

# SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO

## — TRAVESSIAS AÉREAS E SUBTERRÂNEAS

ENG.º ANTONIO MARTINS  
Grupo de Coordenação de Projetos da COMASP

### 1. INTRODUÇÃO

A Companhia Metropolitana de Água de São Paulo — COMASP foi criada em 1968 para estudar, projetar e construir um sistema de abastecimento de água para suprir um deficit de adução atual, bem como uma demanda a longo prazo de um consumo previsto para o ano 2000, que será aproximadamente 85 m<sup>3</sup>/s correspondente a uma população de 20 milhões de habitantes.

Desse modo estudam-se os mananciais que estejam em condições de fornecer esse volume de água bem como outros com os quais se poderão contar para o caso de crescimento da população acima do previsto.

Projetam-se e constroem-se barragens de captação e regularização de rios, ligadas entre si por canais e túneis escavados em rocha, estações elevatórias e estações de tratamento.

Das estações de tratamento partem as tubulações de grande diâmetro que irão dar vazão à essa água produzida para abastecer cerca de 37 municípios da Grande São Paulo.

Essas tubulações provindas de vários sistemas de captação e tratamento, tais como Cantareira, Guarapiranga, Rio Grande, Rio Claro e Cotia, abastecendo numerosas regiões e interligando esses diferentes sistemas, constituem o Sistema Adutor Metropolitano — SAM.

O Sistema Adutor Metropolitano, que, como foi dito, é constituído de tubulações de grande diâmetro de aço e ferro dútil, teve no seu caminhamento diversos obstáculos para serem transpostos, tais como:

- a) estradas de ferro;
- b) estradas de rodagem;
- c) leitos de pequenos rios;
- d) leitos de grandes rios.

### 2. TRAVESSIAS

A tubulação do SAM, em seu percurso, tem numerosos obstáculos para serem transpostos, tais como estradas de ferro, estradas de rodagem, riachos e grandes rios. Para transpô-los, além dos métodos necessários estipulados pela engenharia, teve-se que levar em conta as regulamentações e exigências impostas pelas entidades às quais pertencem esses obstáculos.

Assim foram executados os projetos que estabeleceram os métodos de construção para vencer esses obstáculos. São as chamadas travessias.

Todas as travessias das estradas de ferro, estradas de rodagem e pequenos rios, foram vencidas subterraneamente e constituindo as chamadas TRAVESSIAS SUBTERRÂNEAS, e os grandes rios foram vencidos aereamente — são as TRAVESSIAS AÉREAS.

### 3. TRAVESSIAS SUBTERRÂNEAS

Para as Travessias Subterrâneas temos os seguintes casos:

- 3.1 — travessias subterrâneas de estradas de rodagem;
- 3.2 — travessias subterrâneas de estradas de ferro;
- 3.3 — travessias subterrâneas de pequenos rios.

#### 3.1 — *Travessias subterrâneas de estradas de rodagem*

Para elaboração do projeto foram necessários os seguintes elementos:

I — O ponto inicial e final da travessia, portanto, a direção a ser seguida.

II — Plantas de levantamento topográfico planimétrico, altimétrico e cadastral da travessia.

III — Perfis de sondagens.

IV — Levantamento de interferências enterradas não visíveis.

V — Normas estabelecidas pelas entidades responsáveis pelas estradas de rodagem, tais como:

- a) as tubulações que atravessam a estrada devem ser de fácil inspeção, ou seja, internas a um tubo camisa, para que, havendo um vazamento, sejam rapidamente recuperadas, não produzindo recalques e danos à estrada;
- b) em cada extremidade da travessia deve ser instalada uma caixa de inspeção, situada fora da faixa de domínio da estrada;
- c) a diferença de cota, entre a geratriz superior do tubo camisa e o leito da estrada deve ser de no mínimo 1,50 m;
- d) durante a construção não poderá haver interrupção do tráfego.



Com os dados enumerados foram executados os projetos, nos quais levaram em conta não só a prescrição exigida de profundidade do tubo camisa pelas ditas entidades, mas também devido a constituição do solo. Consta no projeto as soluções dos problemas referentes à escavação, tipos de solo, rebaixamento do lençol freático, drenagem, e remanejamentos necessários.

Foram elaborados dois métodos construtivos das travessias subterrâneas:

3.1.1 — O primeiro método constitui o processo da escavação horizontal ou com pequena inclinação, e montagem de segmentos flangeados e em arco de aço, visando a formação do tubo camisa com características estruturais dimensionadas para os esforços estáticos e dinâmicos a que estarão sujeitos em cada caso.

Cada segmento de chapa tem dois flanges com furações, um em cada extremidade circunferencial que permitem, por meio de parafusos, facilmente dar continuidade à montagem no sentido longitudinal da estrutura, unindo-se por justaposição uma chapa sobre a outra. Para

completar, no sentido circunferencial, um anel da estrutura, em cada uma das extremidades existe um rebaixo que facilita o encaixe da chapa seguinte, na ordem de montagem. Este rebaixo dá uma continuidade de corrugação, não prejudicando, assim, a resistência estrutural. A largura da chapa é de 1,264 m e os espaços vazios decorrentes dos vales das ondulações deverão ser preenchidos com aglomerante adequado:

injeção de barro ou cimento-areia.

A tensão de serviço do tubo ( $p$ ) deve ser menor que a tensão crítica do tubo camisa ( $P_{CR}$ ).

$$p < P_{CR}$$

3.1.2 — O segundo método constitui o de *cravação de tubo camisa* que é de aço com revestimento interno de concreto armado calculado para suportar cargas externas, mesmo quando a chapa de aço for destruída por corrosão. A extremidade do tubo apresenta quatro orifícios de injeção para lubrificar a cravação e

preencher os vazios. Os segmentos de tubo tem comprimentos de 1,20 ou 2,40 m, sendo que as camisas metálicas são soldadas sucessivamente nos precedentes.

O revestimento de concreto é mais curto que a camisa metálica, deixando-se armadura de espera para o rejuntamento com o segmento seguinte. Após a solda, o espaço será preenchido com resistência igual à do concreto de revestimento do tubo.

Numa das extremidades da travessia é aberto o poço de ataque, com dimensões apropriadas que permitam o trabalho em seu interior e instalação de macaco hidráulico e as vigas de apoio.

As paredes laterais desse poço são escoradas de acordo com a resistência do solo local e feita uma laje de limpeza no fundo destinada a receber os materiais escavados. Essa laje tem engastada a guia de escorregamento dos tubos camisa. Do lado oposto à parede que será cravado o tubo camisa, serão cravados os perfis metálicos verticalmente, que transmitirão os esforços para o escoramento por intermédio de um bloco de concreto. Nesse conjunto de apoio assentam-se os macacos que impulsionam o tubo camisa. Esse poço de ataque tem prevista uma drenagem, por bombeamento.

O tubo camisa é descido para dentro do poço por intermédio de calhas e colocado sobre a guia de escorregamento. A ação do macaco sobre o tubo é transmitida através de um disco metálico para distribuição uniforme dos esforços, reduzindo os desvios durante o avanço. Na cravação dos tubos é obedecida a locação definida no projeto executivo, permitindo um desvio máximo de 1%. A escavação, durante o avanço dos tubos, será feita manualmente ou por outros meios aprovados, e o material escavado transportado por carrinhos.

Durante toda a execução o tráfego não deverá sofrer interrupção, tomando-se os cuidados adicionais que se façam necessários, tais como segurança do pessoal, sinalização, travessias de materiais e equipamentos.

### 3.2 — *Travessias subterrâneas de estradas de ferro*

Os mesmos projetos, especificações e métodos desenvolvidos nas travessias subterrâneas de estradas de rodagem são usados nas de estradas de ferro.

### 3.3 — *Travessias subterrâneas de pequenos rios*

No caminhamento do SAM, surge o leito de um córrego e em vários casos o projeto definiu passar por baixo formando um sifão. Para proteger o tubo de aço reveste-se com um concreto devidamente dosado (300 kg/m<sup>3</sup>) e armado como se vê no projeto. Como esses pontos constituem pontos baixos da linha, necessitam-se de descargas. No Município de São

Paulo, a Prefeitura exigiu que a diferença de cota entre a geratriz superior do revestimento externo do tubo e o fundo do leito do rio fosse de 4,00 metros, prevendo-se uma futura canalização desses córregos.

## 4. TRAVESSIAS AÉREAS

As travessias aéreas foram empregadas para vencer os obstáculos constituídos pelos leitos dos rios.

Vários métodos foram projetados de acordo com as circunstâncias apresentadas pelo acidente geográfico.

Na derivação da subadutora de Mogi das Cruzes do Distribuidor Principal, logo após a caixa derivação tivemos o leito do Rio Guaió, como obstáculo a transpor.

A tubulação da subadutora venceu essa interferência aereamente passando sobre o rio, com estrutura formada pelo próprio tubo. Formando nesse local um ponto alto, necessitou-se de uma ventosa. Bem como um ponto baixo do outro lado da caixa de derivação, necessitou-se, portanto, de uma descarga.

Em outro local, no SAM alça Oeste, a transposição do Rio Barueri foi solucionada também com uma travessia aérea, mas a tubulação é sustentada por uma estrutura de concreto. Nos desenhos foram detalhadas caixas de descargas, ventosas, grade de proteção, estrutura, perfil e planta de tubulação etc. . . .

Aproveitou-se uma ponte existente na Travessia do Rio Tietê no trecho III do SAM alça Leste. Fixou-se nessa ponte a tubulação de ferro dútil de diâmetro de 300 mm por cabo de aço 1010 de  $\varnothing 1" \times 480$  mm e  $\varnothing 3/16 \times 1" \times 1470$  mm.

Tivemos o obstáculo de uma estrada de ferro situada num vale e, ao se efetuar o projeto estavam-se iniciando as fundações de uma ponte, e, com entendimentos com o Departamento de Estradas de Rodagem deixou-se, entre o vigamento e tabuleiro da ponte, um espaço vazio para passagem futura das tubulações de ferro dútil do SAM Alça Leste — trecho III.

Porém, o mais importante foi a necessidade que teve o projeto para transpor o obstáculo do Rio Tietê no SAM alça Norte em três trechos.

Como exemplo descreveremos uma delas — a do Trecho I — São Miguel chamada TL2 — PENHA.

Projetou-se para travessia desse rio, cujo vão de margem a margem é de 66,400 mm, um arco bi-engastado, formado pela própria tubulação da adutora que possui diâmetro de 1500 mm. A flecha central desse arco é de 10,00 m e os encontros nas margens serão em blocos de concreto armado, repousando sobre estacas metálicas inclinadas, que suportarão as cargas verticais e os empuxos horizontais do arco.

O ponto mais alto da travessia levará duas ventosas, de que terá a dupla função de eliminação de ar e também de admissão de ar, em caso de enchimento e esvaziamento da linha.

Sobre a estrutura da tubulação, haverá uma passarela metálica que permitirá a passagem de uma margem para outra, para manutenção e inspeção das ventosas. As duas extremidades do passadiço serão fechadas com porções metálicas, providos de cadeados e tela de arame galvanizado para evitar a entrada de pessoas estranhas.

As estacas previstas pelo projeto são de perfis simples de aço seção transversal duplo "Tê" — de 10" × 4.5/8" e com revestimento tipo epoxy ou similar. A cravação será feita em dois sentidos, margem-rio e rio-margem e serão cravadas com inclinações 1:2 e 1:5 conforme indicado no projeto executivo. As estacas ancorarão nos blocos de concreto por meio de 4 ferros CA-24 em cada cabeça, com comprimento de 2,50 m cada ferro, soldados ao perfil por meio de solda contínua de 1/4". As chapas de aço que constituem os tubos e reforços corresponderão as finas às normas ASTM-A-245, grau C, ASTM A-570 ou ASTM A-415 e as chapas grossas corresponderão à norma ASTM A-283, grau D, com conteúdo máximo de 0,25% de carbono e limite mínimo de escoamento de 2,320 kg/cm<sup>2</sup>.

O arco será composto de 27 segmentos de tubos (gomos), cujas juntas serão soldadas "in loco" com eletrodo tipo AWS 6011 ou equivalente, levando o mínimo de 5 passes. Essa tubulação receberá reforços inferiores e superiores através de chapa de 1/2".

A passarela metálica que é constituída por tubos Schedule 40 com diâmetro variando de 1/2" a 2" será soldada sobre a tubulação da travessia aérea. Os degraus da mesma serão em cantoneiras de 2" × 2" × 1/4" e ferro redondo de 1/2".

O equipamento para solda deverá assegurar a tensão constante e indicada para a solda, garantindo o máximo de estabilidade do arco. Cada conjunto de soldagem será operado por um soldador e deverá dispor de cabo alimentador com a extensão suficiente para permitir um trabalho ao longo da Travessia Aérea, sem necessidade de seu deslocamento.

Os planos de soldagem a serem empregados devem conter no mínimo as informações: descrição dos processos de solda a serem empregados; eletrodos (classes e diâmetros); número e seqüência dos passes de soldagem; posições de soldagem; equipamentos empregados; faixas de corrente e tensão. Para a soldagem há necessidade de qualificação dos soldadores, que serão feitas de acordo com a Norma P-MB-262 da ABNT e nos casos em que esta for omissa, ao código ASME para caldeiras e vasos de pressão, seção IX, "Qualificações de Soldas".

Os eletrodos para soldagem elétrica deverão ser adequados para cada fase das operações de soldagem. As classes de eletrodos, bem como seus diâmetros para cada passe de solda, deverão ser aqueles constantes dos planos de solda aprovados, bem como nas qualificações dos processos de soldagem. Antes do início de cada operação de soldagem, deverão ser verificadas todas as dimensões e formas dos biséis, bem como dos espaçamentos e a limpeza das superfícies a serem soldadas, que deverão estar livres de carepa solta, escória, ferrugem, graxa, óleo, resíduos de argamassas e outros materiais estranhos.

O ponteamto por solda será utilizado para posicionamento e alinhamento das partes a serem soldadas. Cada cordão de solda deverá ser executado de acordo com os parâmetros estabelecidos para a qualificação de processo. Todas soldas deverão ter bom aspecto, com penetração e fusão completas, livres de inclusões de escórias, porosidades, bolsas de gás, crateras, mordeduras, derramamentos e trincas.

O revestimento interno dos tubos será de Coal Tar Epoxy com uma espessura total de 16 mm. O revestimento externo dos tubos inclusive reforço, terá: duas demãos de primer com espessura mínima do filme em micro-demão igual a 50 e duas demãos de tinta de alumínio em espessura mínima do filme em micro-demão igual a 40.

Foram os seguintes elementos considerados no cálculo do arco bi-engastado:

#### 1 — Dados — Características gerais

arco parabólico bi-engastado com vão  $l = 66,40$ .

flexa  $f = 10,70$  m.

diâmetro do tubo  $D = 154$  cm (média).

espessura da chapa do tubo  $t = 1/2" = 1,27$  cm.

#### 2 — Esforços externos

Foram considerados

2.1 — Cargas verticais

que são as permanentes (peso próprio e passadiço);

e as cargas acidentais (água e sobrecargas).

2.2 — Vento.

2.3 — Variação de temperatura.

#### 3 — Esforços solicitantes nas seções do arco

Foram considerados

3.1 — Carga vertical total em todo o arco.

3.2 — Esforços mais desfavoráveis.

3.3 — Efeito da variação da temperatura.

3.4 — Efeito do vento.

3.5 — Efeito global mais desfavorável em que se considerou do lado carregado e do lado descarregado.



## TRAVESSIA SÔBRE O RIO TIETE - CASAS

### 4 — Cálculo da fundação

Em que se desenvolveu na obtenção:

#### 4.1 — Centro de gravidade do bloco.

4.2 — Esforços na base — tensões no solo onde se considerou primeiro sem o efeito da sub-pressão nos casos: primeiro só com peso próprio, segundo com todo arco carregado mais variação da temperatura, terceiro com Momento Mínimo mais variação de temperatura e quarto com Momento Máximo mais variação de temperatura.

Depois considerou-se efeito da sub-pressão nos mesmos quatro casos referidos anteriormente.

4.3 — Armadura do bloco da fundação na qual temos os chumbadores das nascenças, tensão local no concreto, fretagem e respectiva armadura da base.

### 5 — Viga de base para fixação dos chumbadores.

### 6 — Reforços inclinados que transmitem os esforços do tubo à viga de base em que temos apoio central e apoios laterais.

### 7 — Quadro de rigidez.

### 8 — Esforços resistentes no arco no qual obteve-se os máximos esforços solicitantes, máximas tensões e as tensões da teoria flexional.

### 9 — Verificação da segurança à flambagem do arco com máximo momento fletor.

O cálculo da estrutura levou em conta o método executivo, que eram de ser cravadas, dentro do leito do rio, estacas de madeira para execução de uma estrutura provisória de montagem e com apoio desta seriam soldados os segmentos dos tubos.

Qualquer outro método executivo que seja adotado, há necessidade de uma verificação dos cálculos referentes a outros esforços que possam surgir na estrutura.

Foi esse o modo escolhido pela COMASP para vencer a interferência de grandes rios: travessia aérea por meio de um arco bi-engastado formado pela própria tubulação da adutora de aço.

Assim foram vencidos os obstáculos de estradas de ferro, estradas de rodagem, riachos e grandes rios e que constituem parte dos projetos do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) em execução pela Companhia Metropolitana de Água de São Paulo — COMASP.