre as vias 22 e 23, 24 e 25, 26 e 27, bem como ao lado da via 28 deverão ser previstas passagens para o pessoal das manobras e das operações. A passagem disposta entre as vias 20 e 21, com uma distância de 7 m entre vias, poderá ser percorrida por carrinhos elétricos, servindo — em casos de incêndio — como passagem de emergência; para tanto, estão previstos hidrantes subterrâneos para ligação das mangueiras. Na figura 52.2 acha-se representada a seção transversal da instalação. A área de trabalho nesse grupo de vias deverá ter boa iluminação.

Nas vias de estacionamento 13 até 17, ao Sul do galpão de manutenção, as quais serão ocupadas somente durante a paralisação do tráfego à noite, foram dispensadas as plataformas especiais de limpeza. Nessas vias deverão ser colocados os trens já limpos, prontos para operação.

Na primeira etapa de construção poderão ser dispensadas as vias 20 a 28. Nesta fase de operação, as vias 13 a 17, poderão servir para estacionamento dos trens que temporariamente estiverem fora de serviço. A fim de permitir a entrada nos carros, deverá ser providenciada em cada pósto de serviço uma escadinha portátil (com armação tubular e grelha).

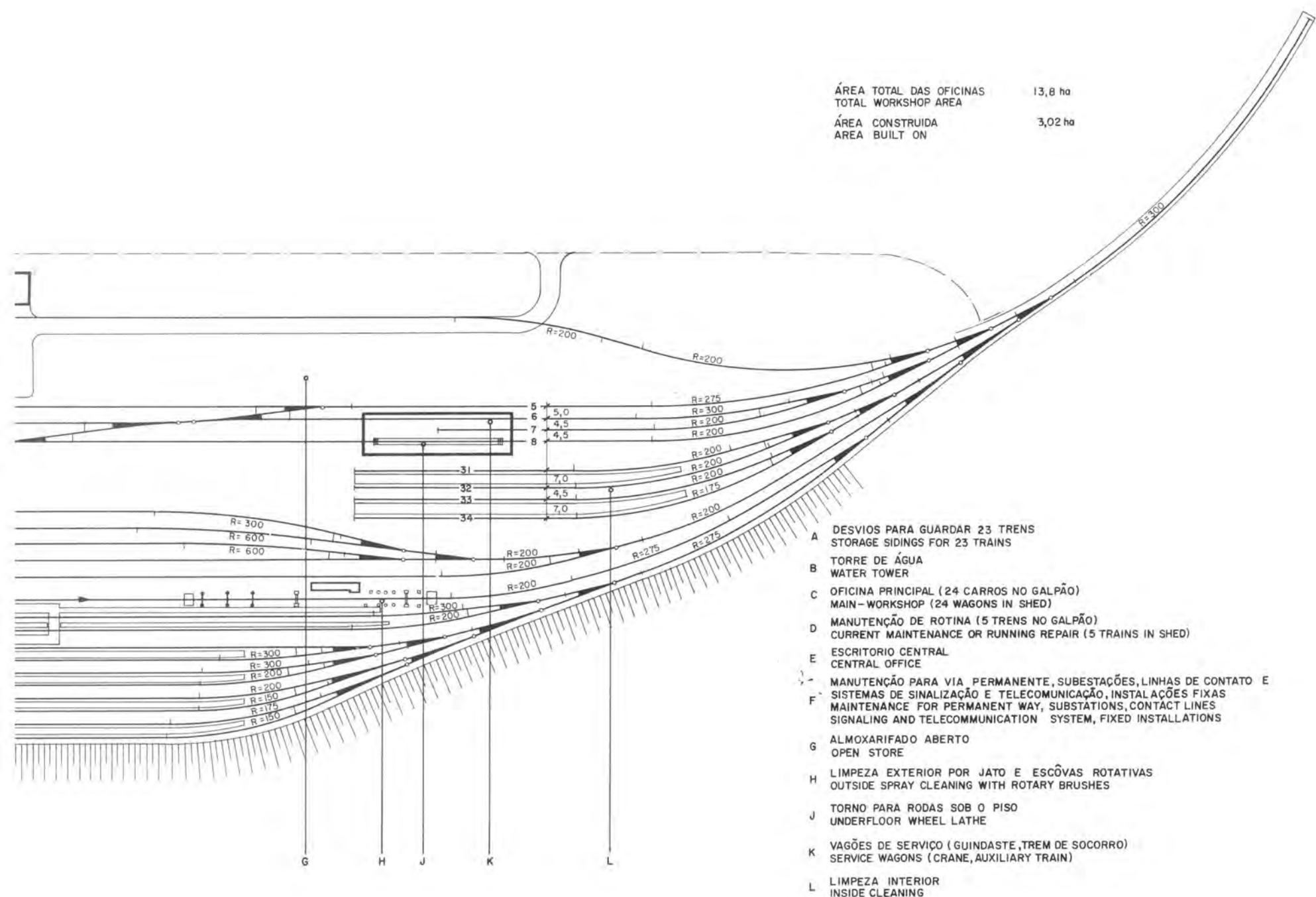
Em cada sexto dia de operação os trens passarão diretamente da estação para a via 18, onde estão a vala de inspeção e a instalação de lavagem externa. Da vala de inspeção um mecânico da revisão, auxiliado pelo maquinista do trem, verificará os mecanismos dos truques, acionamento e frenagem. Dalí, o veículo será levado para a instalação de lavagem externa (Fig. 52.3), onde estacionará com a cabina de comando da frente em cima da placa de lavagem, para a lavagem da parede frontal do veículo, que será lavada manualmente, com escovas a jato d'água, sendo que tôdas as janelas e portas serão fechadas. Daqui o trem será rebocado por um aparelho de arrasto, numa velocidade constante de 0,20 m/s através da instalação de lavagem. A parede traseira do veículo também será lavada manualmente. O aparelho de arrasto (Fig. 52.4) possui um braço de arrasto articulado, o qual — quando puxa o trem — é prêso por um rôlo ao friso de uma roda, (Fig. 52.5). Quando retorna, o braço do aparelho de

arrasto é dobrado sob as rodas do trem.

No galpão dos veículos (vias 13-17), são executadas as revisões do mecanismo (R 1 até R 3) e os pequenos reparos necessários. Foi estabelecido o comprimento de 145 m para o galpão, a fim de dar espaço para as passagens de transporte. A distância entre vias é de 5,00 m e da via 17 para as oficinas, 7,00 m. Dentro do galpão todas as 6 vias possuem valas de trabalho contínuas. Na área dessas valas o piso do galpão está 0,20 m abaixo da ST, a fim de permitir um bom acesso aos equipamentos de comando situados sob o piso do carro. Para o tráfego dos trens no galpão e para a verificação das instalações elétricas dos veículos, a alimentação de corrente é feita por meio de 3.º trilho, que está suspenso no teto do galpão a uma altura de cerca de 4,50 m acima da ST. A ligação do patim da automotriz, situado na parte inferior do veículo, com o 3.º trilho instalado no teto, é feita através de roldana e cabo de contato.

Ao Norte do galpão de veículos ainda poderá ser colocado um trem em cada uma das vias 13 a 17, para execução de pequenos reparos. No entanto, não serão necessárias valas de trabalho e coberturas. Como postos de limpeza interna mensal estão previstas as vias 31 até 34. Entre essas vias encontram-se plataformas de serviço, na altura das plataformas comuns, as quais facilitam a aplicação de aparelhos que trazem grande economia de tempo (aspirador a úmido, etc.) e que abrigam as canalizações de suprimento (água, detergentes, ar comprimido, energia elétrica) bem como os coletores de lixo.

O galpão de veículos para revisões principais (RG 1 e RG 2) e de grandes danos provocados por acidentes, se estende ao longo das vias 2 até 8. O comprimento do galpão é de 165 m, proporcionando distância suficientes entre os postos de serviço, inclusive para o transporte transversal dos truques. Os 12 postos de serviço nas vias 5 e 6, nos quais o fluxo dos trabalhos é na direção Norte-Sul, servirão para os seguintes serviços: suspender a caixa do carro dos truques, desmontagem, inspeção e conserto da caixa do carro, montagem, controle e — quando necessário — retoques após a viagem de teste. Na via 8 deverão ser executados maiores reparos necessários. Além destes, estão previstos dois postos para carros em cada uma das vias mortas 2, 3 e 4, onde serão executados reparos e modernizações que exigem serviços mais demorados e que, conseqüentemente, estorvariam o andamento dos trabalhos nas vias 19 e 20. Outrossim, os dois postos na via 2 deverão ser providos de um estrado de serviço, que possibilitará uma execução segura dos serviços a serem feitos na cobertura dos carros. As instalações para revisão e restauração das peças principais localizam-se na parte dos truques, o quadro dos mesmos, os rodeiros, os motores, as engrenagens, bem como as peças dos freios e acoplamentos (engates) percorrerão linhas separadas para os serviços de restauração. No dimensionamento dessas instalações partiu-se da premissa de que os serviços mais difíceis de reparo ou restauração, a serem feitos em determinadas peças principais, sejam entregues aos fabricantes ou contratados que possuam máquinas apropriadas e mão de obra especializada. Isto será principalmente necessário para as renovações dos



enrolamentos de induzido e do estator em motores de tração e motores auxiliares.

O pôsto de pintura a pistola, localizado entre o pôsto de montagem de peças grandes e o depósito destas, situado na parte Sul do galpão, poderá ser pequeno, já que nas construções mais recentes poucas peças do veículo são pintadas. O galpão será provido de duas pontes rolantes de 10 t. Para o transporte de peças leves estão previstos veículos especiais (empilhadeiras de carrinhos elétricos). Em determinados locais de trabalho deverão ser previstas talhas elétricas, eventualmente com monovias móveis.

Entre os galpões de veículos, existe ainda um edifício em cujo andar térreo estão localizadas todas as oficinas mecânicas necessárias, o depósito de materiais e peças pequenas e o escritório dos mestres.

Duas passagens transversais formam o elo de ligação entre os dois galpões. Sob o depósito de materiais, onde está localizada a distribuição de óleo, será construído um porão com depósito e lubrificantes.

No primeiro pavimento desse edifício, encontram-se as salas sociais para todos os empregados da manutenção e da limpeza dos veículos.

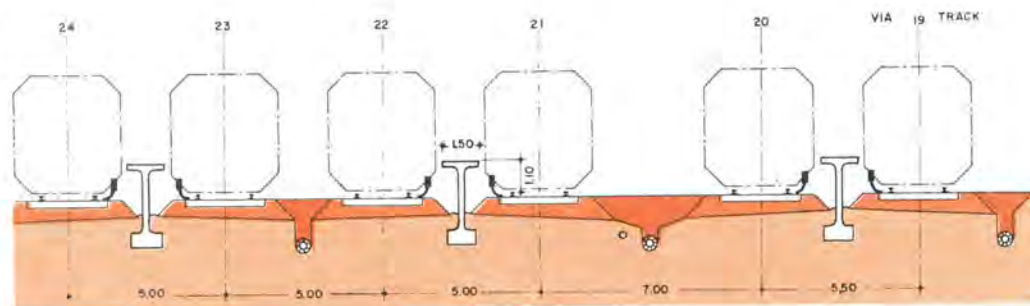
Na parte Norte do edifício está situada a chefia de operações, que dirige e controla o emprêgo das automotrizes e seus maquinistas. Para o respectivo pessoal de tráfego, que aqui inicia o seu serviço, também deverão ser previstos os necessários recintos, como salas de estar, vestiários, lavatórios e instalações sanitárias.

Finalmente, haverá ainda um andar em forma de torre na parte Norte do edifício, na qual será instalado um pôsto central de manobra de agulhas e de comando, destinado à operação nas instalações de manutenção, independentemente da operação do metrô na linha.

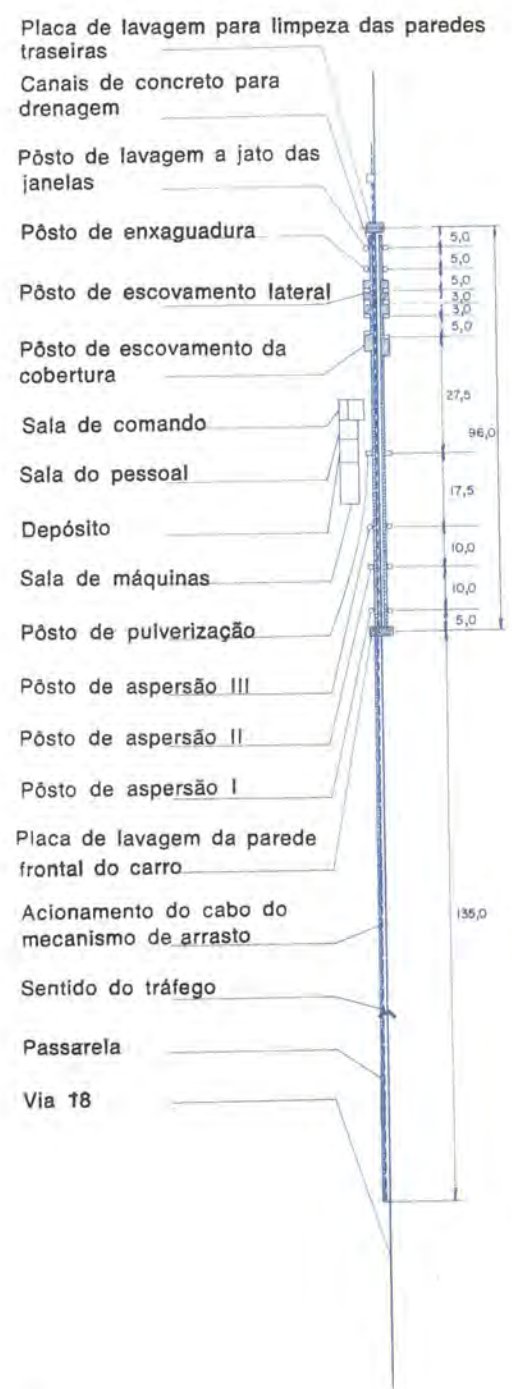
O torno no subsolo para retificação dos perfis das rodas (Fig. 52.6), bem como os veículos suplementares, serão guardados num galpão especial (vias 6, 7 e 8 ao Sul do galpão de inspeção).

As oficinas individuais, salas contíguas e depósitos foram dimensionados de acordo com a construção proposta para o veículo e os princípios de manutenção estabelecidos segundo experiências tidas com instalações similares, tendo em vista especialmente a economia de tempo

no andamento dos serviços e uma diminuição racional dos percursos. Também aqui foi prevista a distribuição usual em metrô, das revisões do mecanismo, serviços de conservação e reparos em um galpão sem elevadores e guindastes, separado das revisões principais com restauração de peças grandes em outro galpão, com elevadores e guindastes. As oficinas individuais, salas sociais e auxiliares estão reunidas em um edifício situado entre os dois galpões, sendo utilizado em comum. Esta solução melhora o aproveitamento dos espaços e das máquinas, possibilitando a adaptação da mão de obra em casos de demandas máximas unilaterais. As instalações descritas não são necessárias na sua totalidade, durante a primeira etapa de construção para os 33 trens automotrizes a serem conservados. Apesar de somente ser



52.2

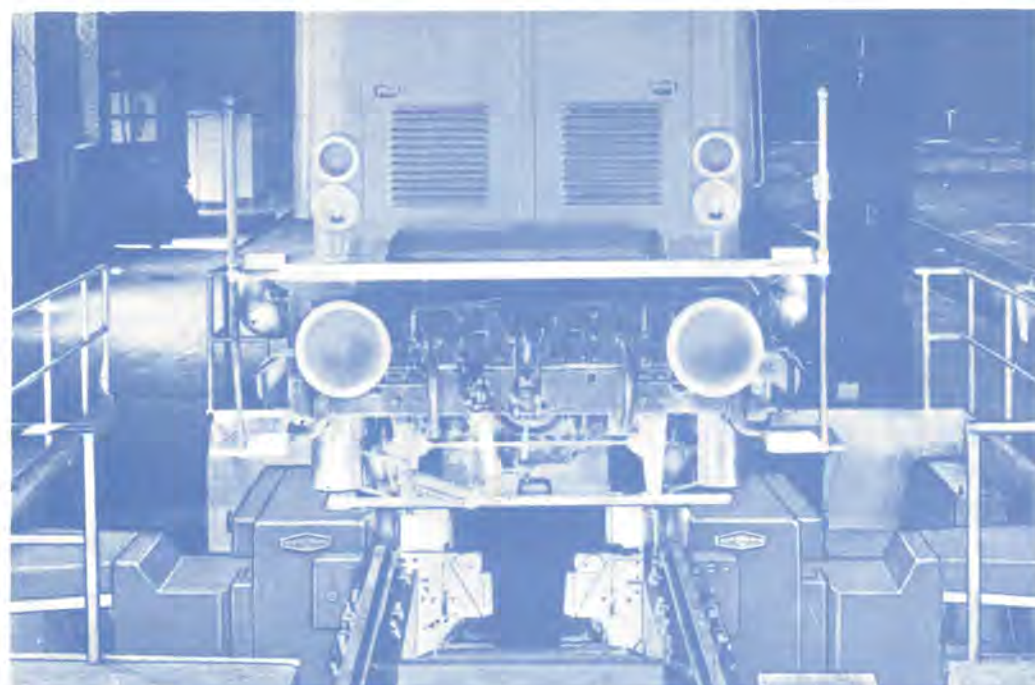
Fig. 52.1
Planta geral das oficinasFig. 52.2
Seção transversal da área de estacionamentoFig. 52.3
Esquema da instalação de lavagem externa



52.4



52.5

Fig. 52.4
Aparelho de arrastoFig. 52.5
Aparelho de arrasto rebocando o tremFig. 52.6
Tórno mecânico instalado no subsolo
para acerto dos perfis das rodas

52.6

procedida a revisão principal dos primeiros veículos 3 anos após a sua entrada em funcionamento, os elevadores já deverão ser instalados antes, a fim de — em caso de necessidade — poderem ser trocados e restaurados truques ou peças grandes. Por este motivo, é recomendável construir os edifícios para manutenção de uma só vez (ambos os galpões com o edifício central e o galpão dos veículos auxiliares). Os equipamentos, entretanto, poderão ser inicialmente limitados e completados sucessivamente, conforme a demanda crescente de veículos. Se na primeira etapa faltarem as vias 20 a 28 e 29 a 30, a limpeza diária e o estacionamento poderão ser feitos nas vias 9 a 17; os reparos ocasionais na via 8; as revisões nos mecanismos nas vias 5 e 6 e serviços especiais de grande monta, bem como verificações de garantia, nas vias 2 a 4. Igualmente, a parte das vias 31 a 34, que não fôr necessária para a limpeza interna mensal, poderá ser utilizada para a limpeza diária.

52.2. Equipamentos para a manutenção das instalações fixas

A extensão das construções, a diversidade e complexidade dos equipamentos técnicos, bem como a necessidade de fazer a conservação de uma parte dos mesmos independentemente dos serviços de empreiteiros particulares, exigem oficinas próprias para manutenção. Essas oficinas foram projetadas para "manutenção pequena" (reparos, conservação, revisões periódicas) e

para consertos de danos causados por acidentes. Devido à estreita ligação existente entre as instalações técnicas de construção e as instalações mecânicas com os respectivos equipamentos elétricos ou eletrônicos de acionamento, comando e controle, bem como os elementos similares do material rodante, considerou-se vantajoso concentrar as instalações de manutenção nas proximidades dos equipamentos para o tratamento dos veículos e colocar ali também os veículos ferroviários e rodoviários, necessários para a manutenção. Oficinas, almoxarifados, escritórios, salas sociais e salas secundárias estão situadas no edifício de serviços. Além deste conjunto, somente nas centrais de manobras e distribuição da Estação São Bento estão previstas algumas salas para os serviços de reparos.

52.2.1. Grupos para manutenção das instalações de luz e força

Os grupos para a manutenção das instalações de suprimento de corrente para a tração bem como da instalação de luz e força, também estão dispostos na área do pátio de manutenção. Ali encontram-se, além dos escritórios, as respectivas oficinas e depósitos. Uma oficina grande e um depósito de tamanho adequado são utilizados por todos os grupos de manutenção das instalações mecânicas e elétricas. Ali também está instalada uma estação de transformadores com sala de distribuição, para suprimento de energia a todas as instalações do conjunto das oficinas; uma oficina para reparos e verificação de peças pequenas e leves, e um almoxarifado estão previstas.

Juntos às subestações e às instalações de distribuição, nas estações mais importantes estão previstas salas de trabalho para o pessoal da assistência técnica.

52.2.2. Grupos para manutenção das instalações mecânicas

A estreita ligação entre as instalações mecânicas e os correspondentes equipamentos elétricos para comando e distribuição, recomendam reunir os serviços da manutenção elétrica e mecânica numa só oficina. Para consertos de peças muito grandes, existe suficiente espaço ao ar livre.

52.2.3. Grupos para manutenção das instalações de sinalização e comunicação

No mesmo edifício estão localizados os grupos para manutenção das instalações de sinalização e comunicação. Para os mesmos foram previstos escritórios, oficinas e laboratórios especiais, devidamente protegidos, quando necessário, contra pó, ruídos e vibrações.

52.2.4. Equipamentos de manutenção para instalações técnicas e construção civil

Os grupos para a manutenção da superestrutura das vias, dos prédios e das obras de engenharia civil, estão localizados na parte Sul do edifício de serviços. Aqui estão à disposição desses grupos, escritórios, uma oficina e um almoxarifado. Ainda estão previstas

uma carpintaria e uma oficina de pintura.

Está previsto ainda um grande galpão aberto, situado ao Sul do edifício de serviços, para guardar os equipamentos e os materiais de construção que precisam ser armazenados em local seco.

52.3. Demais equipamentos para a manutenção das instalações do metrô

No prédio de serviços ainda existem outros escritórios bem como salas para os aprendizes, salas de aula e a cantina.

Na área do pátio de manutenção foi planejada a construção de uma torre para a caixa d'água, a fim de garantir o suprimento de água para as instalações de manutenção.

Do lado de fora das instalações cercadas do metrô, por ocasião do planejamento urbanístico, deveriam ser previstas áreas suficientes para o estacionamento de automóveis dos empregados do metrô. Também é aconselhável a construção, de moradias nos arredores para o pessoal de manutenção, de reparos e emergência, que precisa, eventualmente, ser convocado com urgência.

53. Mão de obra necessária para limpeza e manutenção

Por ocasião da averiguação das necessidades em pessoal de serviço para a manutenção e conservação do material rodante e das instalações estacionárias, tomaram-se por base, em primeiro lugar, os dados experimentais de ferrovias semelhantes. Além disso, levaram-se em consideração a situação em São Paulo e as particularidades de cada uma das instalações. O tipo de construção proposto para os veículos e o estabelecimento de uma seqüência apropriada de serviços técnicos, permitem esperar despesas de manutenção moderadas. Por outro lado, os efeitos desagradáveis de eventuais perturbações operacionais, inevitáveis com a freqüência de trens programada para São Paulo, exigem permanente verificação das perfeitas condições de funcionamento das instalações e, por conseguinte, a

manutenção de uma equipe bastante numerosa e permanente de especialistas, para a eliminação das causas dessas perturbações. Para a determinação das necessidades apontadas a seguir, foi pressuposto que se trata de mão de obra especializada, com boa instrução, familiarizada com o serviço e empregada para trabalhar em horário integral (45 horas por semana). Reservas para faltas ao serviço (férias, doenças, etc.) foram incluídas.

53.1. Manutenção e conservação do material rodante

De acordo com pontos de vista já referidos anteriormente e com as

normas estabelecidas no capítulo 50., é de cerca de 65 o número calculado dos empregados para a manutenção dos 33 trens e dos veículos auxiliares da primeira fase das operações. Para a completa manutenção do total da rede, o número correspondente de mão de obra para as 152 composições de veículos motores é de 420 aproximadamente.

Para a manutenção operacional dos veículos na primeira etapa da obra serão necessários cerca de 95 limpadores de veículos e aproximadamente 345 para a rede total. Um terço aproximadamente dessa mão de obra será estabelecida em estações com vias de depósito para as operações de limpeza de carros motrizes que, de vez em quando, aí param com essa finalidade.

53.2. Manutenção das instalações estacionárias

A manutenção das instalações mecânicas e elétricas compreendidas no conjunto de indicações feitas no capítulo 50. exige aproximadamente 25 especialistas para a primeira etapa da obra e cerca de 100 para o total de rede.

A conservação das instalações de sinalização e de intercomunicação exige cerca de 15 pessoas qualificadas para a primeira etapa e aproximadamente 30 para o total da rede.

Cerca de 15 empregados podem encarregar-se da conservação dos edifícios da primeira etapa, enquanto aproximadamente 55 serão suficientes para a rede total.

A limpeza das instalações estacionárias pode ser feita, com aparelhagem adequada, por cerca de 55 pessoas na primeira etapa e por aproximadamente 165 na rede total.

53.3. Almoxarifado e mão de obra total exigida

A guarda do almoxarifado, a distribuição do material para os locais de consumo, estocagem e transporte interno, serão atribuídas a cerca de 25 empregados na primeira etapa e a aproximadamente 70 na rede total.

Somando-se a mão de obra necessária nos diversos serviços de manutenção, se obtém o número total do pessoal que será de 295 pessoas na primeira etapa e de 1.185 no final das obras.

60 Investimentos necessários para as construções civis

Os investimentos necessários para construções civis compreendem a cobertura dos custos de obras civis das linhas, das estações, dos prédios para as subestações e para as oficinas e galpões destinados à conservação dos trens, à conservação das instalações civis, mecânicas e elétricas, dos edifícios destinados ao pessoal de serviço e à administração. Englobam ainda os investimentos para a superestrutura e o 3.º trilho, para a compra de terrenos e demolição, bem como despesas com servidões, que devem ser incluídas nos gastos com terrenos e outros investimentos, tais como para desvio de tráfego, deslocamento de redes de distribuição, aluguel de locais, etc.

Os custos para compra de terrenos, demolição de prédios e garantias de servidão só podem ser avaliados aproximadamente. Para a primeira

etapa, as estimativas basearam-se na avaliação dos terrenos necessários, incluindo-se o valor das construções aí existentes. Também os custos de transferência de redes de distribuição só podem ser determinados através de cálculos aproximados, pois é impossível saber em que estado se encontram, devendo estar prevista a necessidade eventual de renovação completa. As estimativas de custo incluem essa possibilidade apresentando, portanto, uma variação bastante grande. Nos custos de construção estão ainda incluídas as despesas para a instalação da rede elétrica até os distribuidores principais. Nos investimentos para as estações estão incluídas também aquisição de escadas rolantes e elevadores. Não estão englobadas as despesas que não estejam ligadas diretamente à obra do metrô, como

por exemplo, o túnel rodoviário entre a Senador Queiroz e a Estação da Luz, alargamentos de ruas no quadro dos planejamentos urbanísticos, etc. Os custos da construção das linhas, das estações e outras obras da primeira etapa serão determinados pelo volume de construções previstas. Os preços apresentados em moeda norte-americana correspondem aos custos de fabricação e de material, vigentes no mercado brasileiro durante o período de maio a outubro de 1967, adaptados aos custos de instalações semelhantes de metrô dos E.U.A. e da Europa.

Uma vez determinados os valores específicos das diferentes partes das instalações para a primeira etapa, foi possível calcular, com bastante precisão, os investimentos para as construções da rede total.

Na figura 60.1 acham-se apresentados, separadamente, os investimentos das construções civis para a primeira etapa, para as linhas complementares e para a rede total.

Sobre a respectiva soma total investida, a parte referente a importações no setor das construções, eleva-se a 20% para a primeira etapa, e a 15% para a rede total. A parte importada engloba máquinas especiais de construção e, em particular, máquinas para abertura de túneis pelo método da couraça.

Classificação	Unidade	Preço unitário	1.ª Etapa		Trechos complementares		Rede total	
			Tamanho ou quantidade	Investimento milhões US\$	Tamanho ou quantidade	Investimento milhões US\$	Tamanho ou quantidade	Investimento milhões US\$
1. Construções								
1.1 Áreas e terrenos	—	—	—	4,720	—	10,926	—	15,646
1.2 Linhas								
1.2.1 Via dupla em nível	km	0,224	—	—	2,810	0,629	2,810	0,629
1.2.2 Via dupla em elevado	km	1,309	5,940	7,775	4,220	5,524	10,160	13,299
1.2.3 Via dupla em galeria	km	5,830	14,288	82,299	33,780	194,022	48,068	276,321
1.2.4 Via singela em couraça	km	7,430	0,750	5,573	4,430	32,692	5,180	38,265
1.3 Estações								
1.3.1 Normal (subterrânea)	N.º	1,974	13	25,662	32	63,168	45	88,830
1.3.2 Construção especial	N.º	10,680	3	32,040	8	85,440	11	117,480
1.3.3 Estações em elevado		0,710	7	4,970	5	3,550	15	8,520
1.4 Outras construções								
1.4.1 Edifícios administrativos	andares	0,134	3	0,402	3	0,402	6	0,804
1.4.2 Construções para oficinas de conserto	—	—	—	5,900	—	—	—	5,900
1.4.3 Construção de subestações, etc.	N.º	0,079	12	0,948	26	2,054	38	3,002
1.5. Superestrutura								
1.5.1 Vias	km/via	0,065	54,706	3,556	99,605	6,474	154,311	10,030
1.5.2 Aparelhos de mudança	N.º	0,010	87	0,870	119	1,190	206	2,060
1.6 3.º trilho	km	0,051	54,706	2,790	99,605	5,080	154,311	7,870
Custos totais das construções	—	—	—	177,505	—	411,151	—	588,656

Os investimentos necessários para instalações elétricas e mecânicas comportam os custos de todo o equipamento elétrico e mecânico das linhas, das subestações e das oficinas, bem como de distribuição de energia às estações e aos prédios, inclusive a sua ligação às redes principais de eletricidade. Incluem ainda instalações de sinalização, o equipamento técnico de sinalização dos trens, da rede de comunicação, da aparelhagem de conservação operacional dos carros, bem como das partes mecânicas e elétricas do sistema de ventilação dos túneis. Os investimentos para escadas rolantes e elevadores, já estão incluídos nos custos das construções civis.

que podem ser fabricados no Brasil, serviram de base os preços do mercado nacional, que vigoraram de maio a outubro de 1967. Quanto às máquinas e equipamentos a serem importados, foram utilizadas as listas de preço de firmas estrangeiras. Os valores para a primeira linha serviram de base para determinar os das linhas complementares. A figura 61.1 engloba os investimentos para a primeira etapa, para as linhas complementares e para a rede total.

A parte referente a importações para instalações mecânicas e elétricas elevar-se-á a cerca de 10 % para a primeira etapa e a 6,0% para a rede total.

Fig. 60.1
Custos dos investimentos nas construções

Fig. 61.1
Custos dos investimentos nas instalações elétricas e mecânicas estacionárias do Metrô

Foram estimados os investimentos para as instalações previstas na primeira linha. Para os equipamentos

Classificação	Unidade	Preço unitário	1ª Etapa		Trechos Complementares		Rede total	
			Tamanho ou quantidade	Investimento milhões US\$	Tamanho ou quantidade	Investimento milhões US\$	Tamanho ou quantidade	Investimento milhões US\$
2. Instalações elétricas e mecânicas estacionárias								
2.1. Para corrente primária								
2.1.1. Equipamento das subestações	N.º	0,915	3	2,745	5	4,575	8	7,320
2.1.2. Cabos 23 kV	km	0,017	153	2,601	387	6,579	540	9,180
2.2. Para corrente de tração								
2.2.1. Equipamento das subestações	N.º	0,465	12	5,580	26	12,090	38	17,670
2.2.2. Retorno da corrente	—	—	—	1,200	—	3,150	—	4,350
2.2.3. Comando remoto	—	—	—	1,500	—	1,500	—	3,000
2.3. Sinalização								
2.3.1. Equipamento de sinalização incl. postos de manobras a botões para oficina de conserto e pátios de estacionamento	—	—	—	0,550	—	0,450	—	1,000
2.3.2. Equipamento das vias	N.º	0,190	23	4,370	45	8,550	68	12,920
2.3.3. Equipamento dos carros	N.º	0,019	99	1,881	357	6,783	456	8,664
2.3.4. Comando operacional	—	—	—	0,500	—	0,250	—	0,750
2.4. Intercomunicação a distância	N.º	—	—	1,530	—	2,600	—	4,130
2.5. Abastecimento das estações	N.º	0,050	23	1,150	45	2,250	68	3,400
2.6. Iluminação dos túneis	—	—	—	0,480	—	1,470	—	1,950
2.7. Ventilação dos túneis (parte mecânica e elétrica, incl. instalação)	par	0,015	50	0,750	132	1,980	182	2,730
2.8. Equipamento das oficinas	—	—	—	0,500	—	0,240	—	0,740
2.9. Outras instalações								
2.9.1. Instalação para lavar veículos	—	0,300	1	0,300	—	—	1	0,300
2.9.2. Plataforma de limpeza	—	—	—	0,060	—	0,140	—	0,200
Custos totais das instalações elétricas e mecânicas estacionárias	—	—	—	25,697	—	52,607	—	78,304

62. Investimentos necessários para material rodante

O montante dos investimentos no material rodante engloba o custo dos carros motores, dos carros auxiliares sobre trilhos para as operações e para a manutenção das instalações, bem como de veículos rodoviários.

A quantidade dos carros motores para a primeira etapa e para a rede total foi determinada de acordo com a previsão da futura afluência de passageiros. Seus preços foram obtidos através de comparação com automotriz modernas de outros metrô e de consultas de preço efetuadas junto a numerosas firmas. Quanto aos outros veículos, sempre que se tratasse de fabricação em série, foram tomados os preços do mercado. Para veículos especiais, tais como locomotiva de manobras, automóveis de linha para inspeção da via permanente e composição para esmerilhamento dos trilhos, os

preços são dados por oferta de firmas ou pelos custos de fabricação fornecidos pelas estradas de ferro brasileiras ou européias. A figura 62.1 mostra a relação dos investimentos para a primeira etapa, para as linhas complementares e para a rede total. Como certas peças de comando para o equipamento elétrico dos carros motores deverão ser importadas, e como alguns carros especiais, como locomotiva de manobras de fabricação especial, composição de esmerilhamento de trilhos e automóveis de inspeção de via não são fabricados no Brasil, a parcela que representa a importação para a primeira etapa, eleva-se a cerca de 22%. Para a rede total será de 19% aproximadamente.

Fig. 62.1
Custos dos investimentos no material rodante

N.º	Classificação	Unidade	Preço unitário	1.ª Etapa		Trechos Complementares		Rede total	
				Tamanho ou quantidade	Investimento (milhões US\$)	Tamanho ou quantidade	Investimento (milhões US\$)	Tamanho ou quantidade	Investimento (milhões US\$)
3.	Veículos								
3.1	Carros motores	composições	0,900	33	29,700	119	107,100	152	136,800
3.2	Locomotivas	número	0,165	1	0,165	1	0,165	2	0,330
3.3.1	Carro diesel de trabalhadores com reboque e equipamento	"	0,050	2	0,100	—	—	2	0,100
3.3.2	Automóvel de linha para prospecção da via		0,072	1	0,072	—	—	1	0,072
3.3.3	Automóvel de esmerilhamento	"	0,800	1	0,800	—	—	1	0,800
Custos totais dos veículos		—	—	—	30,837	—	107,265	—	138,102

Os custos do projeto da administração e da fiscalização das obras, situam-se, na média internacional, entre 8 e 12% do total dos investimentos. Para São Paulo, essa média pode ser estimada em 10% do total dos investimentos.

Os investimentos, no caso, são os seguintes:

Para a primeira etapa e em milhões de dólares:

1) Construções civis	177,5
2) Instalações mecânicas e elétricas estacionárias	25,7
3) Material rodante	30,8
Total:	234,0

Para as linhas complementares:

1) Construções civis	411,2
2) Instalações mecânicas e elétricas estacionárias	52,6
3) Material rodante	107,3
Total:	571,1

Para a rede total:

1) Construções civis	588,7
2) Instalações mecânicas	78,3
3) Material rodante	138,1
Total:	805,1

Com estes investimentos, os custos dos projetos, administração e

fiscalização das obras elevam-se, aproximadamente a:

23,4 milhões de US\$ para a primeira etapa,
57,1 milhões de US\$ para as linhas complementares e
80,5 milhões de US\$ para a rede total.

Os totais definitivos serão, portanto, aproximadamente os seguintes:

257,4 milhões de US\$ para a primeira etapa
628, milhões de US\$ para as linhas complementares e
885,6 milhões de US\$ para a rede total.

Com base nas dimensões constantes do capítulo 13.1. para o carro do metrô e nos dados básicos para projeto, estabelecidos no capítulo 14.1., deverão ser calculados a seção transversal do carro em movimento e o gabarito.

Para se obter economia nos custos de construção dos trechos subterrâneos, a seção transversal do carro em movimento e gabarito serão calculados, uma vez para a curva de $R = 300$ m e outra para a curva de $R = 6.500$ m. Desta forma, o primeiro gabarito servirá para $300 \text{ m} \leq R \leq 6.500 \text{ m}$ e o segundo para $6.500 \leq R \leq \infty$.

Os dados básicos seguintes serão aplicados no cálculo:
 $L_k = 21,2$ m — comprimento total da caixa do carro
 $a = 15,6$ m — distância entre piões
 $l = 2,8$ m — comprimento do pião até a extremidade do carro
 $B = 3,21$ m — largura da caixa do carro
 $p = 2,1$ m — distância entre eixos do truque
 $q = 0,015$ m — deslocamento máximo da caixa do carro para fora do eixo da via, devido aos jogos transversais no molejo do bêrço do eixo, bem como dos mancais.
 (*) $\sigma = 0,024$ m meio jôgo da bitola = deslocamento transversal máximo da caixa do carro para fora do eixo da via, devido ao jôgo entre o friso da roda e o trilho (segundo AAR, EFCB, e EFSJ).
 $b_i = 1,6 + 0,067 = 1,667$ m distância entre as superfícies de contato das rodas de um eixo.

$S_i = 0,170$ m superelevação máxima na curva
 $\varphi = 0,85$ m/s² máxima aceleração lateral não equilibrada

$$N = \frac{\eta_s}{\delta} = 0,25$$

coeficiente de inclinação do carro, sendo que η_s é o ângulo de oscilação quasistático e δ é o ângulo de superelevação da via (segundo regulamento da UIC).

O valor $N = 0,25$ foi estabelecido empiricamente, devendo ser obedecido pelo veículo através de um arranjo adequado do molejo.

Espaçamento vertical entre o veículo e a seção transversal do carro em movimento

Para a seção transversal do carro em movimento, devem ser considerados os movimentos verticais condicionados ao molejo do carro. Esses compõem-se do abaixamento da mola devido à carga

e dos movimentos dinâmicos durante o percurso. O molejo do veículo deve ser calculado e instalado de tal forma, que a altura do piso do carro vazio seja, no mínimo, 80 mm mais alta do que a do carro lotado. Para o movimento dinâmico do carro deve ser calculado um acréscimo máximo de choque de 1,4, isto é, 32 mm adicionais no movimento da mola. Portanto, o movimento vertical total da mola importará em $80 + 32 = 112$ mm. Por motivos de segurança será estabelecido em 150 mm. Esta medida também considera o levantamento do canto externo do carro, acusado pelo movimento de oscilação.

Deslocamento da caixa do carro do eixo da via para o lado interno da curva

O deslocamento máximo da caixa do carro para fora do eixo da via, se dá quando os dois truques se acham na corda interna, bem como quando todos os jogos transversais são explorados para o lado interno. Essa posição acha-se demonstrada na figura A.14.1. Assim, o deslocamento da caixa do carro do eixo da via é calculado para qualquer ponto entre os piões pela fórmula:

$$Y_i = \frac{a \cdot n \cdot n^2}{2R} + (i + q) \times \frac{p^2}{8R} \quad (1)$$

Para o meio comprimento do carro deve ser calculado com $N = \frac{a}{2}$.

Na curva com $R = 300$ m será adotado:

$$Y_i = \frac{15,6 \cdot 7,8 - 7,8^2}{2 \cdot 300} + 0,024 + 0,015 + \frac{2,1^2}{8 \cdot 300} = 0,1017 + 0,024 + 0,015 + 0,0018 = 0,1425 \text{ m}$$

Para $R = 6.500$ m o valor será calculado em $Y_i' = 0,044$ mm.

Para os valores de raio de curva abaixo de $R = 300$ m, os valores para o deslocamento são:

$$\begin{aligned} \text{para } R = 250 \text{ m } Y_i &= 0,1632 \text{ m} \\ \text{para } R = 200 \text{ m } Y_i &= 0,1942 \text{ m} \\ \text{para } R = 150 \text{ m } Y_i &= 0,2457 \text{ m} \end{aligned}$$

Deslocamento da caixa do carro, do da via, para o lado externo da curva

O deslocamento máximo da caixa do carro para o lado externo da curva

se dá, quando um truque do carro se acha na posição da corda externa, e o outro por sua vez na interna, sendo que os jogos transversais na direção dessa posição da corda se acham totalmente explorados. Para essa posição o deslocamento da caixa do carro do eixo da via se calcula para qualquer ponto além do pião pela fórmula (vide Fig. A.14.2):

$$Y_a = \frac{an + n^2}{2R} + (i + q) \times \frac{p^2}{8R} \quad (2)$$

Para a extremidade do carro o deslocamento é calculado com $n = 1$ e $R = 300$ m para:

$$Y_a = \frac{15,6 \cdot 2,8 + 2,8^2}{2 \cdot 300} + (0,024 + 0,015) \times \frac{2,1^2}{8 \cdot 300} = 0,0859 + 0,053 - 0,0018 = 0,1371 \text{ m}$$

Para $R = 6.500$ m o valor correspondente será:
 $Y_a = 0,057$ m

Para os raios de curva abaixo de $R = 300$ m, os valores para o deslocamento são:

$$\begin{aligned} \text{para } R = 250 \text{ m } Y_a &= 0,1538 \text{ m} \\ \text{para } R = 200 \text{ m } Y_a &= 0,1790 \text{ m} \\ \text{para } R = 150 \text{ m } Y_a &= 0,2210 \text{ m} \end{aligned}$$

Deslocamento da caixa do carro para fora do eixo da via em virtude do ângulo de oscilação quasistático

Quando um veículo está numa linha com superelevação S , ele se inclinará, devido à gravidade, num ângulo — o assim denominado “ângulo quasistático η_s ” — em relação ao eixo vertical da via, mesmo acontecerá quando um veículo com força centrífuga não equilibrada fizer uma curva.

O ângulo depende da construção do veículo e do amortecimento. Será determinado pelo coeficiente de inclinação N do veículo. Como o centro de oscilação dos veículos normalmente se encontra a cerca de 0,5 m acima do topo do bolêto do trilho, o cálculo do deslocamento de qualquer parte do carro na altura h acima do topo do bolêto é feito pela fórmula:

$$Y_s = \eta_s \times (h - 0,5)$$

$$\text{e com } N = \frac{\eta_s}{\delta}$$

$$\text{ou } \eta_s = N \times \delta$$

$$Y_s = N \times \delta (h - 0,5)$$

$$\text{e como } \delta = \frac{S}{b_i}$$

$$Y_s = N \times \frac{S}{b_i} (h - 0,5) \quad (3)$$

A aceleração lateral máxima não equilibrada foi determinada com $\varphi = 0,85$ m/s². Para efeito de cálculo, pode ser substituída por uma superelevação, cujo movimento de inclinação é igual à aceleração lateral não equilibrada. Essa superelevação equivalente é calculada pela fórmula:

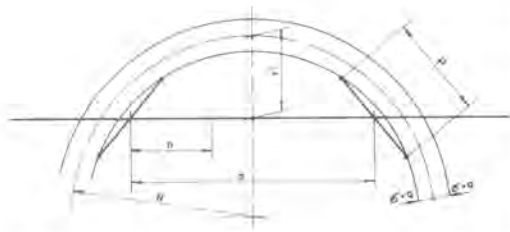
$$S_a = \frac{\varphi \times b_i}{g} \text{ ou seja:}$$

$$S_a = \frac{0,85 \times 1,667}{9,81} = 0,145 \text{ m}$$

Na averiguação da oscilação da caixa do carro em virtude da oscilação quasistática, deverá ser empregado na curva com $R = 300$ m, para a inclinação para o lado interno da curva, o valor $S_i = 0,170$ m, de acordo com a superelevação máxima; e para o lado externo da curva o valor $S_a = 0,145$ m, de acordo com a máxima aceleração lateral não equilibrada de $\varphi = 0,85$ m/s². Na curva com $R = 6.500$ m a superelevação geralmente será de $S = 20$ mm. Não serão executadas superelevações inferiores a 20 mm. Isto significa que não será executada superelevação na curva com $R = 6.501$ m. Portanto nesta curva ocorrerá um excesso de força centrífuga correspondente a uma superelevação de 20 mm.

(*) bitola máxima segundo EFCB = 1.620,0 mm
 bitola mínima segundo AAR = 1.571,9 mm

$$\text{jôgo da bitola} = 48,1 \text{ mm}$$



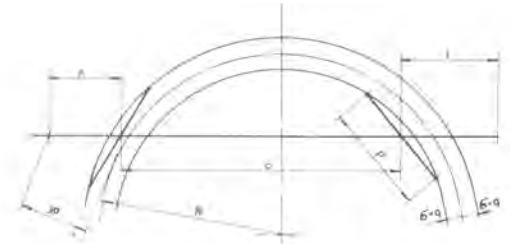
A 14.1

A 14.1
Carro na posição da corda interna

A 14.2
Carro na posição da corda externa

A 14.3
Amplitude das oscilações do veículo

A 14.4
Determinação da seção transversal dinâmica do carro.



A 14.2

Para R = 300 m	
Para o lado interno da curva	Para o lado externo da curva
correspondendo = $S_i = 0,170$ m	correspondendo = $S_a = 0,145$ m
$Y_s = 0,25 \frac{0,170}{1,667} (h-0,5) = 0,025 (h-0,5)$	$Y'_s = 0,25 \frac{0,145}{1,667} (h-0,5) = 0,0217 (h-0,5)$
e na altura $h_1 = 3,45$ m	
$Y_{s1} = 0,25(3,45-0,5) = 0,0738$ m	$Y'_{s1} = 0,0640$ m
na altura $h_2 = 3,7$ m	
$Y_{s2} = 0,025(3,7-0,5) = 0,08$ m	$Y'_{s2} = 0,0695$ m
na altura $h_3 = 3,8$ m	
$Y_{s3} = 0,025(3,8-0,5) = 0,0825$ m	$Y'_{s3} = 0,0716$ m
para R > 6500 m	
$Y_{s1} = 0$	$Y'_{s1} = 0,009$ m
$Y_{s2} = 0$	$Y'_{s2} = 0,010$ m
$Y_{s3} = 0$	$Y'_{s3} = 0,010$ m

A 14.3

A oscilação do carro, será, por conseguinte, para o lado externo da curva. Neste caso não haverá oscilação quasistática para o lado interno da curva.

As oscilações quasistáticas, para as diversas alturas do carro acham-se representadas na figura A.14.3.

Deslocamento da caixa do carro para fora do eixo da via, em virtude do ângulo de oscilação dinâmico

Quando um veículo se movimenta na via, o ângulo de oscilação quasistático η_a se sobrepõe ao ângulo de oscilação quasistático η_s . Esse ângulo de oscilação provém dos impulsos da roda em movimento, por um lado condicionados à sua cinemática e por outro criados pelos desnivelamentos da linha.

Para um veículo, cujo coeficiente de inclinação é de $N = 0,25$ e cuja velocidade máxima é de 100 km/h, calcula-se com manutenção normal de via — um ângulo de oscilação dinâmico máximo de $\eta_d = 0,80 \triangleq 0,014$. Se o centro de oscilação estiver novamente a 0,5 m acima do topo do bolêto, então o deslocamento da caixa do carro, em virtude do ângulo de oscilação dinâmico, para as diferentes alturas de veículo, é calculado:

Na altura $h_1 = 3,45$ m
 $Y_{d1} = 0,014 (3,45 - 0,5) = 0,042$ m
 Na altura $h_2 = 3,7$ m
 $Y_{d2} = 0,014 (3,7 - 0,5) = 0,045$ m
 Na altura $h_3 = 3,8$ m
 $Y_{d3} = 0,014 (3,8 - 0,5) = 0,046$ m

Para R = 300 m	
Para o lado interno da curva	Para o lado externo da curva
Na altura $h_1 = 3,45$ m	
$\frac{1}{2} B_{3,45} = \frac{1}{2} B_h + Y_i + Y_{s1} + Y_{d1} = \frac{1}{2} \cdot 3,21 + 0,1425 + 0,0738 + 0,042 = 1,863$ m	$\frac{1}{2} B'_{3,45} = \frac{1}{2} B_a + Y_a + Y'_{s1} + Y_{d1} = \frac{1}{2} \cdot 3,21 + 0,1371 + 0,0640 + 0,042 = 1,848$ m
arredondado para = 1,865 m	arredondado para = 1,850 m
Na altura $h_2 = 3,7$ m	
$\frac{1}{2} B_{3,7} = 1,345 + 0,1425 + 0,080 + 0,045 = 1,6125$ m	$\frac{1}{2} B'_{3,7} = 1,345 + 0,1371 + 0,0695 + 0,045 = 1,5966$ m
arredondado para = 1,615 m	arredondado para = 1,600 m
Na altura $h_3 = 3,8$ m	
$\frac{1}{2} B_{3,8} = 0,44 + 0,1425 + 0,0825 + 0,046 = 0,711$ m	$\frac{1}{2} B'_{3,8} = 0,44 + 0,1371 + 0,0716 + 0,046 = 0,6947$ m
arredondado para = 0,720 m	arredondado para = 0,695 m
Para R > 6.500 m	
Para o lado interno da curva	Para o lado externo da curva
Na altura $h_1 = 3,45$ m	
$\frac{1}{2} B_{3,45} = 1,605 + 0,044 + 0 + 0,042 = 1,691$ m	$\frac{1}{2} B'_{3,45} = 1,605 + 0,057 + 0,009 + 0,042 = 1,713$ m
	arredondado para = 1,715 m
Na altura = $h_2 = 3,7$ m	
$\frac{1}{2} B_{3,70} = 1,345 + 0,044 + 0 + 0,045 = 1,434$ m	$\frac{1}{2} B'_{3,70} = 1,345 + 0,057 + 0,010 + 0,045 = 1,457$ m
	arredondado para = 1,460 m

A 14.4

Averiguação da seção transversal do carro em movimento

A metade da largura da seção transversal do carro em movimento é obtida, somando-se à respectiva metade da largura do veículo os correspondentes deslocamentos averiguados. Estes foram calculados para as diferentes alturas do carro, na figura A.14.4.

Averiguação do gabarito de passagem livre padrão

Aos valores encontrados para a seção transversal do carro em movimento somam-se os valores provenientes de medidas inexatas da construção e modificações da via entre dois serviços de manutenção. Importam em:

em nível — 100 mm

deslocamento lateral da via entre dois serviços de manutenção e deslocamento elástico do do trilho — 30 mm
 Acréscimo para medidas inexatas da superestrutura da construção (horizontal) — 30 mm.
 Excedendo ou não alcançando a superelevação:

Para R = 300 m

na 3,45 + 0,10 = 3,55 m acima do topo do bolêto — 36 mm
 na 3,70 + 0,10 = 3,8 m acima do topo do bolêto — 38 mm
 na 3,80 + 0,10 = 3,9 m acima do topo do bolêto — 39 mm

Para R = 6.500 m

na altura = 3,55 m acima do topo do bolêto — 18 mm
 na altura = 3,80 m acima do topo do

bolêto — 19 mm
na altura = 3,90 m acima do topo do
bolêto — 19 mm

Portanto, os acréscimos totais para
metade da seção transversal do
carro em movimento são:

Para $R = 300$ m

na altura = 3,55 m acima do topo do
bolêto 96 mm — 100 mm
na altura = 3,80 m acima do topo do
bolêto 98 mm — 100 mm
na altura = 3,90 m acima do topo do
bolêto 99 mm — 100 mm

Para $R > 6.500$ m

na altura 3,55 m acima do topo do
bolêto 78 mm — 80 mm
na altura 3,80 m acima do topo do
bolêto 79 mm — 80 mm
na altura 3,90 m acima do topo do
bolêto 79 mm — 80 mm
Com esses valores, as meias
larguras de gabarito padrão
medem:

Para $300 \text{ m} \leq R \leq 6.500 \text{ m}$

Para o lado interno da curva	p/ o lado externo da curva
na alt. 3,55 m acima do topo do bolêto: 1,965 m	1,950 m
na altura 3,80 m acima do topo do bolêto: 1,715 m	1,700 m
na altura 3,90 m acima do topo do bolêto: 0,820 m	0,795 m

Para $6.500 \text{ m} < R \leq \infty$

Para o lado interno da curva	p/ o lado externo da curva
na altura 3,55 m acima do topo do bolêto: 1,777 m	1,793 m
na altura 3,80 m acima do topo do bolêto: 1,514 m	1,537 m
na altura 3,90 m acima do topo do do bolêto: 0,610,	0,633 m

Em virtude de estar previsto um
perfil simétrico, a metade do
gabarito é baseada nos valores
arredondados mais elevados,
(vide Fig. 14.2), portanto:

Para $300 \text{ m} \leq R \leq 6.500 \text{ m}$

na altura: 3,55 m acima do topo do
bolêto — 1,970 m
na altura: 3,80 m acima do topo do
bolêto — 1,720 m
na altura: 3,90 m acima do topo do
bolêto — 0,820 m

Para $6.500 \text{ m} < R \leq \infty$

Como nesta área serão atingidas
velocidades mais elevadas, para
maior segurança os valores serão
arredondados para valores um pouco
mais elevados. Desta forma, os
valores serão:

na altura 3,55 m acima do topo do
bolêto — 1,810 m
na altura 3,80 m acima do topo do
bolêto — 1,5550 m
na altura 3,90 m acima do topo do
bolêto — 0,650 m

Em raios de curva inferiores a
 $R = 300$ m, a metade da largura do
vão livre deverá ser acrescida do
valor, pelo qual o deslocamento na
respectiva curva fôr maior do que o
deslocamento com $R = 300$ m.
O alargamento é calculado como
segue:

para $R = 250 \text{ m} + 300 \text{ m}$ o
alargamento é: $0,1632 - 0,1425$
 $= 0,0207$ **0,03 m**
para $R = 200 \text{ m} + 250 \text{ m}$ o
alargamento é: $0,1942 - 0,1425$
 $= 0,0517$ **0,06**
para $R = 150 \text{ m} + 200 \text{ m}$ o
alargamento é: $0,2457 - 0,1425$
 $= 0,1032$ **0,11 m**

Perfil da construção

O gabarito calculado neste capítulo
foi obtido, considerando-se todos os
fatores pertinentes ao veículo e à
superestrutura. O mesmo sempre
deverá ser medido na linha que liga
os dois topos de bolêto dos trilhos.
Desta forma, no perfil da
construção deverão ser considerados
ainda a posição inclinada do
gabarito, que ocorre na via com
superelevação, bem como as
tolerâncias condicionadas à
construção.

Anexo A 32.2.2.

Projetos de construção de vias públicas e intervenção em áreas vizinhas

Na área da Linha Norte-Sul do metrô
existem projetos municipais, para
construção de vias públicas, como
segue nas linhas abaixo:

a) Projeto de alargamento da Av. Cruzeiro do Sul

Ao determinar-se o traçado do metrô,
foi considerado o projeto de
alargamento da Av. Cruzeiro do Sul
de 40 m para 50 m. O eixo da linha do
metrô foi disposto no eixo da
avenida, de acordo com este projeto
que já está aprovado.

b) Projeto da ligação do eixo Leste-Oeste — Zona Norte

De acordo com este projeto já
autorizado, a Rua João Teodoro
deve ser alargada, passando em
nível inferior no cruzamento com a
Av. Tiradentes. O greide da linha do

metrô leva este projeto em
consideração.

c) Projeto da via profunda na Av. Prestes Maia

Ao determinar-se o perfil do metrô,
tanto nos trechos de linha, bem
como na disposição das Estações
Senador Queiróz e Luz,
considerou-se o projeto de uma via
expressa subterrânea, com início na
Av. Prestes Maia, passando por
baixo da Av. Senador Queiróz, e da
linha da Estrada de Ferro
Santos-Jundai.

d) Projeto da ligação da Amaral Gurgel-Alcântara Machado — Eixo Leste-Oeste

Considerando-se as condições
topográficas, o nível da Linha
Norte-Sul foi fixado no ponto de

cruzamento da Rua Jaceguai com a
Av. Liberdade.

e) Projeto de alargamento da Av. Liberdade e da Rua Vergueiro de 18 m para 23 m

Este projeto já aprovado foi
considerado no traçado da linha do
metrô, o qual foi disposto no novo
eixo da rua.

f) Projeto de reformulação da situação das ruas na área da Praça Rodrigues de Abreu, visando a interligação das Ruas Bernardino de Campos, Vergueiro e 23 de Maio.

Este projeto sugerido — que ainda
não foi aprovado, foi considerado na
locação do metrô.

g) Projeto de alargamento da Rua Vergueiro de 16 m para 45 m

O projeto prevê um alargamento entre
a Praça Rodrigues de Abreu e o
Largo Ana Rosa. O traçado do metrô
considerou este projeto, apesar do
mesmo ainda não estar aprovado.

h) Projeto de ligação da Rua Vergueiro com a Rua Domingos de Morais

O projeto aprovado inclui o
alargamento da Rua Vergueiro depois
do Largo Ana Rosa e a abertura de
uma avenida interligando a Rua
Vergueiro e a Rua Domingos de
Morais na altura da Rua Afonso
Celso. A linha do metrô foi locada de
acordo com este projeto.

i) Projeto de ligação Av. 23 de Maio — Av. Rubem Berta

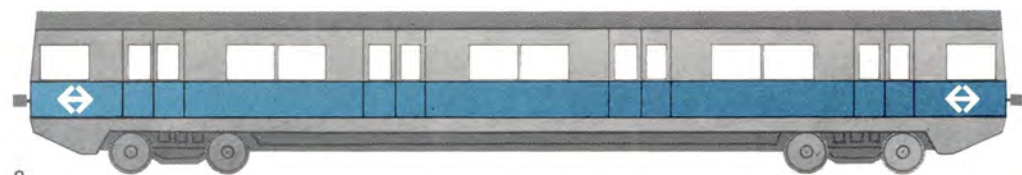
Este projeto já aprovado foi
considerado na locação da linha do
metrô.

A concepção simples da marca — deslocamento de um quadrado sobre outro, no eixo diagonal — cria uma dinâmica fundo/figura suficiente e necessária para as informações que deve veicular, seja no que se refere à direção (com referência aos pontos cardeais) e ao sentido (com referência ao usuário a noção de vai e vem, leva e traz, entra e sai) bem como em relação à veocidade do transporte, ao entroncamento e correspondência das linhas.

Trata-se de um signo síntese, que gera toda uma linguagem, pois além de ser utilizado tanto no sentido horizontal como no vertical, pode ser decomposto em elementos que constituirão seu vocabulário básico e que poderão ser aplicados às diversas situações de uso.

É um signo que ingressa sem discordância no repertório de signos da sinalização urbana, porém sem ambigüidade e sem com eles se confundir.

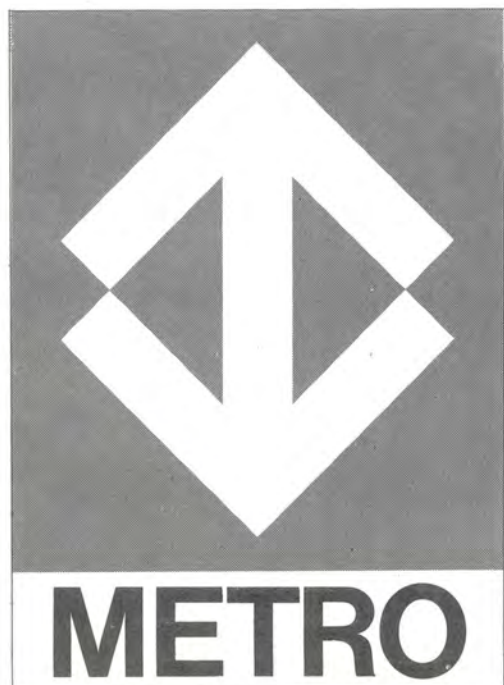
- 1 e 4 Marca-Símbolo e logotipo com codificação de cores
- 2 Aplicação de marca nos carros do Metrô
- 3 Substituição da cor por retícula
- 5 e 6 Definição da marca pelo traço de contorno, em positivo e negativo



2



1



3



4



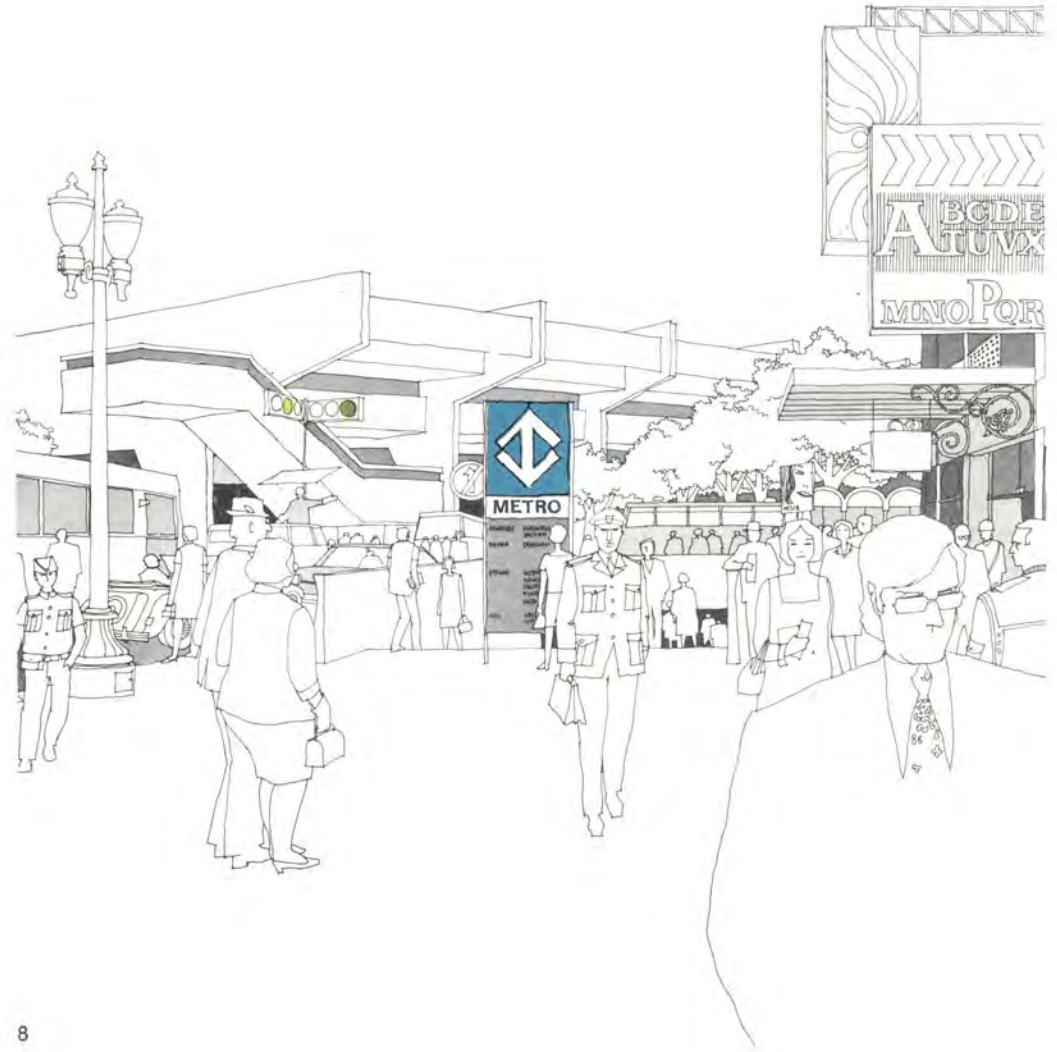
5



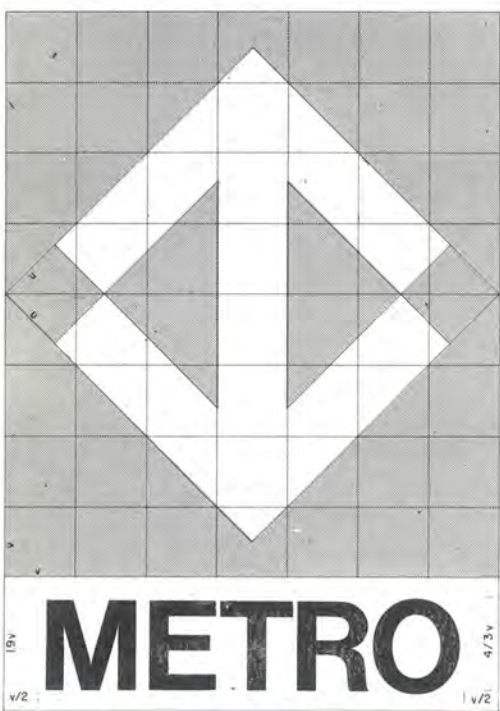
6



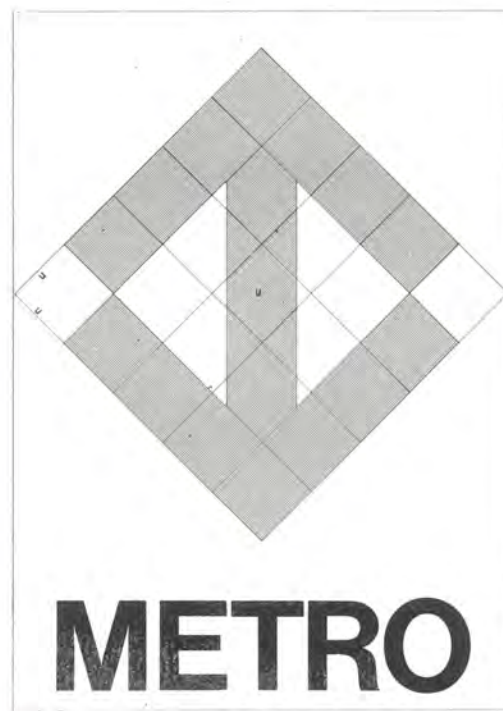
7



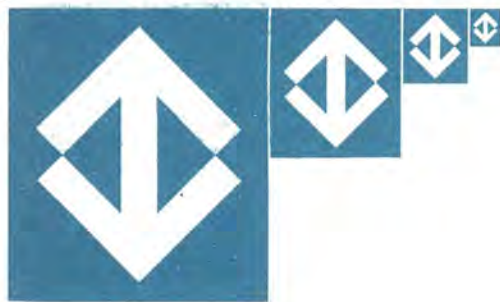
8



9



10



11



12



OSLO



BARCELONA



OSAKA



TOKIO



MADRID



BERLIN



HAMBURG



ROTTERDAM



BARCELONA



LONDON



CHICAGO



BOSTON



MONTREAL



TORONTO



ROMA



BERLIN



PARIS



NEW YORK



BOSTON (NOVO)



CLEVELAND

13

7 Aplicação de marca de sinalização de uma estação subterrânea

8 Aplicação da marca na sinalização urbana

9 e 10 Construção geométrica

11 Teste de redução

12 Teste de desfoque

13 Dicionário de marcas dos principais metrô existentes

As seguintes pessoas integraram a equipe da H-M-D que realizou este trabalho;

Diretoria

Diretor do Projeto

Carl Th. Mäkel

Assistente do Diretor do Projeto

Cyro de Oliveira Guimarães F.º

Diretores Técnicos

Ludolf Klie
Karl Heinrich Kuckuck

Relação dos colaboradores

Administração

Nelson Gomes Teixeira
Harald A. Achatz

Arquitetura

Marcelo A. Fragelli
Flávio Marcondes
Luiz Gonzaga de O. Camargo
Tito Livio Frascino
Vasco de Mello

Comunicação Visual

João Carlos Cauduro
Ludovico Martino

Desenho e Coordenação

Peter Lipman-Wulf

Documentação

Karin E. I. Sommer

Eletro-Mecânica

Adolf Felsing
Alfons Lemml
David E. Kletter
Ferdinand Wulfestieg
Karl Grossmann
Manfred Kalusa
Robert Krause
Theophil Roos

Engenharia Civil

Karl-Heinz Jaeger
Albatênio de Miranda
Friedrich Wenzel
Friedrich Zimmermann
Fritz Böttcher
Hugo Pfeiffer
José Mário C. Malta
Luiz B. Farinha
Mihail Mirica
Nivaldo J. Chiossi
Rolf Gros
Vera Mary N. Cozzolino
Walter Killi
Werner Püttner
Wolfgang Baumgartl

Estudos Financeiros

Heinrich O. Kimmeskamp
Adolf Felsing
Helmut Büchler
Helmut Halle

Legislação

Szmul K. Goldberg

Modêlos de Tráfego

João Carlos P. Pimenta
Alfredo Otto Brockmeyer
Dirceu M. Dutra
Gilberto D. de Sanson
Hans H.T.A. Gevert
Hilário P. Rodrigues
Marcos Túlio Arbex

Organização

Mário Rosenthal

Redação

Claus Rentschler
Helmut Büchler
Rodolpho Azzi

Sócio-Economia

Norman Puggina
José F.C. Boucinhas
Massamaro Sugawara

Traçado da Rede

Wolfgang Fritz
Eberhard Fladung
Eduard Orsech
Heinz Kilger
Joseph Krämer
Rudi Daemgen
Werner Kessler

Tráfego

Heinrich O. Kimmeskamp
Celso Waack Bueno
Gerhard Hackstein
Helmut Halle
Klaus Borchert
Severino S. Barbosa
Wulf Schwanhäuser

Urbanismo

Heitor F. de Souza
Alfredo S. Paesani
Sérgio P. Souza Lima
Sérgio Zaratín
Ubyrajara G. Giglioli

Viabilidade

Geraldo José Lins
Cesar R.W. Valente
Nagib Abiad
Ricardo A. França

Índice do texto

Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página
10. Notas preliminares em relação ao estudo técnico	11	12.2.2. Normas aplicadas no projeto do metrô	27	14.3.1. Normas para a orientação de passageiros em estações e pontos de baldeação	37	16.1.4. Método com paredes-diafragma (método Milanês)	54
10.1. Dados básicos de urbanismo e economia de tráfego para o estudo técnico	11	12.3. Normas técnicas de construção civil	27	14.3.2. Dispositivos de fiscalização e de segurança	38	16.1.5. Método com paredes de estacas moldadas justapostas	54
10.2. Metodologia do Estudo Técnico	12	12.3.1. Normas brasileiras para projeto, cálculo e execução de obras de construção civil	27	14.3.3. Esquema e dimensões dos bloqueios de acesso, escadarias, elevadores e plataformas	38	16.1.6. Ancoragem das paredes das escavações	54
11. Considerações fundamentais para a escolha do sistema de metrô	14	12.3.2. Normas complementares necessárias	28	15. Princípios de construção civil	40	16.1.7. Escolha do método adequado para a construção de vias subterrâneas do Metrô de São Paulo	55
11.1. Análises de meios de transportes coletivos urbanos	14	13. Princípios mecânicos e eletrotécnicos	30	15.1. Trabalhos cartográficos e plantas	40	16.2. Métodos de execução para metrô em sistema de construção subterrânea	56
11.1.1. Generalidades	14	13.1. Proposta para a construção do material rodante	30	15.2. Investigação do subsolo	41	16.2.1. Método de construção do sistema mineiro	56
11.1.2. O trem ALWEG	14	13.1.1. Dados básicos	30	15.2.1. Finalidade do estudo do subsolo	41	16.2.2. Método de construção pelo sistema couraça	56
11.1.3. O trem SAFEGE	15	13.1.2. Princípios para o esquema	30	15.2.2. Coleta de dados existentes	41	16.2.3. Descrição geral da construção pelo método da couraça	60
11.1.4. Os veículos sobre pneumáticos de acordo com o sistema do Metrô de Paris	16	13.1.3. Dimensões do carro	30	15.2.3. Novas investigações do subsolo realizadas pelo grupo de estudos	41	16.2.4. Construção do túnel executado pelo método da couraça e cálculo estático do mesmo	64
11.1.5. Confronto dos quatro sistemas	17	13.1.4. O veículo para o Metrô de São Paulo	32	15.2.4. Descrição geral do subsolo	42	16.2.5. Apreciações críticas às construções de couraças e sua possível aplicação em São Paulo	69
11.1.6. Proposta do sistema para o Metrô de São Paulo	17	13.1.5. Intensidade do arranque, da deceleração e da velocidade máxima	32	15.2.5. Agressividade da água subterrânea	48	16.3. Métodos de construção para vias elevadas	70
11.2. Comparação entre os mais importantes metrô do mundo	17	13.2. Sistemas de tração elétrica, seleção da corrente e da tensão	33	15.2.6. Influência das condições do subsolo em relação aos processos de construção e às construções propriamente ditas	49	16.3.1. Vias elevadas construídas em aço	71
12. Prescrições legais, normas e regulamentos técnicos	27	13.2.1. O sistema de corrente	33	15.2.7. Programação para as investigações futuras	49	16.3.2. Vias elevadas de construção mista de aço e concreto (Composite Steel Concret System)	71
12.1. Normais e regulamentos técnicos ferroviários	27	13.2.2. Tensão	34	16. Métodos de construção	50	16.3.3. Vias elevadas de concreto armado	72
12.1.1. Normas para construção e operação de ferrovias	27	14. Bases do planejamento técnico de ferrovias	36	16.1. Métodos de construção para vias subterrâneas pelo sistema "a céu aberto" (cut and cover)	50	16.4. Processos para proteção e reforço de construções	72
12.1.2. Regulamentos para metrô	27	14.1. Instalações ferroviárias	36	16.1.1. Método Berlinense e variantes de Munique	50	16.4.1. Proteção de edificações junto a valas de construção	72
12.2. Normas e regulamentos técnicos para mecânica e eletricidade	27	14.2. Operação e instalações de sinalização	36	16.1.2. Método Hamburguês	50	16.4.2. Segurança dos edifícios sob os quais passará o metrô	73
12.2.1. Normas existentes e aplicadas no Brasil	27	14.3. Orientação de fluxos de passageiros	37	16.1.3. Método com paredes de estacas-pranchas	54		

Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página
16.5.	74	20.2.1.	82	23.1.	158	24.1.	178
Impermeabilização dos túneis		Variante 1		Generalidades sobre a instalação de sinalização		Princípios do processamento das operações	
16.5.1.	74	20.2.2.	82	23.1.1.	158	24.2.	178
Impermeabilização de galerias construídas a céu aberto		Variante 2		Introdução		Cálculos dos tempos de percurso	
16.5.2.	76	20.2.3.	89	23.1.2.	158	24.3.	178
Impermeabilização de túneis executados pelo método da couraça		Variante 3		Definições		Elaboração das tabelas de horário	
16.5.3.	77	20.2.4.	89	23.1.3.	161	24.3.1.	178
Emprêgo de outros materiais impermeabilizantes		Variante 4 e 5		As exigências operacionais relativas ao sistema de sinalização		Princípios fundamentais	
16.5.4.	77	20.2.5.	89	23.2.	161	24.3.2.	178
Emprêgo de concreto impermeável sem impermeabilização especial		Variante 6		Sistemas de sinais fixos com ATS		Exemplo de horário para a Linha Santana-Jabaquara com ramal Paraíso-Moema	
17.	78	20.2.6.	89	23.2.1.	162	24.3.3.	180
Isolamento acústico das instalações do metrô		20.3.	92	Cálculo do tempo de seqüência dos trens		Numeração dos trens	
17.1.	78	Seleção das propostas para rede existentes		23.3.	163	24.4.	180
Possibilidades de isolamento		20.4.	92	Sistema de sinalização com indicação na cabine do maquinista (cab-sinal) com ATC e ATO		Rodízio da circulação dos carros	
17.2.	78	Integração do metrô com as ferrovias e o sistema viário		23.3.1.	163	24.4.1.	180
Processo de isolamento acústico		21.	113	Cálculo do tempo de seqüência dos trens		Finalidade e estruturação	
17.3.	78	Análise e aperfeiçoamento da proposta preliminar para a rede		23.3.2.	164	24.4.2.	180
Exemplos de isolamento acústico adotados por empresas de metrô		21.1.	113	Descrição dos tipos		Início e fim do expediente operacional	
17.3.1.	79	Averiguação da demanda de pico nas linhas do metrô por meio de alocação do tráfego de 1987 para a rede do metrô		23.4.	168	24.4.3.	180
Isolamento acústico no Metrô de Toronto		21.2.	113	Outras instalações		Manobras de retorno nas estações terminais	
17.3.2.	79	A rede proposta do metrô		23.4.1.	168	24.5.	180
Isolamento acústico no Metrô de Berlim		21.3.	115	Setor de campo		Veículos necessários	
17.4.	79	Linha prioritária		23.4.2.	168	24.5.1.	180
Propostas de isolamento acústico para o Metrô de S. Paulo		21.4.	115	A instalação de sinalização das vias do depósito		Veículos necessários — 1.ª etapa	
17.5.	79	Possibilidades de desenvolvimento futuro da rede do metrô		23.4.3.	169	24.5.2.	183
Isolamento acústico na infraestrutura e nas construções adjacentes		22.	121	Pôsto de comando ou central		Composições necessárias na rede total	
18.	80	As linhas do metrô		23.4.4.	170	24.6.	183
Mercado e análise de preços		22.1.	121	Sistema de telecomando — CTC		Pessoal necessário para o serviço operacional e de tráfego	
18.1.	80	O traçado		23.4.5.	172	24.6.1.	183
Mercado de construção civil		22.1.1.	121	Estabelecimento automático das rotas		Serviço de condução dos trens	
18.1.1.	80	Linha Santana-Jabaquara com ramal Paraíso-Moema		23.5.	173	24.6.2.	184
Materiais de construção		22.1.2.	121	Recomendação básica sobre a instalação de sinalização a ser utilizada		Serviço local de operação e tráfego	
18.1.2.	80	Linha Casa Verde-Vila Maria		23.7.	175	24.7.	184
Máquinas de construção		22.1.3.	122	Parte geral sobre instalações de telecomunicações		Regulamentos para o serviço da operação	
18.1.3.	81	Linha Pinheiros-Via Anchieta com ramal Pedro II- Vila Bertioga		23.7.1.	175	24.7.1.	184
A indústria de construção civil		22.1.4.	122	Introdução		Bases jurídicas das normas operacionais	
18.2.	81	Linha Vila Madalena-Paulista		23.7.2.	175	24.7.2.	187
A situação do mercado no setor da indústria eletromecânica		22.2.	122	Réde telefônica geral		Regulamento de tráfego	
18.3.	81	Traçados das linhas		23.7.3.	175	24.7.3.	187
O mercado de mão de obra		22.2.1.	122	Instalações telefônicas operacionais		Regulamento dos sinais	
20.	82	Linha Santana-Jabaquara com ramal Paraíso-Moema		23.7.4.	176	24.8.	188
Proposta para o sistema de trânsito rápido		22.2.2.	123	Fiscalização das plataformas antes da partida dos trens		Formação do pessoal	
20.1.	82	Linha Casa Verde-Vila Maria		23.7.5.	177	25.	189
Considerações gerais sobre a rede		22.2.3.	156	Instalações eletro-acústicas		Consumo de energia e de combustíveis para o metrô	
20.1.1.	82	Linha Pinheiros-Via Anchieta com ramal Pedro II-Vila Bertioga		23.7.6.	177	25.1.	189
Concepção básica		22.2.4.	156	Instalação de relógios elétricos		Primeira etapa de construção	
20.1.2.	82	Linha Vila Madalena-Paulista		23.7.7.	177	25.1.1.	189
Integração do sistema de transportes		22.3.	157	Indicador do destino dos trens		Energia de tração	
20.1.3.	82	Seqüência das obras		23.7.8.	177	25.1.2.	190
A localização das estações do STR		23.	158	Instalações do pôsto de comando		Energia de força e luz	
20.2.	82	Propostas para as instalações de sinalização e telecomunicação para o Metrô de São Paulo		24.	178	25.2.	190
Análise macroscópica de diversas variantes de sistemas				Processamento das operações		Consumo de energia na rede total	
						25.2.1.	190
						Energia de tração	

Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página
25.2.2. Energia de força e luz	190	31.1. Exigências urbanísticas para o projeto de estações, linhas e áreas circunvizinhas	202	33.2.2. Instalações mecânicas, elétricas e trens	268	40.4.2. Comando	288
25.3. Material de consumo nas operações do metrô	191	31.2. Primeira etapa da construção	202	33.3. Disposições administrativas para programação, inspeção e fiscalização das obras	268	40.4.3. Circuito de corrente principal	290
30. Padronização da construção	192	31.2.1. Linhas	202	33.4. Inspeção e medição dos serviços	269	40.4.4. Circuito elétrico de corrente de comando	290
30.1. Superestrutura	192	31.2.2. As estações da primeira etapa de construção	204	33.4.1. Modalidades de pagamento	269	40.4.5. Motor de tração	294
30.1.1. Tipo, perfil e material dos trilhos	192	31.2.3. Estações especiais do primeiro estágio das obras	206	33.4.2. Pagamento e recebimento de máquinas, instalações elétricas e veículos	270	40.4.6. Equipamentos auxiliares	295
30.1.2. Apoio e fixação dos trilhos	192	31.2.4. Demais instalações	206	33.5. Cronograma para a execução das obras	271	40.4.7. Iluminação	295
30.1.3. Aparelhos de mudança de via — chaves e jacarés	193	32. Execução dos trabalhos de construção civil na primeira fase	257	33.5.1. Para a rede total	271	40.4.8. Equipamentos eletro-acústicos	295
30.1.4. Juntas, soldagens, forças longitudinais	193	32.1. Divisão em trechos	257	33.5.2. Para a primeira linha	271	40.4.9. Dispositivo de acionamento das portas	295
30.1.5. Isolamento elétrico	194	32.1.1. Considerações gerais	257	40. Características dos veículos do metrô	272	41. Veículos auxiliares	296
30.2. Seções transversais padrão das linhas	194	32.1.2. Particularidades do trajeto Norte-Sul com ramal Paraíso-Moema	257	40.1. Escolha da menor unidade de tração elétrica	272	41.1. Composição e equipamento do trem de socorro	296
30.2.1. Seções transversais padrão do trecho em superfície	195	32.1.3. Proposta para a distribuição da obra em trechos de serviços	258	40.1.1. Considerações gerais	272	41.2. Locomotiva para o trem de socorro, trens de trabalho e manobras	296
30.2.2. Seções transversais padrão nas linhas em elevado	195	32.2. Influências sobre os trabalhos de execução das obras	260	40.1.2. O trem de 2 carros como a menor unidade de tração	272	41.3. Outros veículos auxiliares	297
30.2.3. Seções transversais padrão nos trechos em túnel pelo método a céu aberto	195	32.2.1. Instalações urbanas de utilidade pública	260	40.1.3. O trem com 3 carros como a menor unidade de tração	272	42. Instalações de fornecimento e alimentação de energia	298
30.2.4. Seções transversais padrão para túneis pelo método couraça	198	32.2.2. Projetos rodoviários e ocupação de áreas circunvizinhas	262	40.1.4. Sugestão para a menor unidade de tração	273	42.1. Fornecimento de energia primária	298
30.3. Ventilação das estações e dos túneis e climatização dos recintos das estações	198	32.2.3. O trânsito nas ruas e os desvios necessários	263	40.2. Cálculo da potência dos motores para os carros	273	42.1.1. Disponibilidade de energia na região do Grande São Paulo	298
30.3.1. Ventilação das estações e de trechos de túnel	198	32.2.4. Influências meteorológicas	264	40.2.1. Considerações gerais	273	42.1.2. O sistema de distribuição de energia na cidade de São Paulo	298
30.3.2. O plano de ventilação	199	32.3. Equipamento pesado e espaço necessário para a construção	264	40.2.2. Determinação da potência	273	42.1.3. Método mais econômico para o abastecimento de energia primária	301
30.3.3. Pré-dimensionamento das instalações de ventilação	199	32.3.1. Equipamentos pesados	264	40.2.3. Diagrama de tração	274	42.1.4. Suprimento de energia primária para as subestações do metrô	302
30.3.4. Ventiladores	200	32.3.2. Áreas a serem ocupadas	266	40.3. Parte mecânica dos carros	275	42.2. Subestações retificadoras	307
30.3.5. Ventilação e climatização de recintos dentro das estações	200	33. Organização da execução da obra	267	40.3.1. Dados gerais do carro	275	42.2.1. Distribuição das subestações ao longo da linha e suas dimensões	307
30.4. Drenagem	200	33.1. Elaboração dos projetos para empreitada	267	40.3.2. Caixa do carro	275	42.2.2. A disposição de uma subestação	307
30.4.1. Drenagem da linha	200	33.1.1. Construção civil	267	40.3.3. Engates	282	42.3. Alimentação de energia aos veículos	309
30.4.2. Drenagem nas estações	200	33.1.2. Instalações mecânicas e elétricas	267	40.3.4. Truques	283	42.3.1. Dados gerais	309
30.4.3. Dimensões das instalações de drenagem	200	33.1.3. Trens	268	40.3.5. Freios e fornecimento de ar comprimido	285	42.3.2. Seleção do tipo de construção para o 3.º trilho	309
30.5. Linhas básicas da configuração arquitetônica	200	33.2. Contratação	268	40.4. Parte elétrica dos carros	287	42.3.3. Disposição do 3.º trilho na via	309
31. Planejamento de vias e estações da primeira etapa da construção	202	33.2.1. Serviços de construção	268	40.4.1. Considerações gerais	287	42.3.4. Circuitos elétricos para a	310

Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página	Capítulo	Página
alimentação e retorno de corrente		50.1. Bases para manutenção do material rodante	314	52. Instalações de manutenção	317	62. Investimentos necessários para material rodante	324
42.4. Instalações de força e luz nas estações do metrô	310	50.1.1. Considerações gerais	314	52.1. Instalações para tratamento, revisão e manutenção do material rodante	317		
42.4.1. Fornecimento de energia elétrica	311	50.1.2. Esquema de manutenção	314	52.1.1. Averiguação e determinação dos locais de estacionamento necessários para os veículos	317	63. Custos do projeto, da administração e da fiscalização das obras	325
42.4.2. Instalações de alta tensão	311	50.1.3. Esquema de conservação operacional	314			Anexos	
42.4.3. Ligações à terra	311	50.1.4. Veículos auxiliares	315	52.1.2. Descrição das instalações	318	A 14.1. Averiguação do gabarito	326
42.4.4. Distribuidores	311	50.2. Diretrizes para a manutenção das instalações estacionárias	315	52.2. Equipamentos para a manutenção das instalações fixas	320	A 32.2.2. Projetos de construção de vias públicas e intervenção em áreas vizinhas.	328
42.4.5. Consumidores	311	50.2.1. Instalações de engenharia civil	315	52.2.1. Grupos para manutenção das instalações de luz e força	320	Marca-Símbolo Metrô de São Paulo	330
42.4.6. Iluminação	311	50.2.2. Via permanente	315	52.2.2. Grupos para manutenção das instalações mecânicas	320		
42.4.7. Painel de recepção de comunicações	311	50.2.3. Instalações elétricas	315	52.2.3. Grupos para manutenção das instalações de sinalização e comunicação	320		
42.5. Contrôle central de fornecimento de energia	311	50.2.4. Instalações de sinalização e telecomunicação	315	52.2.4. Equipamentos de manutenção para instalações técnicas e construção civil	320		
42.5.1. Transmissão	312	50.2.5. Maquinaria	315	52.3. Demais equipamentos para a manutenção das instalações do metrô	320		
42.5.2. Sistema de controle remoto	312	51. Materiais de consumo e estoques necessários para o serviço de manutenção	316	53. Mão-de-obra necessária para limpeza e manutenção	321		
42.5.3. Pôsto de manobras	312	51.1. Princípios básicos da administração de material de consumo	316	53.1. Manutenção e conservação do material rodante	321		
42.5.4. Investimentos	312	51.2. Materiais de consumo geral	316	53.2. Manutenção das instalações estacionárias	321		
42.5.5. Resumo	312	51.3. Materiais para a manutenção de veículos	316	53.3. Almoxarifado e mão-de-obra total exigida	321		
42.6. Problemas de corrosão e ligação à terra	312	51.4. Materiais de consumo para a manutenção das instalações estacionárias, elétricas, da maquinaria e de equipamentos de sinalização e comunicações	316	60. Investimentos necessários para as construções civis	322		
42.6.1. Generalidades	312	51.5. Materiais de consumo para a manutenção da via permanente, obras de engenharia e edifícios	316	61. Investimentos necessários para instalações eletromecânicas estacionárias do metrô	323		
42.6.2. Prescrições e normas	312						
42.6.3. Medidas de proteção para a redução da corrosão eletrolítica	313						
42.6.4. Resumo final	313						
50. Normas fundamentais para a manutenção	314						

Índice das figuras

Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página
10.1 Capacidade dos transportes urbanos para transportar, num sentido, 80.000 passageiros por hora	12	13.3 Escolha do vagão do metrô	32	16.5 Túnel com impermeabilização interna	55	16.20 Couraça mecanizada (Robbins)	63
10.2 Área de rua necessária por passageiro nos diferentes tipos de veículos e velocidades	12	13.4 Dados especiais de carros de metrô quanto ao conforto	33	16.6 Túnel em concreto impermeável	55	16.21 Couraça Calweld totalmente mecanizada (corte longitudinal)	64
10.3 Capacidade dos veículos por hora e faixa	12	13.5 Tensões operacionais do metrô com corrente contínua	34	16.7 Cortina de estacas justapostas	55	16.22 Segmentos de ferro fundido	64
10.4 Metodologia do estudo técnico	13	14.1 Padrões para o projeto das instalações viárias do Metrô de São Paulo	37	16.8 Execução de túnel pelo método em couraça ("shield")	57	16.23 Túnel aberto pelo método da couraça, revestido com segmentos de anel de ferro fundido (túnel para pedestres em Rendsburg)	65
11.1 Alweg — E.M.U.	15	14.2 Gabarito dinâmico e folga limite do carro	37	16.9 Couraça aberta, vista de frente com capota, lâmina cortante, pôsto de comando e 4 macacos frontais.	58	16.24 Segmentos de aço soldados	66
11.2 Suspensão da ferrovia elevada de Wuppertal	15	14.3 Padrões para projeto dos equipamentos de proteção e controle dos trens	38	Couraça aberta, vista de trás, com macacos de avanço, eretor e parte posterior	58	16.25 Segmentos de anel, em blocos de concreto armado, empregados no Metrô de Munique (túnel com revestimento interno de concreto)	67
11.3 Ferrovia suspensa "Skyway"	15	14.4 Capacidade dos bloqueios nas plataformas em pessoas por minuto	39	16.10 Passagem debaixo de um banco, com ar comprimido	60	16.26 Peças de fêcho dos segmentos de concreto armado	67
11.4 Truque do veículo "Safège"	15	15.1 Topografia urbana de São Paulo com indicação das secções investigadas do sub-solo	41	16.11 Poço para início de operação da couraça sob ar comprimido (modelo "Rheintunnel, Duesseldorf")	60	16.27 Secções típicas de um trecho em couraça executado com:	68
11.5 Veículo "Safège" com saída de emergência abaixada	16	15.2 Secções geológicas no Planalto Atlântico e na Bacia de São Paulo	42	16.12 Vista interior de uma casa de compressores, à esquerda, de 1.º estágio (baixa pressão), à direita, de 2.º estágio (alta pressão) e equipamento de reserva	60	A) segmentos de ferro fundido	
11.6 Esquema de um truque com rodas pneumáticas	16	15.3 Cidade de São Paulo — Seção geológica norte-sul	43	16.3 Eclusas de ar comprimido na parede de concreto armado do poço de partida, em cima para pessoas, em baixo para materiais	61	B) segmentos e parede interna de concreto armado	
11.7 Truque do "Skybus"	17	15.4 Exemplo típico de uma sondagem no centro	47	16.4 Macacos de avanço, no canto barras de ferro de contrapêso ao movimento de "balanço" da couraça	61	16.28 Vala aberta executada com rebaixamento do nível de água subterrâneo para o começo do avanço do shield sob ar comprimido	69
11.8 Comparação de gabaritos	21	15.5 Classificação da agressividade da água subterrânea no concreto	48	16.15 Eretor colocando segmentos do anel de ferro fundido	61	16.29 Caixão pneumático utilizado para o começo do avanço do shield	69
11.9 Comparação de RTS em algumas cidades	23	15.6 Resultados das análises químicas da água subterrânea	48	16.16 Vagoneta e esteira rolante	62	16.30 Trecho elevado: estrutura mista aço-concreto	70
11.10 Ano de inauguração, quantidade de habitantes e área da cidade (no ano da inauguração) de vários metrô	31	16.1 Método construtivo de Berlim	51	16.17 Couraça semi-mecanizada: Metrô de Hamburgo	62	16.31 Trecho elevado: estrutura de concreto armado	70
11.11 Quadro comparativo das diversas características dos principais sistemas de transporte rápido no mundo	31	16.2 Método construtivo de Hamburgo	52	16.18 Couraça com 6 discos fresadores	62	16.32 Trecho elevado com desvio de linha	70
13.1 Possibilidades no arranjo dos assentos em trens de metrô	31	16.3 Método construtivo de Milão	53	16.19 Couraça mecanizada (Drum Digger)	63	16.33 Recalçamento de estruturas	71
13.2 Comparação de veículos de alguns metrô	31	16.4 Paredes-diafragma	55			16.34 Recalçamento de estruturas	72

Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página
16.35 Impermeabilização do solo por injeções	73	21.3 Rateio de tráfego das linhas do Metrô na hora do pico em relação às viagens totais do mass net 21.1.	114	22.3 Estudo preliminar da estação Barra Funda	153	23.13 Programas de velocidade para uma marcha econômica	172
16.36 Impermeabilização do solo por injeções	73	21.4 Rateio de tráfego das linhas do Metrô na hora do pico em relação às viagens totais do mass net 21.2. (só centro)	115	22.4 Estudo preliminar da estação República	153	23.14 CTC: Sistema multiplex de tempo	173
16.37 Impermeabilização de paredes	74	21.5 Distribuição de trens em 1978	115	22.5 Estudo preliminar da estação Anhangabaú	154	23.15 CTC: Sistema multiplex de frequência e tempo	176
16.38-A Detalhes de impermeabilização	74	21.6 Proposta para a rede do Metrô	116	22.6 Estudo preliminar da estação Brás-Roosevelt	154	24.1 Diagrama de marcha para a linha Santana-Jabaquara e Paraíso-Moema	179
16.38-B Detalhes de impermeabilização	75	21.7 Fluxograma de passageiros da CMTC baseado no levantamento de 1964	117	22.7 Estudo preliminar da estação Jockey Clube	154	24.2 Tabela de tempos de percurso	180
16.39 Detalhes de impermeabilização	75	21.8 Comparação das áreas servidas por linhas de ônibus num sistema de tráfego integrado, considerando-se em primeiro plano a linha Casa Verde-Vila Maria	118	22.8 Estudo preliminar da estação Clínicas	154	24.3.I Gráfico do horário, linha Santana-Jabaquara e Paraíso-Moema	181
16.40 Revestimento interno do túnel	76	21.9 Comparação das áreas servidas por linhas de ônibus num sistema de tráfego integrado, considerando-se em primeiro plano a linha Santana-Jabaquara	118	22.9 Estudo preliminar da estação D. Pedro II	155	24.3.II Gráfico do horário, linha Santana-Jabaquara e Paraíso-Moema	181
17.1 Ordens de grandeza de nível sonoro	78	21.10 Rede de Metrô — Proposta de expansão futura	119	22.10 Estudo preliminar da estação Via Anchieta	155	24.3.III Gráfico do horário, linha Santana-Jabaquara e Paraíso-Moema	182
17.2 Construções acústicas	79	21.11 Distribuição de trens — Expansão futura	120	22.11 Estudo preliminar da estação Moóca	155	24.3.IV Gráfico do horário, linha Santana-Jabaquara e Paraíso-Moema	182
17.3 Fôrro falso para absorver ruídos	79	22.1 Perfis longitudinais das linhas do Metrô	123	22.12 Tabela de trilhos e desvios para todas as linhas	156	24.3.V Gráfico do horário, linha Santana-Jabaquara e Paraíso-Moema	183
17.4 Construção especial para absorver ruídos e vibrações	79	22.2.I Traçado da linha Santana-Jabaquara, com ramal Paraíso-Moema; perfil longitudinal e planta; trecho Santana-Luz	129	23.1 Princípios de espaçamento	161	24.4 Máximo de lugares oferecidos e necessários por trajeto de ida e volta	183
17.5 Detalhe do túnel 17.4	79	22.2.II Traçado da linha Santana-Jabaquara, com ramal Paraíso-Moema; perfil longitudinal e planta; trecho Luz-Liberdade	133	23.2 Tempo de sequência ótimo em ferrovias suburbanas; circulação com base em distanciamento de frenagem absoluta	162	24.5 Numeração das rotas possíveis considerando a operação automática de trens	184
18.1 Malhas de aço	80	22.2.III Traçado da linha Santana-Jabaquara, com ramal Paraíso-Moema; perfil longitudinal e planta; trecho S. Joaquim-Vila Mariana	137	23.3 Circulação com base em sinais luminosos à beira da via com ATS	162	24.6 Escala de trens	185
18.2 Crescimento da potência instalada e do consumo de energia	81	22.2.IV Traçado da linha Santana-Jabaquara, com ramal Paraíso-Moema; perfil longitudinal e planta; trecho Conceição-Depósito	141	23.4 Circulação com base em sinais luminosos à beira da via com controle de velocidade V-69 e ATS	163	24.7 Manobras de retorno nas estações terminais I Mudança de via além da plataforma II Mudança de via aquém da plataforma	186
20.1.I/IV Estudos do Metrô; variantes I a IV	83	22.2.V Traçado da linha Santana-Jabaquara, com ramal Paraíso-Moema; perfil longitudinal e planta; trecho Santa Cruz-S. Judas	145	23.5 Circulação com base em "cab signal" com seções de via subdivididas	163	24.8 Trens necessários (composições de seis carros)	187
20.1.V/VIII Estudos do Metrô; variantes V a VIII	84	22.2.VI Traçado da linha Santana-Jabaquara, com ramal Paraíso-Moema; perfil longitudinal e planta; trecho Paraíso-Moema	149	23.6 Circulação com base em "cab signal" com distância de frenagem absoluta	164	25.1 Consumo de energia de um trem	189
20.2 Fluxograma de passageiros do transporte coletivo (ônibus e trem suburbano), baseado no levantamento de maio a agosto de 1967	85			23.7 Sistema de espiras curtas para ATC e ATO	164	25.2 Demanda diária média para tração	190
20.3.I/IV Área de influência das estações na zona central; variantes I a IV	90			23.8 Etapas de velocidade em sistema de espiras curtas	164	30.1 Fixação do trilho sobre dormentes de madeira	193
20.3.V/VIII Área de influência das estações na zona central; variantes V a VIII	91			23.9 Sistema ATC (transmissão pelos trilhos)	167	30.2 Fixação do trilho sobre laje de concreto	193
20.4 Rede de tráfego VIII	93			23.10 Sistema ATO (transmissão lateral)	171	30.3 Forças longitudinais nos trilhos dependendo da temperatura	193
20.5 Sistema de tráfego integrado (rede VI)	97			23.11 Sistema de operação do Metrô — conceito fundamental	172	30.4 Seção em superfície	194
20.6 Sistema de tráfego integrado (rede VIII)	101						
21.1 Mass net VI carregado com as viagens de 1987	105						
21.2 Mass net VIII carregado com as viagens de 1987	109						

Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página
30.5 Seção sobre elevado	194	31.11 Estação Cruzeiro do Sul. Planta ao nível da plataforma	212	31.33.I/II Estação São Bento. Cortes. Cortes I e II	222	31.55 Estação São Joaquim. Cortes	233
30.6 Seção elevada entre muros de arrimo	195	31.12 Estação Cruzeiro do Sul. Cortes e elevações	212	31.34 Estação São Bento. Corte geral em perspectiva	223	31.56 Estação Aclimação. Planta ao nível do hall de distribuição; planta ao nível da plataforma	234
30.7 Túnel executado em galeria a céu aberto, para raios de 6.500 m $< R \leq 00$	195	31.13 Estação Cruzeiro do Sul. Perspectiva	213	31.35 Estação São Bento. Vista em elevação	223	31.57 Estação Aclimação. Cortes	234
30.8 300 $\leq R \leq 6.500$ m Túnel executado em galeria a céu aberto, para raios de	195	31.14 Estação Ponte Pequena. Perspectiva	213	31.36 Estação São Bento. Perspectiva	223	31.58 Estação Aclimação. Perspectiva	235
30.9 Seções de vários Metrô	196	31.15 Estação Ponte Pequena. Elevação e planta ao nível da plataforma	213	31.37 Estação São Bento. Perspectiva externa	224	31.59 Estação Paraíso. Planta ao nível da praça (+ 815,00)	235
30.10 Seções de vários Metrô	197	31.16 Estação Ponte Pequena. Planta do nível inferior	214	31.38.I Estação São Bento. Perspectiva interna	224	31.60 Estação Paraíso. Planta ao nível + 808,78	236
30.11 Túnel executado com couraça, para raios de 300 m R 6.500 m	198	31.17 Estação Ponte Pequena. Cortes e sub-estação retificadora	214	31.38.II Estação São Bento. Entrada típica de estação interna	224	31.61 Estação Paraíso. Planta ao nível + 803,82	236
30.12 Desenvolvimento de calor no trecho São Joaquim-São Bento	198	31.18 Estação da Luz. Planta ao nível + 738,00	215	31.39 Estação Clóvis Beviláqua. Planta de situação	225	31.62 Estação Paraíso. Planta ao nível + 800,52	237
30.13 Esquema de renovação de ar nas estações	198	31.19 Estação da Luz. Planta ao nível + 729,70	215	31.40 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível da praça	225	31.63 Estação Paraíso. Planta ao nível + 797,10	237
30.14 Disposição do sistema de ventilação na linha Santana-Jabaquara	199	31.20 Estação da Luz. Planta ao nível da plataforma	216	31.41 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível 752,20	226	31.64 Estação Paraíso. Planta ao nível + 792,64	238
30.15 Compensação da corrente de ar	199	31.21 Estação da Luz. Cortes	216	31.42 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível 746,60	226	31.65 Estação Paraíso. Planta ao nível + 789,22	238
30.16 Proteção contra chuvas	201	31.22 Entrada para estação subterrânea do Metrô	217	31.43 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível 742,44	227	31.66 Estação Ana Rosa. Perspectiva	239
30.17 Proteção contra chuvas	201	31.23 Estação Senador Queiroz. Perspectiva	217	31.44 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível 738,92	227	31.67 Estação Ana Rosa Planta do hall de distribuição; 1.ª etapa	239
30.18 Proteção contra chuvas	201	31.24 Estação Senador Queiroz. Planta de situação. Passagem de nível e entradas da estação; planta ao nível da plataforma	218	31.45 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível 735,40	228	31.68 Estação Ana Rosa Planta do hall de distribuição; fase final	239
31.1 Locação da linha Santana-Jabaquara com ramal Paraíso-Moema	203	31.25 Estação Senador Queiroz. Planta ao nível dos acessos às plataformas; planta ao nível do hall de distribuição às plataformas	218	31.46 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível 729,62	228	31.69 Estação Vila Mariana. Perspectiva.	240
31.2 Perspectiva da linha elevada, vista de cima	204	31.26 Estação Senador Queiroz. Planta ao nível dos acessos às estações. Planta ao nível da conexão entre as estações	219	31.47 Estação Clóvis Beviláqua. Planta ao nível 726,10	229	31.70 Estação Vila Mariana. Planta ao nível da plataforma; planta do hall de distribuição	240
31.3 Perspectiva da linha elevada, vista de baixo	205	31.27 Estação Senador Queiroz. Cortes	219	31.48 Estação Clóvis Beviláqua. Cortes	229	31.71 Estação Vila Mariana. Cortes	240
31.4 Estação Santana. Perspectivas	208	31.28 Estação São Bento. Planta ao nível 744,00 nível + 744,00	220	31.49.I/VII Estação Clóvis Beviláqua. final de execução	230	31.72 Estação Santa Cruz. Planta ao nível da plataforma; planta do hall de distribuição	241
31.5 Estação Santana. Planta ao nível da rua	209	31.29 Estação São Bento. Planta ao nível + 738,88	220	31.50 Estação Liberdade. Nível de comunicação dos acessos externos; planta do hall de distribuição	231	31.73 Estação Santa Cruz. Cortes	241
31.6 Estação Santana. Planta ao nível da plataforma	209	31.30 Estação São Bento. Planta ao nível + 733,76	221	31.51 Estação Liberdade. Cortes e planta ao nível da plataforma	231	31.74 Estação Praça da Árvore. Planta ao nível da plataforma; planta do hall de distribuição	242
31.7 Estação Carandirú. Planta ao nível do túnel de acesso e ao nível da rua	210	31.31 Estação São Bento. Planta ao nível + 729,44	221	31.52 Estação Liberdade. Perspectiva	232	31.75 Estação Praça da Árvore. Cortes	242
31.8 Estação Carandirú. Nível da plataforma	210	31.32 Estação São Bento. Planta ao nível + 724,00	222	31.53 Perspectiva	233	31.76 Estação Saúde. Planta ao nível da plataforma; planta do hall de distribuição	243
31.9 Estação Carandirú. Elevação e cortes	211			31.54 Estação São Joaquim. Planta ao nível do hall de distribuição; planta ao nível da plataforma			
31.10 Estação Cruzeiro do Sul. Planta ao nível da rua e planta ao nível do túnel	211						

Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página
31.77 Estação Saúde. Cortes	243	31.99 Estação Ibirapuera. Cortes e elevações	254	33.7 Cronograma da construção e entrega da locomotiva de manobra	270	40.27 Seqüência de controle	291
31.78 Estação São Judas. Planta do hall de distribuição inferior; planta ao nível da plataforma	244	31.100 Estação Moema. Planta ao nível da plataforma e distribuição; corte — elevação	255	40.1 Vários esquemas de tração para o Metrô; ligação em paralelo	273	40.28 Circuito de controle para 2 carros com 8 motores	292
31.79 Estação São Judas. Planta do hall de distribuição superior; cortes	244	31.101 Estação Moema. Cortes	255	40.2 Diagrama do motor	273	40.29 Esquema do comando eletrônico automático do trem	293
31.80 Estação São Judas. Perspectiva	245	31.102 Estação Ponte Pequena. Vistas a, b, c da maquete	256	40.3 Força de tração e velocidade no regime unihorário	273	40.30.I I Controle convencional do dispositivo de manobra com ligação série-paralela dos motores de tração	294
31.81 Estação Conceição. Planta ao nível da plataforma	245	31.103 Estação Liberdade. Maquete, em corte, da estação subterrânea	256	40.4 Resistência ao movimento em função da velocidade	273	40.30.II Ligação de partida com controle de impulsos e ligação paralela constante dos motores de tração	294
31.82 Estação Conceição. Planta do hall de distribuição	246	32.1 Linha Santana-Jabaquara: trechos de construção	258	40.5 Resistência ao movimento (WTs) em função da velocidade (km/h) e gradientes (%)	273	40.31 Conexões de marchas e curvas características de um "chopper control" de um veículo movido a bateria	294
31.83 Estação Conceição. Cortes	246	32.2 Plano de execução da linha Santana-Jabaquara	259	40.6 Valor da curva característica da capacidade de tração a 230 A para aceleração com uma amenização de campo até 25%	273	40.32 Diagrama de carga de um motor de tração ferroviário	294
31.84 Estação Jabaquara. Planta ao nível da praça	247	32.3 Quadro cronológico do "shield"	259	40.7 Diagrama de força da tração	273	40.33 Curva característica de um motor de tração	294
31.85 Estação Jabaquara. Planta do hall de distribuição	247	32.4 Galeria coletiva transitável; seção transversal	260	40.8 Diagrama de velocidade-tempo e capacidade-tempo	274	40.34 Disposição dos motores elétricos nos truques	295
31.86 Estação Jabaquara. Planta ao nível da plataforma	248	32.5 Galeria coletiva transitável; seção transversal	260	40.9 Desempenho do carro para uma distância média de 890 m entre estações	274	41.1 Equipamento recarregador óleo — hidráulico	296
31.87 Estação Jabaquara. Cortes	248	32.6 Influência da profundidade do Metrô na disposição das redes de distribuição	261	40.10 Gabarito estático, dinâmico e folga limite do carro	276	42.1.I Região Centro-Sul, Sistema energético Usinas e linhas de transmissão principais	299
31.88 Oficinas de Manutenção. Implantação no terreno	249	32.7 Planta do sistema de alimentação	261	40.11 E.M.U. de São Paulo	277	42.1.II Região Centro-Sul, Sistema energético Balanço energético 1970 — 1980	299
31.89 Oficinas de Manutenção. 1.º Pavimento	249	32.8 Linha Santana-Jabaquara: desvio do tráfego	263	40.12 Alternativas para abertura das portas nos carros	292	42.2 Sistema principal de abastecimento de energia da cidade de São Paulo	299
31.90 Oficinas de Manutenção. 2.º Pavimento	249	32.9 Galeria a céu aberto; concretagem usando ponte rolante do tipo pórtico	265	40.13/18 Esquemas da transmissão mecânica do acionamento motriz. Alternativas	283	42.3 Usinas principais para o suprimento de energia do Grande São Paulo	300
31.91 Oficinas de Manutenção. Elevações e cortes	250	32.10 Galeria a céu aberto; escavação e perfuração para estacas	265	40.19 Dimensões principais de um rodeiro e perfil de uma roda	285	42.4 Demanda de energia na rede de distribuição da concessionária (LIGHT — Serviços de Eletricidade S.A. — Região de São Paulo)	300
31.92 Edifício sede da administração e oficinas de consertos. Plantas	251	33.1 Cronograma de execução das linhas do Metrô de São Paulo	270	40.20 Comparação de peso de alguns carros de Metrô	287	42.5 Regulagem típica das tensões em estações terminais: LIGHT — S.P.	300
31.93 Edifício sede da administração e oficinas de consertos. Elevação e cortes	251	33.2 Cronograma para planejamento e execução das instalações de sinalização e telecomunicação	270	40.21 Possibilidades de conexão de motores em grupo	288	42.6 Estudo econômico sobre fontes de energia; comparação resumida	302
31.94 Oficinas de Manutenção. Oficina para tórnos de rodas, tórre d'água e outros detalhes	252	33.3 Cronograma para projeto e construção das instalações fixas elétricas	270	40.22 Características de frenagem reostática e recuperação	288	42.7 Rede geral do Metrô locação de subestações primárias e retificadoras	302
31.95 Estação Tutóia. Perspectiva	252	33.4 Cronograma para projeto e construção das facilidades de manutenção	270	40.23 Consumo unitário de energia de frenagem por metro (m) de via em $\frac{W \cdot h}{h \cdot m}$ — Valores comparativos	289	42.8 Linha Santana-Jabaquara: esquema geral do suprimento de energia	303
31.96 Estação Tutóia. Planta ao nível da plataforma e ao nível inferior	253	33.5 Cronograma do projeto do sistema de ventilação	270	40.24 Esquema principal proposto — Diagrama I	291		
31.97 Estação Tutóia. Cortes e elevações	253	33.6 Cronograma da construção e entrega da E.M.U.	270	40.25 Esquema principal proposto — Diagrama II			
31.98 Estação Ibirapuera. Planta ao nível da plataforma e nível intermediário	254			40.26 Combinador para controle de Metrô			

Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página	Figura	Página
42.9	304	42.19	312	62.1	324	8	330
Áreas propostas para a localização de subestações primárias de 88/23 kV		Condições de correntes de fuga		Custos dos investimentos		Aplicação da marca na sinalização urbana	
42.10	305	50.1	315	A 14.4	327	9	330
Subestação primária de 88/23 kV; diagrama unifilar típico		Programa de revisão		no material rodante		Teste de desfoque	
42.11	305	52.1	318	Carro na posição da corda interna		10	330
Subestação primária de 88/23 kV; planta típica		Planta geral das oficinas		A 14.2	327	Teste de redução	
42.12	306	52.2	319	Carro na posição da corda externa		11 e 12	330
Esquema típico do sistema de distribuição em 23 kV		Seção transversal da área de estacionamento		A 14.3	327	Construção geométrica	
42.13	306	52.3	319	Amplitude das oscilações do veículo		13	330
Diagrama unifilar de uma subestação retificadora com barramento duplo de 23 kV		Esquema da instalação de lavagem externa		A 14.4	327	Dicionário de marcas dos principais metrô existentes	
42.14	306	52.4	320	Determinação da seção transversal dinâmica do carro			
Esboço da disposição de uma subestação retificadora subterrânea		Aparêlho de arrasto		1 e 4	329		
42.15	309	52.5	320	Marca-Símbolo e logotipo com codificação de cores			
Posição do 3.º trilho com tomada inferior de corrente		Aparêlho de arrasto rebocando o trem		2	329		
42.16	309	52.6	320	Aplicação de marca nos carros do Metrô			
Posição do 3.º trilho com tomada superior de corrente		Tôrno mecânico instalado no subsolo para acerto dos perfis das rodas		3	329		
42.17	310	60.1	322	Substituição da cor por retícula			
Disposição do 3.º trilho em estações e vias		Custos dos investimentos nas construções		5 e 6	329		
42.18	310	61.1	323	Definição da marca pelo traço de contorno, em positivo e negativo			
Esquema dos alimentadores CC em uma estação		Custos dos investimentos nas instalações elétricas e mecânicas estacionárias do Metrô		7	330		
				Aplicação de marca de sinalização de uma estação subterrânea			

Índice bibliográfico

Capítulo 11

Dipl. Ing. E. D. Wendt
Die Alweg-Bahn Tokio-Haneda
Der Stadtverkehr, 1, 1965

Dr. Ing. G. Groche
Sind alle Probleme der Alweg-Bahn
geloest?
Moderne Eisenbahn 12/64

Patrice Malterre
Einschienebahn oder U-Bahn?
(Ein Pariser Beispiel)
Der Stadtverkehr

J.L. de Figueiredo
Metrô aéreo, Transporte rápido e
econômico para as metrópoles
Indústria Automotiva N.º 82, Abril/66.

J. Moraes
Nota sobre o artigo "Quando terá
São Paulo seu sistema de transporte
rápido?"
Engenharia N.º 221, Abril/61

Dipl. Ing. K. Idelberger
Luftbereifte Drehgestelle und
Stahlleichtbau — Wagenkasten
für Metrolinien in Montreal, San
Francisco und Paris
Stadtverkehr, 4, 1964.

N.G. Marks
Experimental Transit Expressway in
Pittsburgh, Structural Design of the
Elevated Roadway
ASCE — Transportation Engineering
Conference, Philadelphia, Oct. 1966.

Dr. Ing. P. Kremer
Die Schwebbahn — Versuchstrecke
in Houston/Texas
Verkehr und Technik, 1, 1957.

Dipl. Ing. O. Buchholz
50 Jahre Wuppertaler Schwebbahn
Zeitschrift des Vereins Deutscher
Ingenieure, 7, 1951.

The Ministry of Transport,
Manchester Corporation,
British Railways, De Leuw Cather &
Partners
Manchester rapid transit study.

U.I.T.P.
Les Transports Publics dans les
principales Villes du Monde
Bruxelles.

Dr. Ing. Berger
Untergrundbahn
Berlin 1951

International Railway Journal
1967

Eng.º Cassio Penteado Serra — GEM
Quadro comparativo entre algumas ca-
racterísticas de 30 metrô em
operação
Nov. 1967

Revistas técnicas internacionais

C.T.A.
Report Chicago

T.T.C.
Report Toronto

How London Underground works

Capítulo 12

Normas Técnicas para as Estradas de
Ferro Brasileiras, 1966.

Regulamento para Segurança,
Tráfego e Polícia das Estradas
de Ferro, 1963

Código Brasileiro de Sinais
Ferroviários
ABNT — 1965

IFPTE — Instituto Ferroviário de
Pesquisas Técnico-Econômicas, 1957.

American Railway Engineering
Association (AREA)

Capítulo 13

UIC 610 V (União Internacional
Ferroviária)
Elektrische Fahrmotoren
6.a edição 1961, pág. 24, quadro II

Publicação IEC n.º 48
Rules for electric traction motors
4.ª edição 1961, pág. 39, quadro II.

Perrone, Vito
La ferrovia metropolitana di Roma
Ed. Ist. Poligr. Stato-Roma 1955,
pág. 139.

Patrassi, A.
La scelta della tensione de
elettrificazione per le ferrovie urbane
e suburbane a forte traffico
Ingegneria Ferroviaria, 1964, Aprile

Capítulo 14

American Railway Engineering
Association, C&M Section —
Engineering Division —
AAR (1956)

UIC-Richtlinien

BO-Strab
Verordnung ueber den Bau und Betrieb
der Strassenbahn; Ausgabe 1965

EBO-Eisenbahn
Bau-und Betriebsordnung (EBO)
(Deutsche Bundesbahn — DV 300)
8.5.1967

Die U-Bahn in Stockholm
AB Stockholms Sportvagnar

Subway Construction in Toronto
Toronto Transit Commission,
September 1963.

San Francisco Bay Area Rapid Transit
District General Obligation Bonds
Series A — 1963

Sondervorschriften fuer die
Nord-Sued-S-Bahn Berlin

IFPTE — Instituto Ferroviário de
Pesquisas Técnico-Econômicas
1957

Prof. Dr. Ing. W. Grabe
Planung von U-Bahnen

Tagung in Berlin 1963
Planung und Bau interirdischer
Verkehrswege

Schnellverkehrstagung in Berlin 1964
Planung, Bau und Betrieb des
Schnellverkehrs in
Ballungsraeumen

DB (HVB)
Betriebliche Richtlinien fuer
Stadtschnellbahnen

Prof. Dr. K. Leibrand
Verkehr und Stadtebau 1964

Schleicher

Huette

Die Bundesbahn
Okt. 1964, 19/20

Grossmann
Handbuch des Eisenbahnbauwesens
Verkehrstechnische Woche
Heft 40 — 42, 1939

Kurt Reimer
Bewegungsvorgaenge auf Bahnsteigen
des grosstaedischen
Schnellverkehrs
Glasens Annalen Nov. 53

Dr. Ing. Oedinz, K. Reimer
Die Bewegung von Menschenmassen
in Verkehrsraeumen
Glasens Annalen Juli 47

Adolf Ludwig VDI, Neuss
Rolltreppen im oeffentlichen
Nahverkehr
Sonderdruck aus "Der Tiefbau", Okt.
1963.

Dr. W. G. Kahlmann
Fahrtreppen in Verkehrsanlagen
Foerdern und Heben,
Mai 1963

S-Bahn Hamburg
Planungsgrundlagen

Dr. Ing. W. Weber
Die Reisezeit der Fahrgaeste
oeffentlicher Verkehrsmittel in

Abhaengigkeit von Bauart und
Raumlage

Dipl. Ing. Georg Mandel, Hamburg
Betriebsgerechte Gestaltung beim Bau
von Haltestellen in der zweiten
Ebene.

Capítulo 15

Eng.º Francisco Prisco
Levantamento Aerofotogramétrico do
Município de São Paulo
Janeiro, 1960.

Sondagens de Reconhecimento na
Linha Sul do Metropolitano
Relatório n.º 3.413 — Secção de
Fundações, 1962

Sondagens de Reconhecimento na
Pça. Craveiro Lopes, ao longo do
traçado da futura linha Leste-Oeste
do Metropolitano
Relatório n.º 3.039 — Secção de
Fundações — IPT, 1960.

Sondagens de Reconhecimento na
Rua Maria Paula e na Pça. João
Mendes ao longo do traçado da futura
linha Leste-Oeste do Metropolitano
Relatório n.º 3.058 — Secção de
Fundações — IPT, 1960.

Francisco T. Silva Telles e
Domingos Marchetti
Emissário do Moringuinho
Revista Politécnica n.º 149, 1945.

Exploração do Subsolo no Local do
Túnel Paraíso sob a Pça. Rodrigues
de Abreu
Relatório n.º 927 — Secção de Solos
— IPT, 1946.

Sondagens de Reconhecimento na
Linha Norte do Metropolitano
Relatório n.º 4.118 — IPT — Secção
de Fundações, 1965.

Milton Vargas, Glaucio Bernardo
Nota para o Estudo Regional do Solo
do Centro da Cidade de São Paulo
Publicação IPT n.º 149 — 1945.

Milton Vargas
Problemas de Fundações de
Edifícios em São Paulo e sua relação
com a formação geológica local
Publicação IPT n.º 514 — 1954

Milton Vargas
Building Settlement Observations in
São Paulo
Proc. Ind. Int. Conf. Soil Mech.
Found. Eng. — Rotterdam 1948,
Pág. 12, Vol. IV.

E. Pichler
Regional study of the soils from São
Paulo — Brazil
Proc. Ind. Int. Conf. Soil Mech. Eng.,
Rotterdam 1948, Pág. 222, Vol III

- L. Rios — F. Pacheco Silva
Foundations in downtown São Paulo
Proc. Ind. Int. Conf. Soil Mech. Found.
Eng. — Rotterdam, 1948 Pág. 69,
Vol. IV.
- Milton Vargas
Foundations of tall buildings on sand
in São Paulo
Proc. of the Vth Conf. Soil Mech.
Found. Eng. 1961 — Paris — Vol. 1,
Pág. 841
- Karl Terzaghy
Applied Sedimentation — A
Symposium
Chapter 11 — Geologic Aspects of soft
Ground Tunneling,
1950, Edited by Parker, P. Trask —
Wiley
- Milton Vargas
Foundation of structures on over —
consolidated clay layers in São Paulo
Geotechnique, September, 1955.
- Grupo Eng^o Francisco Prestes Maia —
L. de Barros Siciliano — L. C. Berrini
Jr. e outros
Ante-projeto para um sistema de
transporte rápido para a cidade de
São Paulo
1956
- Grupo Eng^o Francisco Prestes Maia
Vorprojekt der Kommission
Hochtief Translation 1956,
- Milton Vargas
A exploração do subsolo para fins de
estudos de fundações
Revista Politécnica n.º 149, 1945
- Ernesto Pichler
Estudo Regional dos solos de São
Paulo
Revista Politécnica n.º 156, 1950
- Lauro Rios
Fundações no centro de São Paulo
Revista Politécnica n.º 156, 1950
- Milton Vargas
Observações de recalques de
edifícios em São Paulo
Revista Politécnica n.º 156, 1950
- José Machado e Joaquim A.
Berrenbach
Estudo de um escorregamento de terra
Revista Politécnica n.º 156, 1950
- M.C. de Oliveira Pinto e Marcelo
Kutner
Estudo das características mecânicas
de uma argila da colina de São Paulo
Bol. IPT — Publicação 144, 1949
- Milton Vargas
Foundation of structures on
over-consolidated clay layers in São
Paulo
The Institution of Civil Engineers,
London, 1955 Except from Geotechnique
1955, September
- Karl Terzaghy
Condições do solo em São Paulo com
relação a construção de um subway
Publ. n.º 410 — IPT, 1950
- Alberto H. Teixeira
Correlação entre a capacidade de
carga das argilas e a resistência à
penetração
Anais 3.º Congresso Brasil Mech.
Solos, Vol. I, B. Horiz. 1966
- Estudo do subsolo ao longo do anel
central do metropolitano de São Paulo
Relatório n.º 1.210 d IPT, 1947
- Medida de resistência à penetração
— Experiência do IPT
Relatório Interno 1961
- Sondagens ao longo do traçado
Norte-Sul — traçado Berrini
Levantamento dos dados existentes
pelo IPT
Relatório n.º 4542 IPT 1967, Maio.
- Perfil do subsolo sob o Viaduto do
Brás
Fôlhas de desenho n.º 11 A e 12
— Codrasa 23/12/66
- Publicação n.º 1 — Rodio
Apresentação e referência Rodio 1963
- Publicação n.º 2 — Rodio
Construção de diafragma pelo
sistema Rodio
Rodio-1961
- Publicação n.º 7 — Rodio
Dam. Foundation Settlements due to
saturation
Rodio — H.U. Scherrer — 1965
- Earth Pressure and Shearing
Resistance of Plastic Clay
Simposio, 1943, A.S.C.E., Paper
n.º 2.200, Transactions, Vol. 108,
pág. 965.
- Sondagens existentes no IPT — Linha
Leste-Oeste
Rel. 4575 — 5/7/1967
- Karl Terzaghy
Shield tunnels of the Chicago subway
Journal of the Boston Society of Civil
Engineers, July 1962
- Othelo Machado, Carlos Magalhães
A resistência à penetração na fixação
das taxas admissíveis dos terrenos de
fundação
Revista de Engenharia, Março 1955
Vol. XIII, n.º 148
- Vera Cozzolino
Statistical forecasting of compression
Index Proc. V. Conf. Soil Mech.
Foundation Engineering-Paris, Julho
1961
- Ary Torres
Mecanismo da corrosão do concreto
pelas águas naturais agressivas
Separata n.º 138, Boletim do Instituto
de Engenharia, Agosto 1938
- Dra. Ruth Terzaghy
Deterioração do concreto devido ao
ácido carbônico
Trad. de Lincoln A. Queiroz, 1948,
Journal of the Boston Society of Civil
Engineers, 1949
- DIN 4030
Beton in betonschaedlichen Wassern
und Boeden
Deutsche Normen — September 1954
- DIN 4019
Baugrund
Deutsche Normen — Juni 1958 —
Blatt 1
- DIN 4019
Fundamentsetzungen 2. Teil
Deutscher Normenausschuss —
Wilhelm Ernst & Sohn — Berlin 31
und Muenchen
- Sondagens — Rua Boa Vista
SOBRA, 1958, Perfis
- Standard Method ASTM
ASTM, 1939
- Solos e Pavimentação
Normas Brasileiras, 1958,
ABNT
- Samuel Chamecki
Norma recomendada pela ABMS para
projeto e execução de fundações
Revista Estrutura n.º 25 — 1961
- Field permeability tests in boreholes
Earth Manual — 1960
- Arthur Casagrande
Classification and Identification of
soils 1943
- American Society of Civil Engineers
Technical Papers, 1947
- P.C. Rutledge
Relation of undisturbed sampling to
laboratory testing
American Society of Civil Engineers,
Transactions, Paper n.º 2229 — 1944
- F.F. Almeida
As camadas de São Paulo e a
tectônica da Serra da Cantareira
Boletim Sociedade Brasileira de Geo-
logia, Vol. 4 n.º 2 — 1955
- R.O. Freitas
Sobre a origem da Bacia de São
Paulo
Boletim Paulista de Geografia n.º 9
— 1951
- Josué Camargo Mendes
O problema da idade das camadas de
São Paulo
Boletim Paulista de Geografia n.º 5
— São Paulo — 1950
- Viktor Leinz
Contribuição à Geologia da Bacia de
São Paulo
Boletim n.º 205, Geologia n.º 15,
F.F.C.L. — U.S.P. — 1957
- C. W. Washburne
Petroleum Geology of the State of São
Paulo — Brazil
Com. Geog. — Boletim n.º 22 — São
Paulo — 1930
- Aziz Nacib Ab' Saber
Geomorfologia do sitio urbano de São
Paulo
Boletim 219 — Geografia — 12 —
F.F.C.L. — U.S.P., 1957
- As Laterites de Ultramar
Portugal — Ministérios das Obras
Públicas e do Ultramar
Memória n.º 141 — 1959
- Karl Terzaghy/Peck
Soil Mechanics in Engineering
Practice
John Wiley & Son, Inc. New York
- Grundbau Taschenbuch
Band 1 und 2-1966
Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin,
Muenchen — 1966
- R. Haefeli
Neuere Untersuchungen und
Erkenntnisse ueber das Verhalten von
Pfählen und deren Anwendung in der
Praxis der Pfahlfundationen
Schweizerische Bauzeitung 1961, 19.
Jhrg. Heft 25 und 26,
Zuerich — 1961
- R. Haefeli, H.B. Fehlmann
Measurement of soil compressibility
in situ by means of the model pile test
Proceedings of the 4. Inst. Conf. of
soil Mech. and Found. Eng. — London
Vol. I — 1957
- Zusaetzliche technische Vorschriften
und Richtlinien fuer Erdarbeiten im
Strassenbau Ztve — StB 65
Deutsche Normen — 1965
- Dr. J. Bonzel
Beurteilungsgrundsätze und
technische Massnahmen fuer Beton in
angreifenden Waessern
Betonstein-Zeitung 29 — Heft 11
— Duesseldorf, 1963
- Capítulo 20**
- The São Paulo Tramway, Light and
Power Limited
Memorial dirigido à Prefeitura da
Capital de São Paulo, 1925
- Prestes Maia, F.
Plano de Avenidas para a Cidade de
São Paulo, 1930
- Lopes Leão, M.
O Metropolitano em São Paulo, 1945
- Projeto da Cia. Geral de Engenharia
1948
- Moses, R.
Programa de melhoramentos para a
Cidade de São Paulo 1950
- Prestes Maia, F., Berrini, Jr. L.C.
Ante-projeto de um sistema de
transporte rápido
PMSP — 1956
- Projeto — Depto. de Urbanismo da
Prefeitura de São Paulo
1957/61
- Tagung in Berlin — 1963
Planung und Bau unterirdischer
Verkehrswege
- Risch/Lademann
Der oeffentliche Personennahverkehr
1957
- Capítulo 23**
- H.F. Fricke, P. Form
Einsatz der Nachrichtentechnik in
einer zukunfftigen Zug- und
Streckensicherung
ETR-Eisenbahntechnische Rundschau
6/65
- E. Kilb
Groessere Leistungsfahigkeit des
Nahschnellverkehrs mit neuzeitlichen
Triebzuegen durch
Linienzugbeeinflussung
Glasens Annalen 10/67
- E. Kolbeck
Die Projektierung de Scheibenbremse
fuer Schienenfahrzeuge
Glasens Annalen 11/62
- K. Krell
Einfluss von Verzoegerungen,
Beschleunigungen und
Abstandssicherung auf die
Mindestzugfolgezeit von S- und
U-Bahnen
Verkehr und Technik 12/64, 2/65
- H. Lagershausen
Das Fahren auf elektrische Sicht,
warum und wie?
ETR-Eisenbahntechnische Rundschau
6/65
- S. Lehmann
Die Leistungsfahigkeit moderner
Signalsysteme
Verkehr und Technik 7/8/1967
- S. Lehmann
Anfahr- und Zielbremsautomatik fuer
Stadtschnellbahnen im Rahmen
vorhandener Signalsysteme
Verkehr und Technik 11/67
- W. Otter
Zugbahntunk mit 80 elektrischen
Lokomotiven zwischen
Nuernberg und Wuerzburg
Signal und Draht 10/65
- E. Parkinson
Automatic Train Control for the Bay
Area
The Railway Gazette 6/67
- W. B. Riley, L. S. Gomolak
Who's on the right track?
Electronics 6/65
- H. Tappert
Die Chancen des automatischen
Zugbetriebs bei U-Bahnen
Verkehr und Technik 2. Sonderheft
1966
- Automatic devices are gaining
acceptance
Internacional Railway
Journal 5/67

E. Hettwig
Fernsprech-Waehlanlagen
Verlag R. Oldenburg
Muenchen 1952

S. Schmidt
Der Allfernsprecher
Signal und Draht 51/1959

H. Schmidt
Die Waehl-Befehlsfernsprechanlage 61
Elsners Taschenbuch fuer den
fernmeld- und signaltechnischen
Eisenbahndienst 12, 1962

Capítulo 24

Risch/Lademann
Der oeffentliche Personenverkehr —
1957

Capítulo 25

Dr. Ing. Wilhelm Müller
Eisenbahnanlagen und Fahrdynamik
Springer Verlag

Dr. Ing. H.O. Kimmeskamp
Ein vereinfachtes Verfahren zur
Ermittlung der Zugfoederungs-
kosten.

Capítulo 30

Prof. Dr. Ing. Hermann Meier,
Muenchen

Neuerungen im Gleisbau
Verkehr und Technik 1963/Heft 7, 8
und 9

Aufgaben und Probleme des
Eisenbahnoberbaues
Jahrbuch des Eisenbahnwesens, Folge
18-1967

Das schwellenlose Gleis fuer
Untergrundbahnen und Hochbahnen
Verkehr und Technik 1964, Heft 7
und 8

Dr. Ing. Josef Eisenmann, Muenchen
Ausbildung und Bedeutung
unmittelbarer Schienenbefestigungen
fuer Untergrund- und Hochbahnen
Nahverkehrspraxis 1964/7

Theoretische Untersuchung von
Schienenspannaegeln
ETR 1958 Heft 1

Untersuchung der Einspannung von
Schienenspannaegeln
Verkehr und Technik Heft 10

Oberbauforschung —
Oberbautechnik
Verkehrsingenieur 5 (1965) 7 — 8

Obering. Nils Lunden
Ballastfreier Gleisoberbau
Verkehr und Technik —
Stockholm

Prof. Ing. habil. W. Koch
Untersuchungen dynamischer

Vorgaenge bei U-Bahn-Tunneln und in
deren Umgebung
Verkehr und Technik —
Hannover

K. Weber
Schotter- und schwellenloses Gleis im
U-Bahn-Bau unter Verwendung von
Kunststoffen
Berlin

Dipl. Ing. J.F. Deenik und Ing. J.A.
Eisses
Schienenbefestigung im Gleis ohne
Schotter
Eisenbahningenieur, Heft
8-Utrecht 1966

S. Hilkenbach
Die neue Berliner U-Bahnstrecke nach
Britz-Sued
Der Stadtverkehr Heft 1 —
1964 — Berlin

Track Fastening for Tangent Track on
Concrete
Railway Gazette — Toronto

Dipl. Ing. W. Buch
Der schwellenlose Oberbau im Tunnel
der Hamburger U-Bahn
Verkehr und Technik — Heft 6
— 1963 — Hamburg

Prof. Dr. Ing. F. Birrmann
Erfahrungen mit dem durchgehend
geschweissten Gleis
Der Eisenbahningenieur
— Heft 10 — 1962

Dipl. Ing. A. Doll
Die Schienenbefestigung bei der
Deutsche Bundesbahn
Minden

Dr. Ing. G. Criman
Unterlagsplatten fuer Schienen im
U-Bahn-Bau
Ergebnisse amerikanischer
Untersuchungen,
Stuva Nachrichten 18/67

Capítulo 42

L. Koranyi
Design of d.c. power supply for rapid
transit systems
The Railway Gazette, 1955,
Okt., p. 783-189.

Prof. Ing. Patrassi, Angelo
La scelta della tensione di
elettrificazione per le ferrovie urbane
a forte traffico
Ingegneria Ferroviaria — Aprile 1964

IEC Publication 48
Rules for electric transaction motors
Fourth edition — 1961

IEC Publication 146 — 1. Auflage, 1963