

SAM - SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO DE SÃO PAULO

ESPECIFICAÇÕES E IMPLANTAÇÃO

RESUMO:

O trabalho sumariza as especificações para tubos de aço, quanto ao material e ao assentamento, tubos êsses destinados ao SAM — SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO.

São êles de aço, fabricação nacional, obtidas a partir de chapas calandradas e soldadas. Serão protegidos internamente e externamente por pintura, sendo sobreposta a esta, como proteção adicional pelo lado de fora, uma esteira de lã de vidro, seguida por uma liga de feltro de asbesto importado, proteção essa que por ser

de material inorgânico será de longa duração, constituindo novidade o seu emprêgo.

As soldas serão testadas por meio de ultra-som, — radiografia e raios gama.

Uma particularidade do assentamento da tubulação é que a vala será reenchida com areia molhada e compactada por meio de vibrador semelhante aos usados em concretagens.

A monografia é concluída com um estudo econômico, mostrando a vantagem do reenchimento com areia, em lugar de solo natural, como é feito comumente.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Cantareira compreende as barragens de captação e regularização dos Rios Jaguari, Cachoeira, Atibainha, Juqueri e barragem de Águas Claras, ligadas entre si por 41 (quarenta e um) quilômetros de túneis e canais, uma estação elevatória de Santa Inês que recalca a água a uma altura de 120 (cento e vinte) metros e uma estação de tratamento de água do Guarau que terá uma capacidade de adução de 2.850.000.000 (dois bilhões e oitocentos e cinquenta milhões) de litros de água por dia, suficientes para o consumo diário de 7.000.000 (sete milhões) de habitantes.

Da Estação de Tratamento do Guarau, situada na Zona Norte de São Paulo, parte o Sistema Adutor Metropolitano (SAM) que será executado em três etapas, e transportará uma vazão total de 33 (trinta e três) metros cúbicos de água por segundo.

A primeira etapa, cuja execução se inicia agora, terá uma vazão de 11 (onze) metros cúbicos de água por segundo, e, partindo da Estação de Tratamento, terá duas linhas de tubulações de 2.134 mm de diâmetro. Dêsses dois grandes condutores saem três outras linhas de tubulações de aço. A primeira, na direção de Osasco, abastecendo os Reservatórios de Vila Brasilândia, Freguesia do Ó—I, Freguesia do Ó—II, Pirituba, Vila Jaguara e os de Quitaúna, Bela Vista, Vila Iracema, Mutinga de Osasco. A segunda, na direção de São Miguel Paulista, abastecendo os Reservatórios de Jaçanã, Edu Chaves, Guarulhos, Vila Medeiros, Cangaíba, Penha, Vila Maria, São Miguel, Jardim Popular e Ermelino Matarazzo. A terceira, seguindo em direção à zona sul, reforçará todo o fornecimento aos setores que já contam com rede de distribuição: Reservatório da Casa Verde, Santana, Vila Nova Cachoeira, Mirante, Consolação e Vila América. O Sistema Adutor Metropolitano estará alimentando, através de 95 km de tubulação de aço, cujo diâmetro varia de 500 mm até 2.134 mm, cerca de 21 reservatórios de capacidades variáveis entre 10.000 m³ e 50.000 m³. Como exemplo desta última capacidade, cita-se o reservatório de Guarulhos.

Numa etapa futura, com a complementação do Sistema Alto Tietê e com a ampliação do sistema Guarapiranga-Billings, interligando-os ao Sistema Adutor Metropolitano, teremos os sistemas de abastecimento integrados, possibilitando a adução eficiente para os 37 municípios da Grande São Paulo.

2. ESPECIFICAÇÕES

Para fazer frente a tal especificação, as fábricas terão que se remodelar com equipamentos modernos para fabricação, bem como para o revestimento de proteção dos tubos.

Para o cálculo da espessura das chapas de fabricação dos tubos foi levada em consideração além de pressão hidráulica interna, também, as pressões externas exercidas pelo material que envolve o tubo, o cobrimento do mesmo e sua respectiva compactação. Desta forma as paredes dos tubos resultaram com menores espessuras do que as usuais, o que redundou em grande economia na compra das chapas.

Dessa especificação de fabricação, resultou uma outra de alto gabarito que é a especificação de assentamento, baseada numa técnica ao que tudo indica nunca antes utilizada em nosso País. A associação dessas duas especificações, de fabricação e assentamento, trouxe, portanto, grandes benefícios, a saber: desenvolvimento da indústria nacional de tubos, aprimoramento técnico das empreiteiras de assentamento e emprego de técnicas, ainda não usuais em nossa terra, obtendo-se grande economia na execução, conforme se pode observar no estudo apresentado, a seguir.

2.1. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO DE TUBOS DE AÇO SOLDADO

As especificações foram minuciosamente estudadas na totalidade de seus itens. Delas pode-se destacar: a) os tubos serão cilíndricos com costura circular e longitudinal ou helicoidal; b) os tubos serão identificados com a classe e número que designa a posição da secção na linha; c) as indústrias apresentarão desenhos de fabricação para serem aprovados; d) o equipamento do fabricante, para soldagem, corte a fogo e outras operações deverá ser de tipo padrão e qualidade que satisfaça às exigências; as chapas de aço corresponderão à norma ASTM A 245, grau C, ASTM A 570, grau C ou ASTM A 415, ASTM A 283 grau D, desde que o conteúdo máximo de carbono seja de 0,25 por cento, com limite mínimo de escoamento de 2.320 kg cm², devendo a Siderúrgica fornecer o certificado respectivo; f) as dimensões e formas das bordas das chapas a serem unidas pela solda, e a folga entre as mesmas devem ser tais que permitam uma fusão e penetração completas. Não serão permitidas marteladas para amoldar as chapas antes da soldagem (sendo terminantemente proibido o uso do martelo); g) antes de calandrar ou formar bordas longitudinais, tôdas as chapas devem ser curvadas por calandragem contínua ou prensadas de um modo conveniente ao raio próprio da carcaça do tubo. A pressão exercida durante a calandragem deve ser suficiente para garantir uma curva exata e uniforme nas bordas das chapas. As chapas formarão um cilindro verdadeiro. Chapas que exigirem marteladas para adquirir a forma desejada, não serão aceitas; h) antes do início da soldagem, as superfícies de tôdas as chapas a serem soldadas

devem ser limpas de escamas e ferrugem por meio de jato de areia ou granalha de aço numa distância nunca inferior a 25,4 mm nas bordas das chapas e em caso de óleo ou graxa, numa distância não inferior a 76,2 mm das bordas da chapa, e de ambos os lados das chapas; i) toda costura longitudinal, em espiral e circular das secções retas dos tubos e de secções especiais, deverá ser feita com uma máquina de solda automática; j) antes de iniciar o revestimento interno e externo, cada cilindro de aço deve ser testado hidrostáticamente a uma pressão igual a 1,5 vezes à classe de pressão a que ele pertence; k) as soldas serão testadas por ultra-som e raios-x; l) o revestimento interno do tubo terá

primeiramente uma camada de "primer" sintético, de secagem rápida e posteriormente uma camada de esmalte betuminoso com uma espessura de 2,4 mm \pm 0,8 mm; m) o revestimento externo será composto das seguintes camadas: — 1.^a Primer, 2.^a Esmalte betuminoso (3,2 mm \pm 0,8 mm); 3.^a Esteira de lã de vidro reforçada; 4.^a Liga de feltro de asbestos; 5.^a Caição. A novidade, neste caso, é o emprêgo do feltro de asbesto (que deverá ser importado, por não ser produzido no Brasil), material inorgânico de longa duração, dando, portanto, grande proteção ao tubo. As espessuras mínimas da carcaça, por exemplo, para tubos de 914, 1.524, 1.829 e 2.134 mm, são apresentadas no quadro seguinte:

ESPESSURA MÍNIMA DA CARÇAÇA-TUBOS DE AÇO SOLDADO

Ø Tubo (mm)	Classe (*) Tubo Kg/cm ² cm	Espessura (mm)	Ø Tubo (mm)	Classe (*) Tubo Kg/cm ² cm	Espessura (mm)
914	7,03-243,8	4,16	1.829	7,03-243,8	9,52
914	7,03-365,8	6,81	1.829	7,03-365,8	9,52
914	7,03-487,7	8,28	1.829	7,03-487,7	11,43
914	7,03-609,6	9,17	1.829	7,03-609,6	14,22
914	8,79-243,8	4,16	1.829	8,79-243,8	9,52
914	8,79-365,8	6,81	1.829	8,79-365,8	9,52
914	8,79-487,7	8,28	1.829	8,79-487,7	11,43
914	8,79-609,6	9,17	1.829	8,79-609,6	14,22
914	10,55-243,8	4,19	1.829	10,55-243,8	9,52
914	10,55-365,8	6,81	1.829	10,55-365,8	9,52
914	10,55-487,7	8,28	1.829	10,55-487,7	11,43
914	10,55-609,6	9,17	1.829	10,55-609,6	14,22
914	12,30-243,8	4,88	1.829	12,30-243,8	9,78
914	12,30-365,8	6,81	1.829	12,30-365,8	9,78
914	12,30-487,7	8,28	1.829	12,30-487,7	11,43
914	12,30-609,6	9,17	1.829	12,30-609,6	14,22
1.524	7,03-243,8	7,92	2.134	7,03-243,8	11,12
1.524	7,03-365,8	7,92	2.134	7,03-365,8	11,12
1.524	7,03-487,7	11,43	2.134	7,03-487,7	11,43
1.524	7,03-609,6	13,49	2.134	7,03-609,6	15,37
1.524	8,79-243,8	7,92	2.134	8,79-243,8	11,12
1.524	8,79-365,8	7,92	2.134	8,79-365,8	11,12
1.524	8,79-487,7	11,43	2.134	8,79-487,7	11,43
1.524	8,79-609,6	13,49	2.134	8,79-609,6	15,37
1.524	10,55-243,8	7,92	2.134	10,55-243,8	11,12
1.524	10,55-365,8	7,92	2.134	10,55-365,8	11,12
1.524	10,55-487,7	11,43	2.134	10,55-487,7	11,43
1.524	10,55-609,6	13,49	2.134	10,55-609,6	15,37
1.524	12,30-243,8	8,15	2.134	12,30-243,8	11,43
1.524	12,30-365,8	8,15	2.134	12,30-365,8	11,43
1.524	12,30-487,7	11,43	2.134	12,30-487,7	11,43
1.524	12,30-609,6	13,49	2.134	12,30-609,6	15,37

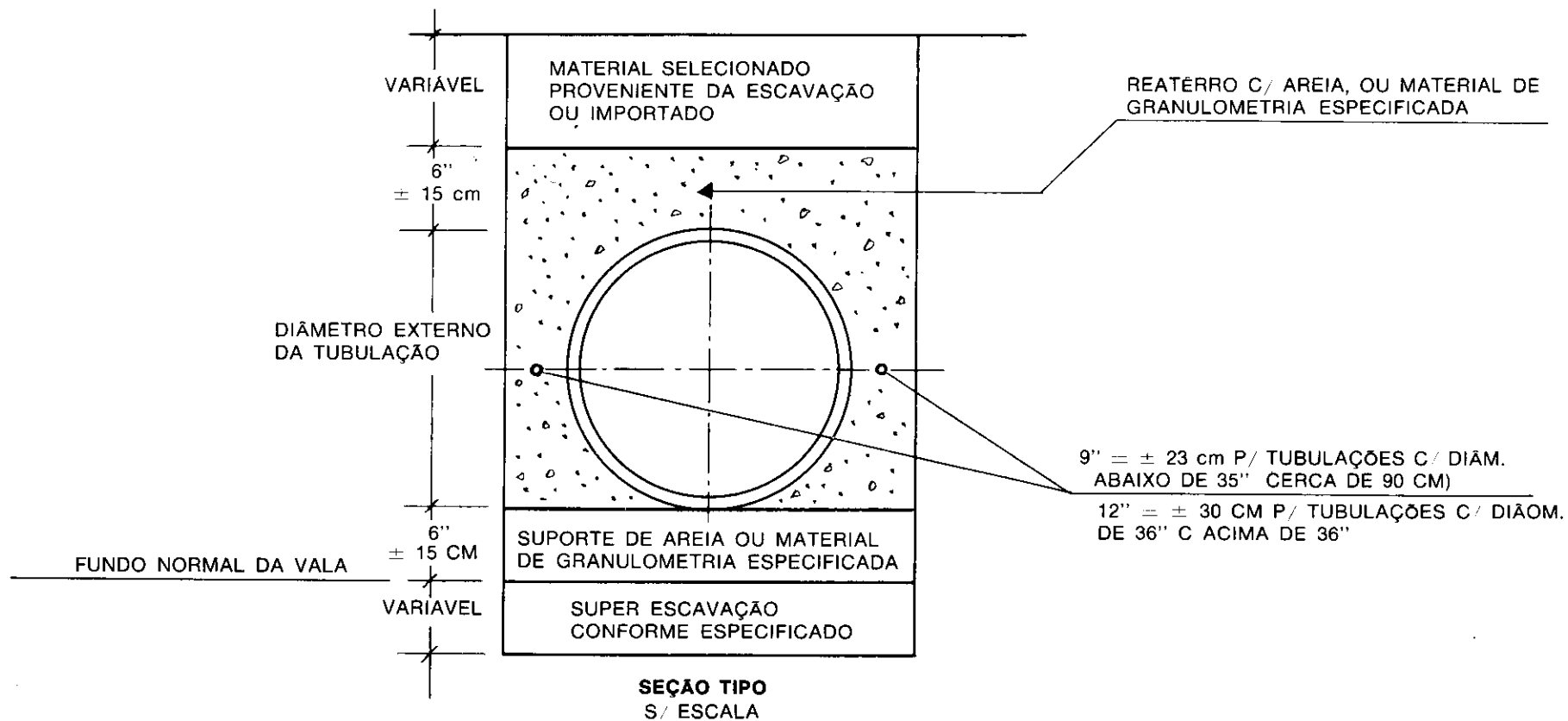
(*) A coluna "classe tubo" apresenta dois números: o primeiro devido à pressão interna e o segundo devido ao recobrimento.

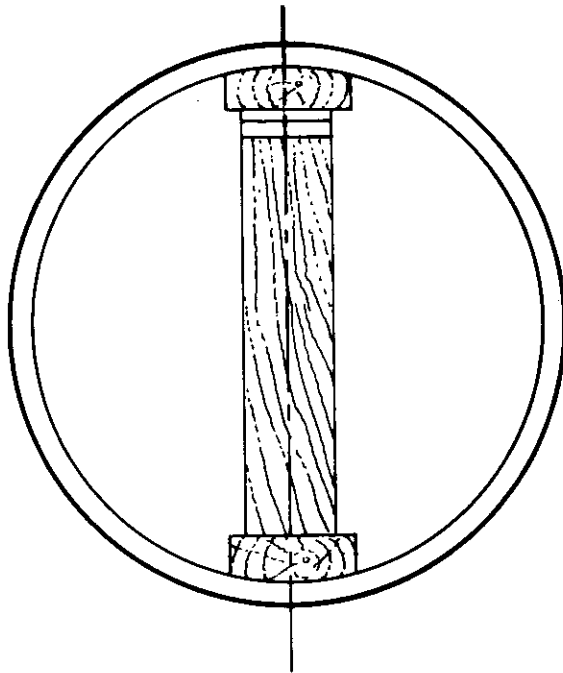
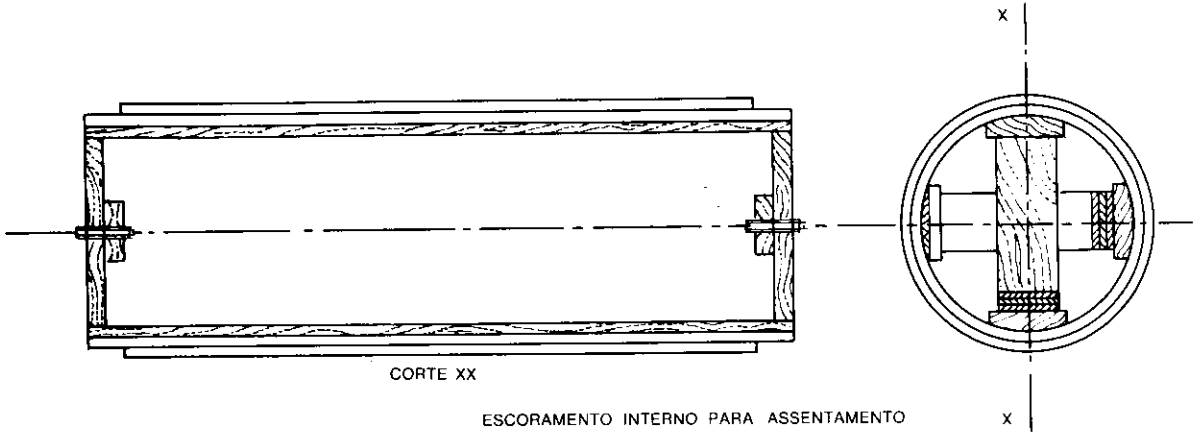
2.2. Especificações — Assentamento

Dessas especificações, destaca-se entre os diversos itens, o seguinte:

- a) Escavação: definições gerais, serviços preliminares das escavações, diretrizes básicas dos trabalhos de escavação, métodos gerais

- de escavação, dimensionamento das valas, equipamento de escavação, escoramento dos taludes em trabalho, remanejamento de rêdes existentes.
- b) Assentamento das tubulações: preparo geral da vala, montagem das tubulações e obras complementares;
- c) Revestimento das juntas soldadas no campo;
- d) Durante o assentamento das tubulações serão efetuados testes de ultra-som, radiografia ou gamagrafia das soldas executadas no campo, bem como das qualidades dielétricas, dos revestimentos através da inspeção elétrica;
- e) Reatêro das tubulações: será adotado um critério não usual e deveras técnico, dando boa compactação da cobertura do tubo;
- Após colocar o tubo, a vala será **reenchida com areia** até o nível de 15 cm acima da geratriz superior do tubo. A vala reenchida parcialmente, será compactada usando-se uma pequena quantidade de água e um vibrador de concreto do tipo imersão, até não menos de 90% da densidade máxima. Antes de parcialmente inundar o material de reenchimento granulado, só tomarão tôdas as precauções necessárias para evitar que o tubo flutue, enchendo-o total ou parcialmente com água. A água, numa vala reenchida parcialmente, poderá ser drenada completamente, antes de completar o reenchimento do material. Para o restante a reencher acima do nível da areia, será utilizado um material selecionado, obtido da escavação, que será colocado em camadas horizontais. Cada camada será umedecida, socada, rolada ou compactada até 90% da densidade máxima. Caso êsse material seja areia ou de natureza granular, a compactação até 90% da densidade máxima pode ser atingida compactando-se camadas sucessivas de no máximo 90 cm de espessura, cada. (ver desenho n.º 1).
- f) Transporte e Entrega de Tubos: Tôdas as precauções serão tomadas para impedir danos nos tubos durante a carga, transporte e descarga. Escoras internas serão colocadas dentro das secções do tubo e retiradas depois da compactação. Após a aplicação do revestimento externo, o tubo será manipulado somente por meio de ganchos ou por meio de cintas, conforme especificação AWWA-C203 §§4.1. e 4.2. Durante o transporte, o tubo ficará num berço de largura não inferior a 91 cm, de conformidade com o diâmetro externo do tubo revestido. Os berços terão contato com o fundo do tubo ao longo do areo, formando um ângulo central nunca inferior a 60°. Os berços serão também revestidos por meio de uma cinta de borracha de espessura não inferior a 15,9 mm. O tubo será colocado dentro da vala com um laço de cinta de largura não inferior a 61 cm. Os tubos colocados ao lado da vala serão apoiados em sacos ou montes de areia livre de pedras, em 4 pontos, com um mínimo de 91 cm de superfície de carga em cada ponto. Correias, cabos e outros dispositivos de levantamento, que possam danificar o revestimento, não serão usados. Não será permitido também o arrastamento ou o deslizeamento dos tubos.
- g) Instalação do tubo de aço: O tubo, incluindo peças especiais para serem embutidas no concreto, será preso por suportes de forma a impedir que a distorção ocasione variações do diâmetro por mais de 1/2% do seu valor especificado. Êstes suportes somente serão retirados 12 horas após o término da concretagem. Antes de ser colocado na vala, cada tubo será reforçado com escoras de madeira, para conformar a curvatura da superfície interior revestida com esmalte betuminoso. Tôdas as dimensões dêstes dispositivos e espaçamento máximo, estão mostrados nos desenhos 2 e 3. Êstes dispositivos ficarão no lugar até a vala ser reaterrada.





ENTRONCAMENTO DE MONTAGEM DAS TUBULAÇÕES

3. ECONOMIA NO VALOR GLOBAL DO PROJETO DO SAM, ADOTANDO-SE A ESPECIFICAÇÃO AWWA.

3.1. TIPOS DE ASSENTAMENTO

Para fins deste estudo, serão considerados dois casos de assentamento de tubos no campo:

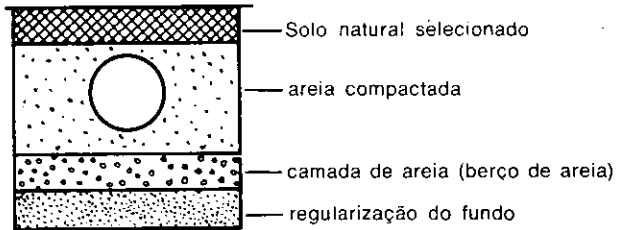
CASO A: É o especificado segundo a Norma AWWA e adotado pela COMASP na realização do presente projeto. Basicamente consiste no assentamento de tubos em um envoltório total de areia com granulometria adequada e grau de compactação de 90%.

O tubo, além de estar externamente sujeito a pressões verticais, sofre também resistência lateral oferecida pela areia compactada.

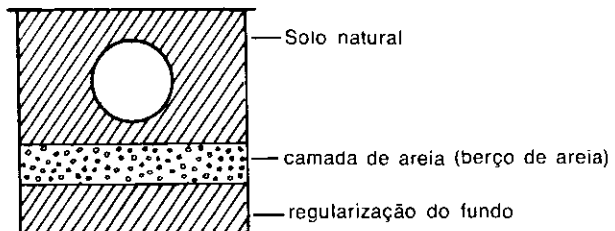
CASO B: É o assentamento de tubos sem envoltório de areia. O reatêro é feito com solo natural proveniente da escavação da própria vala e é compactado sem nenhum controle. O tubo não estará sujeito à resistência lateral. É o processo normalmente adotado até o momento.

Esquemáticamente temos:

CASO A:



CASO B:



3.2 ESPESSURA DA PAREDE DOS TUBOS E RESPECTIVOS COMPRIMENTOS:

Para os casos A e B, tem-se as seguintes espessuras, com as respectivas quantidades determinadas para o projeto SAM.

Diâmetro (pol)	Classes		Espessura, (mm)		Comprimento (m)	subtotais (m)
	*(psi)	** (ft)	Caso A	Caso B		
36"	100,125	8	4,16	11,43	5.363	9.713
	150	8	4,19	11,43	647	
	175	8	4,88	11,43	144	
	100,125	12	—	—	—	
	150,175	12	6,81	13,49	2.029	
	100,125	16	—	—	—	
60"	150,175	16	8,28	14,22	1.061	34.603
	100,125	20	—	—	—	
	150,175	20	9,17	15,37	469	
	100	8,12	—	—	—	
	125	8,12	—	—	—	
	150	8,12	7,92	19,05	25.202	
72"	175	8,12	8,15	21,44	3.836	7.379
	100,125	16	—	—	—	
	150,175	16	11,43	23,82	3.139	
	100,125	20	—	—	—	
	150,175	20	13,49	25,40	2.426	
	100	8,12	—	—	—	
84"	125	8,12	—	—	—	8.488
	150	8,12	9,52	22,22	5.910	
	175	8,12	9,78	25,40	331	
	100,125	16	—	—	—	
	150,175	16	11,43	27,79	685	
	100,125	20	—	—	—	
84"	150,175	20	14,22	30,17	453	8.488
	100	8,12	—	—	—	
	125	8,12	11,12	28,75	7.811	
84"	100,125	16	11,43	31,75	486	8.488
	100,125	20	15,37	34,14	191	

* Pressão interna

** Recobrimento sobre geratriz superior.

3.3. HIPÓTESES ADMITIDAS NESTE ESTUDO:

Para efeito de comparação do custo do projeto entre os Casos A e B, serão consideradas somente as seguintes diferenças:

- Diferença de custo devido à espessura da chapa dos tubos.
- Diferença de custo proveniente do assentamento de tubos no que se refere ao material

de enchimento, transporte e compactação do mesmo.

Os demais custos adicionais, como os devidos a solda na fábrica e no campo, não serão levados em consideração neste estudo, por serem de pequena monta. Admite-se que o revestimento seja o mesmo para os Casos A e B.

3.4. DIFERENÇA DE CUSTO DAS CHAPAS ENTRE OS CASOS A E B

3.4.1. Cálculo do preço das chapas em Cr\$ por tonelada.

Baseou-se na lista de preços da Usi-

minas de 1/5/70 e admite-se o preço das chapas em espessura de 7,92 mm que corresponde a mais de 40% da quantidade global encomendada.

	Cr\$/Ton.
— preço base	553,00
— extra bitola	9,00
— extra espec.	70,50
— certificado análise	1,00
Sub-total	633,50
Desconto 2%	12,50
	621,00
I.P.I. 5%	31,00
Transporte	65,00
	717,00

PREÇO TOTAL P/ TON. Cr\$ 717,00.

3.4.2. Cálculo da diferença de custo das chapas dos tubos entre os casos A e B.

— Densidade da chapa: 7,85 ton/m³
a) Custo das chapas para o caso A:

Diâmetro (pol)	Espessura Caso A (mm)	Área p/m (m ² /m)	Pêso p/ml (ton/m)	Comp. (m)	Pêso Total (ton)	Sub-Totais (ton)
36"	4,16	—	0,093	5.363	458,7	1.179,6
	4,19	—	0,094	647	60,8	
	4,88	2,87	0,110	144	15,8	
	6,81	—	0,153	2.029	310,4	
	8,28	—	0,186	1.061	197,3	
	9,17	—	0,206	469	96,6	
60"	7,92	—	0,298	25.202	7510,2	11.263,8
	8,15	—	0,306	3.836	1173,8	
	11,43	4,79	0,430	3.139	1349,8	
	13,49	—	0,507	2.426	1230,0	
72"	9,52	—	0,430	5.910	2541,3	3.331,5
	9,78	—	0,441	331	146,0	
	11,43	5,75	0,516	685	353,4	
	14,22	—	0,642	453	290,8	
84"	11,12	—	0,585	7.811	4569,4	5.015,8
	11,43	6,70	0,601	486	292,1	
	15,37	—	0,808	131	154,3	

PÊSO TOTAL DE CHAPAS DOS TUBOS EM TONELADAS

20.790,7

CUSTO TOTAL: Cr\$ 717,00 x 20.790,70 = Cr\$ 14.906.931,90

b) Custo das Chapas para o Caso B:

Diâmetro (pol)	Espessura (mm) Caso A	Área p/m m ² /m	Pêso p/ml (ton/m)	Comp. (m)	Pêso Total (ton)	Sub-Totais (ton)
36"	11,43	2,87	0,257	5.363	1.378,3	2.700,2
	11,43		0,257	647	166,3	
	11,43		0,257	144	37,0	
	13,49		0,304	2.029	616,8	
	14,22		0,320	1.061	339,5	
60"	15,37	4,79	0,346	469	162,3	26.265,7
	19,05		0,716	25.202	18.044,6	
	21,44		0,806	3.836	3.091,8	
	23,82		0,896	3.139	2.812,5	
72"	25,40	5,75	0,955	2.426	2.316,8	7.783,0
	22,22		1,003	5.910	5.927,7	
	25,40		1,146	331	379,3	
	27,79		1,254	685	859,0	
84"	30,17	6,70	1,362	453	617,0	12.964,6
	28,75		1,512	7.811	11.810,2	
	31,75		1,670	486	811,6	
	34,14		1,795	191	342,8	

PÊSO TOTAL DE CHAPAS DOS TUBOS EM TONELADAS:

49.713,5

CUSTO TOTAL: Cr\$ 717,00 x 49.713,5 = Cr\$ 35.644.579,50

c) Economia proveniente da diferença de espessura da chapa, adotando-se o caso A ao invés de Caso B: Cr\$ 20.737.647,60.

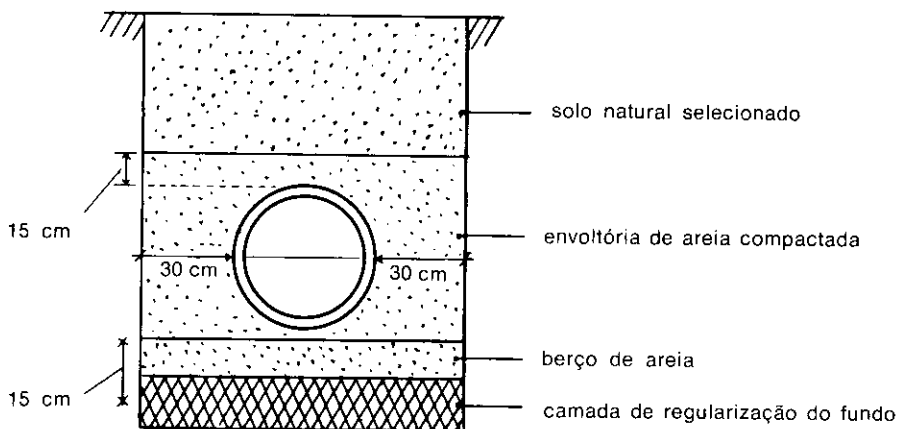
Economia em porcentagem sôbre o custo das chapas do caso A: 139%.

3.5. Diferença de custo de assentamento de tubos entre os casos A e B.

3.5.1. Para efeito dêste estudo foi considera-

da apenas a diferença de custo proveniente do volume de areia compactada que envolve o tubo. O berço de areia assim como as demais camadas de solo natural selecionado, não serão levadas em consideração, visto que são comuns aos dois casos.

Secção típica do caso A:



3.5.2. Custo de assentamento dos tubos para o caso A (considerando apenas a areia

da envoltória).

a) Cálculo do volume de areia:

Diâmetro (pol)	Volume de Areia p/m (m ³ /m)	Comprimento (m)	Volume de areia (m ³)
36"	0,94	9.713	9.130
60"	1,72	34.603	59.500
72"	2,22	7.379	16.400
84"	2,69	8.488	22.840

VOLUME TOTAL DE AREIA (M₃)

107.870

b) Cálculo do custo de areia (Cr\$/m³)

— custo da areia posta obra S. Paulo: Cr\$	25,00
— custo da análise	4,60
— compactação	2,80
— eventuais transportes, diversos	2,60
	<hr/>
	35,00 /m ³

CUSTO Cr\$ 35,00 /m³

c) Custo total referente à envoltória de areia:
Cr\$ 35,00 x 107.870 = Cr\$ 3.775.450,00

ção pelo caso A ao invés do caso B:
Cr\$ 3.343.970,00

3.5.3. Custo de assentamento dos tubos para o caso B (referente ao volume de solo natural em substituição a envoltória de areia).

a) Volume do solo: é o mesmo da areia — item 3.5.2. a, isto é, 107.870 m³

b) Cálculo do custo do solo (Cr\$/m³)

— Compactação	Cr\$ 3,80
— Eventuais	0,70
	<hr/>

Cr\$ 4,50/m³

CUSTO Cr\$ 4,50/m³

c) Custo total referente ao solo:

Cr\$ 4,50 x 107.870 = Cr\$ 431.480,00

3.5.4. Custo adicional proveniente da execu-

3.6 **ECONOMIA NO VALOR GLOBAL DO PROJETO DO SAM:**

Ao adotar-se o caso A, efetua-se uma considerável economia em chapas no montante, de Cr\$ 20.737.647,60, correspondente a 139% sobre o custo do caso A, como demonstra o item 5.4.

Porém, tendo em vista a substituição do solo natural pela areia compactada, nas obras de assentamento dos tubos, a execução pelo Caso A encarece os serviços no montante de Cr\$ 3.343.970,00.

Como balanço final tem-se uma economia no valor de Cr\$ 17.393.677,60.

Esta economia corresponde a 116% do custo das chapas do caso A.