

ESTUDO COMPARATIVO DE SECÇÕES DE INTERCEPTORES DE ESGOTOS

Engº NELSON LUIZ RODRIGUES NUCCI (*)
Engº WALTER CORONADO ANTUNES (**)
Engº HIROYASSU UEHARA (***)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

2. AS CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES E DIMENSÕES EM ANÁLISE

- a. Estrutura de secção quadrada ou retangular concretada no local.
- b. Estrutura de secção circular, construída com tubos de concreto pré-moldado.
- c. Estrutura de secção circular, concretada no local.

3. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS — CUSTO MÍNIMO

- 3.1. A função custo do interceptor
 - a. Secção quadrada ou retangular concretada no local.
 - b. Secção circular construída com tubos de concreto, pré-moldados.
 - c. Secção circular concretada no local.
- 3.2. Condições hidráulicas
 - a. Secção quadrada ou retangular concretada no local.

- b. Secção circular construída com tubos de concreto, pré-moldado.
- c. Secção circular concretada no local.

3.3. Seleção da alternativa mais adequada.

4. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo compreende 37 municípios, inclusive o de São Paulo, que lhe dá o nome, cobre área de 8.051 km², e tem hoje uma população de mais de nove milhões de habitantes, com perspectiva de ultrapassar os vinte milhões até o fim deste século.

Região altamente industrializada e de serviços, situa-se às cabeceiras da bacia hidrográfica do rio Tietê, coincidindo quase inteiramente com a Bacia do Alto Tietê Superior.

A situação geográfica pouco privilegiada quanto ao potencial hídrico subterrâneo e de superfície é agravada pelos contingentes populacionais e industriais aí estabelecidos e pelo desequilíbrio em que ao rápido crescimento das atividades geradoras de poluição foram contrapostas as de seu controle.

A descarga média natural de longa duração do principal rio da região, o Tietê, de cerca de noventa metros cúbicos

(*) Superintendente de Planejamento da C.S.A. da SABESP.

(**) Chefe do Departamento de Obras da C.S.A. da SABESP.

(***) Engº da Superintendência de Planejamento da C.S.A. da SABESP.

por segundo, é da mesma ordem de grandeza da contribuição média de esgotos esperada para o fim do século e as descargas naturais mínimas, apesar de todas as obras de regularização existentes e previstas nessa época, não ultrapassarem a um terço da média.

A marca da escassez de capacidade de diluição disponível limitou a possibilidade de lançamento de efluentes nos cursos d'água da metrópole e impôs a construção de sistemas de interceptação e afastamento de esgotos de grande extensão e porte.

Características locais de um mercado que até passado recente só tinha demanda para condutos destinados a coletores de rede e a alguns coletores tronco ou galerias de água pluvial de maiores dimensões, condicionaram a oferta de material e de técnica construtiva principalmente às obras menores. Entre outras razões de natureza técnica, ligadas às diferenças de característica construtiva das obras, esta foi uma das que recomendaram o destaque do sistema de interceptação de grande porte e de outros menores, situados às margens dos cursos d'água que drenam bacias pequenas.

Dentro do programa de controle da poluição encontra-se em desenvolvimento o plano de obras de interceptação dos esgotos que a rede coletora encaminha à calha dos cursos d'água principais, constituídos pelos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduatei e Meninos.

Considerando apenas o sistema de interceptação desses rios, a extensão total de interceptores compreendida pelo plano de obras é de 187 km. De 1970 até hoje, desses 187 km foram construídos 41,3 km, estão em construção 40,5 km e o restante deverá ser construído até 1985.

Neste período inicial de desenvolvimento do plano algumas experiências a nível de projeto e construção já puderam ser consolidadas, dando origem a várias normas e critérios de projeto e execução (*) e permitindo o desenvolvimento de estudos comparativos de custo para a seleção de alternativas.

Neste trabalho indica-se um método para a seleção de alternativas de seções de interceptores, para as condições vigentes de mercado local atual. A dispo-

ibilidade de um programa de computador que permite facilmente obter as respostas para as novas condições de mercado e a possibilidade de estender o método a outras seções além daquelas que são aqui exemplificadas, tornam sua aplicação flexível e bastante ampla.

2. AS CARACTERÍSTICAS DAS SEÇÕES E DIMENSÕES EM ANÁLISE

As alternativas de projeto e construção de interceptores de esgoto de concreto armado, para as quais a experiência consolidada no desenvolvimento do plano de obras fez convergir, são:

- estrutura de seção quadrada ou retangular, concretada no local;
- estrutura de seção circular, em tubos de concreto, pré-moldados;
- estrutura de seção circular, concretada no local.

No Brasil, tradicionalmente, as seções quadradas ou retangulares, em concreto moldado no local, vinham sendo a opção de custo mais baixo, para seções transversais de área superior a 1,77 m², que corresponde ao tubo de concreto pré-fabricado de 1,50 m de diâmetro, opção geralmente adotada até esse limite.

Seções circulares de concreto pré-moldado de diâmetros superiores a 1,50 m eram, e ainda são, de uso restrito, dificultando o estabelecimento de uma oferta contínua, a custos estáveis e capaz de absorver acréscimos momentâneos ou bruscos de demanda.

A utilização mais recente da «forma pneumática tubular», com a qual se elimina as dificuldades construtivas das seções circulares moldadas no local, ampliou bastante a possibilidade de uso destas seções.

As características dos três tipos de construção que tem sido empregado e que são objeto do estudo comparativo, são as seguintes:

a. Estrutura de seção quadrada ou retangular concretada no local

As normas de projeto da SABESP exigem para este tipo de seção as seguintes características:

(*) Estas normas estão relacionadas na bibliografia.

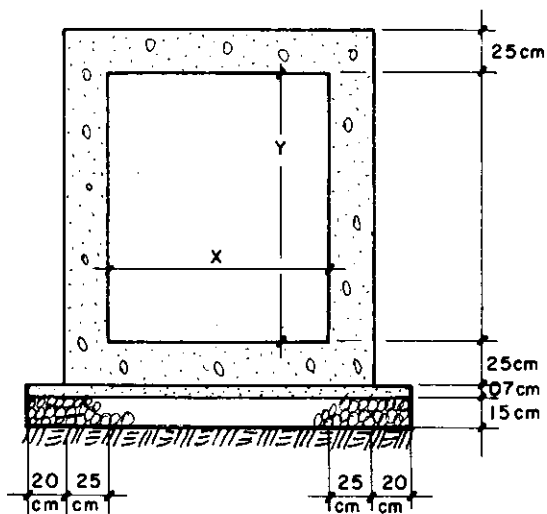


FIG-2

— o concreto utilizado nas obras deve ter o fator água/cimento = 0,5 no máximo, em vista do meio agressivo a que estará submetido.

As dimensões mínimas da secção retangular, são fixadas de modo a permitir a entrada de operários para a desforma interna e a inspeção do acabamento das paredes. Embora não haja limitação rígida à dimensão máxima deste tipo de secção, uma certa inadequação estrutural às larguras crescentes, faz com que seja recomendada a duplicação das células construtivas, quando a secção hidráulica necessária é muito grande.

No presente trabalho as dimensões consideradas foram:

$$1,50 \text{ m} \leq x \leq 3,30 \text{ m}$$

$$1,00 \text{ m} \leq y \leq 3,00 \text{ m}$$

onde aceitou-se valores menores para a altura porque a minimização do custo da secção retangular, como se verá adiante, leva as secções mais largas do que altas.

b. Estrutura de secção circular, construída com tubos de concreto pré-moldado

A faixa de opção por tubulação de concreto armado pré-moldado além das apontadas limitações da oferta, tem limitações de uso devidas ao peso das peças com o encarecimento do transporte e movimentação.

As normas da SABESP para interceptores de esgotos preveem o assentamento das tubulações em berço de concreto e o dimensionamento do tubo deve considerá-lo «saliente», uma vez que não é viável a execução de valas estreitas com profundidades que variam de 4 a 7 m.

Para essas profundidades e para as condições de assentamento nas obras de interceptores, o dimensionamento da estrutura dos tubos de concreto armado leva à utilização do tubo classe CA-3 das Normas Técnicas Brasileiras, cujas cargas de trinca no ensaio dos três cutelos, são as da tabela seguinte:

— espessura mínima de paredes de 25 cm, com a finalidade de permitir uma concretagem perfeita. Como o recobrimento mínimo das armaduras é de 5 cm na face interna e 2,5 cm na face externa, uma espessura de parede menor do que 25 cm causaria defeitos de concretagem inevitáveis, principalmente por segregação dos componentes do concreto;

— o recobrimento de 5 cm para a armadura interna é exigido pelas necessidades de proteção à armadura do ataque dos gases de esgoto;

— o comprimento máximo dos módulos, fixados em 20 metros, tem a finalidade principal de criar um bloco, individualizando-se assim os trechos a concretar.

Como vantagens adicionais deste espaçamento de juntas, resulta a absorção de esforços de dilatação e eventuais recalques diferenciais:

— o dimensionamento da estrutura de concreto armado é feito no estágio III, com limitação de abertura de fissuras ao valor máximo de 0,1 mm, para evitar ou minimizar o ataque à estrutura pelos gases do esgoto;

Diâmetro mm	Carga de Trinca kg/m
600	6.000
700	6.600
800	7.300
900	8.600
1.000	9.300
1.100	10.600
1.200	12.000
1.300	13.000
1.500	14.650
1.750	16.650
2.000	19.350

— assentamento sobre laje armada suportada por estacas de madeira:

— assentamento sobre laje armada em fundação direta:

Tendo em vista a baixa declividade das obras dos interceptores variando na região entre 2×10^{-4} e 10×10^{-4} m/m em terrenos de compactidade média e variável ao longo da obra, os recalques diferenciais são absorvidos pela laje armada, evitando-se assim o aparecimento de pontos baixos motivados por esses recalques:

— assentamentos sobre lastro de pedra

A adoção do dimensionamento das tubulações pelas cargas de trinca se justifica pelo meio agressivo a que o material estará submetido.

Para o assentamento em berço de concreto os projetos preveem 3 variantes, de conformidade com o tipo do solo de fundação.

No caso de fundação em solo compacto o assentamento é feito sobre o lastro de pedra britada; todavia este é recoberto por uma camada de concreto magro, com a finalidade de possibilitar o perfeito nivelamento da tubulação. O berço

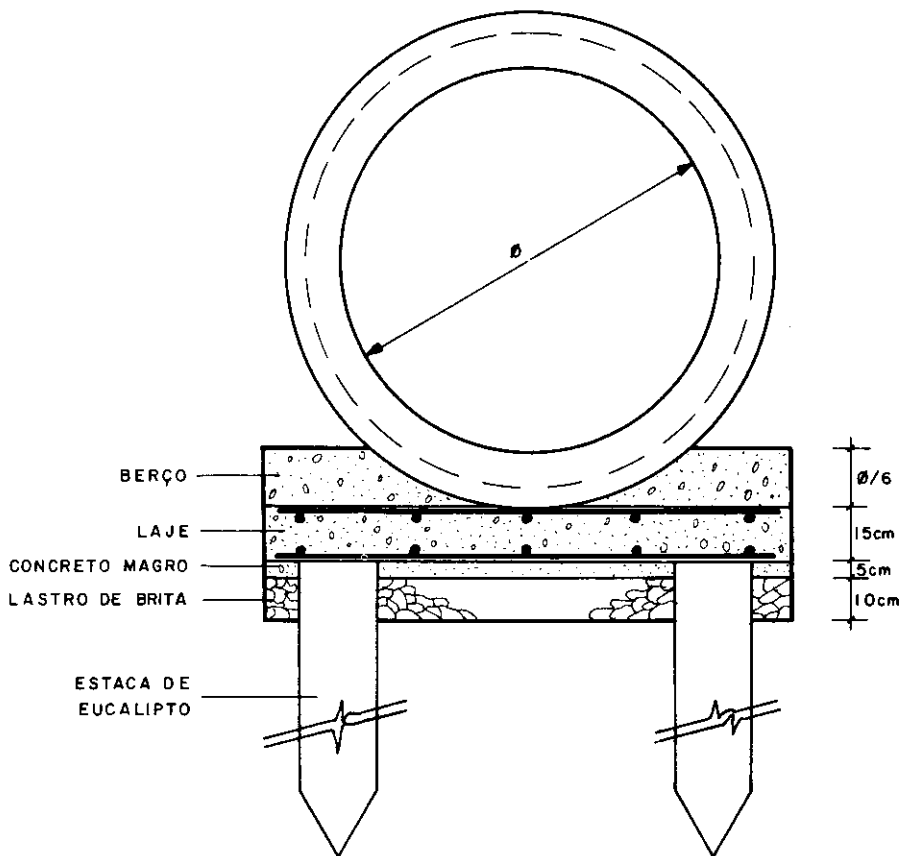


FIG-3-FUNDAÇÃO SOBRE ESTACAS

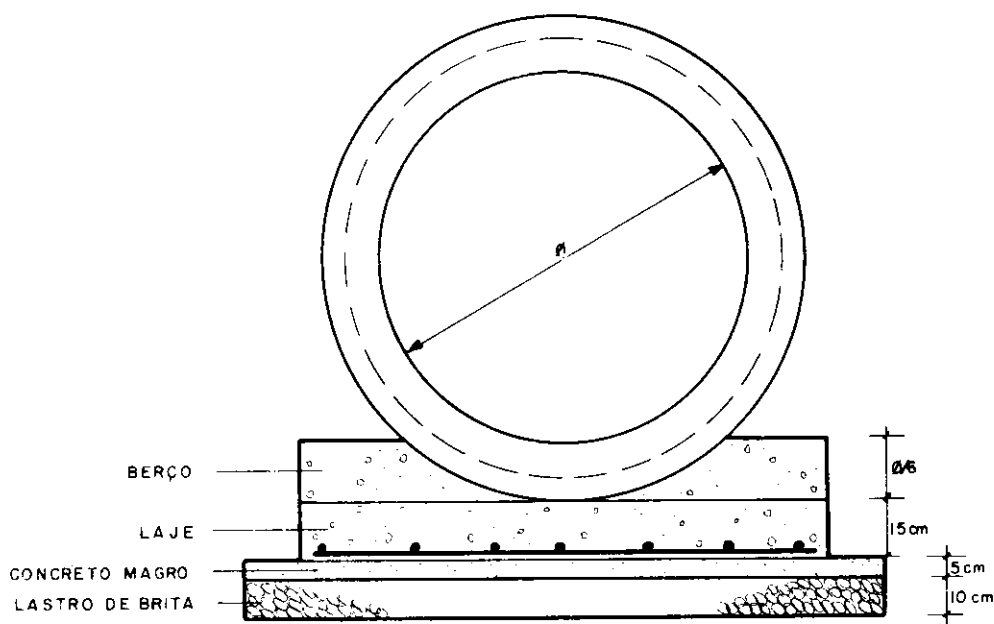


FIG-4 - FUNDAÇÃO DIRETA

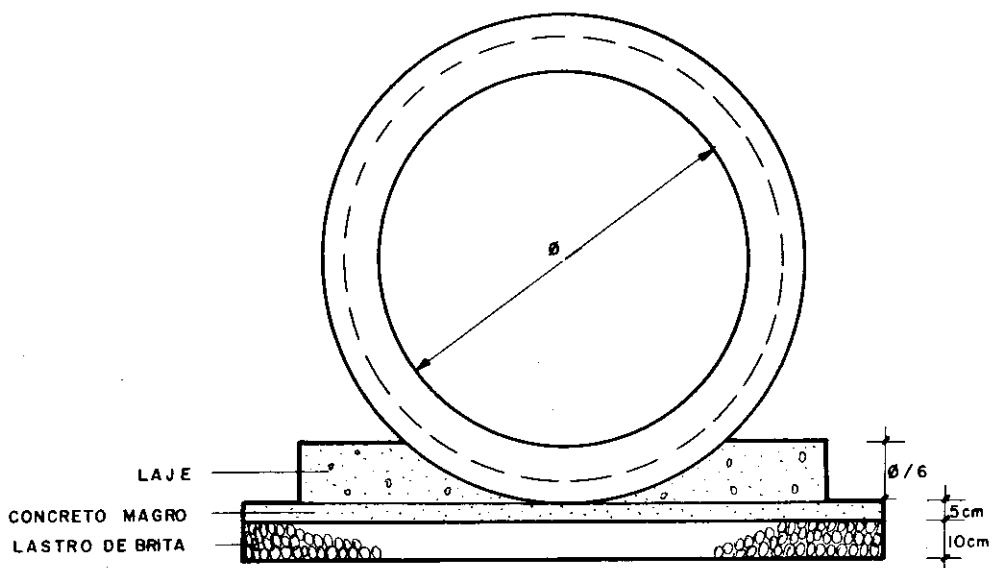


FIG-5 - FUNDAÇÃO DIRETA

de concreto é executado após o nivelamento da tubulação.

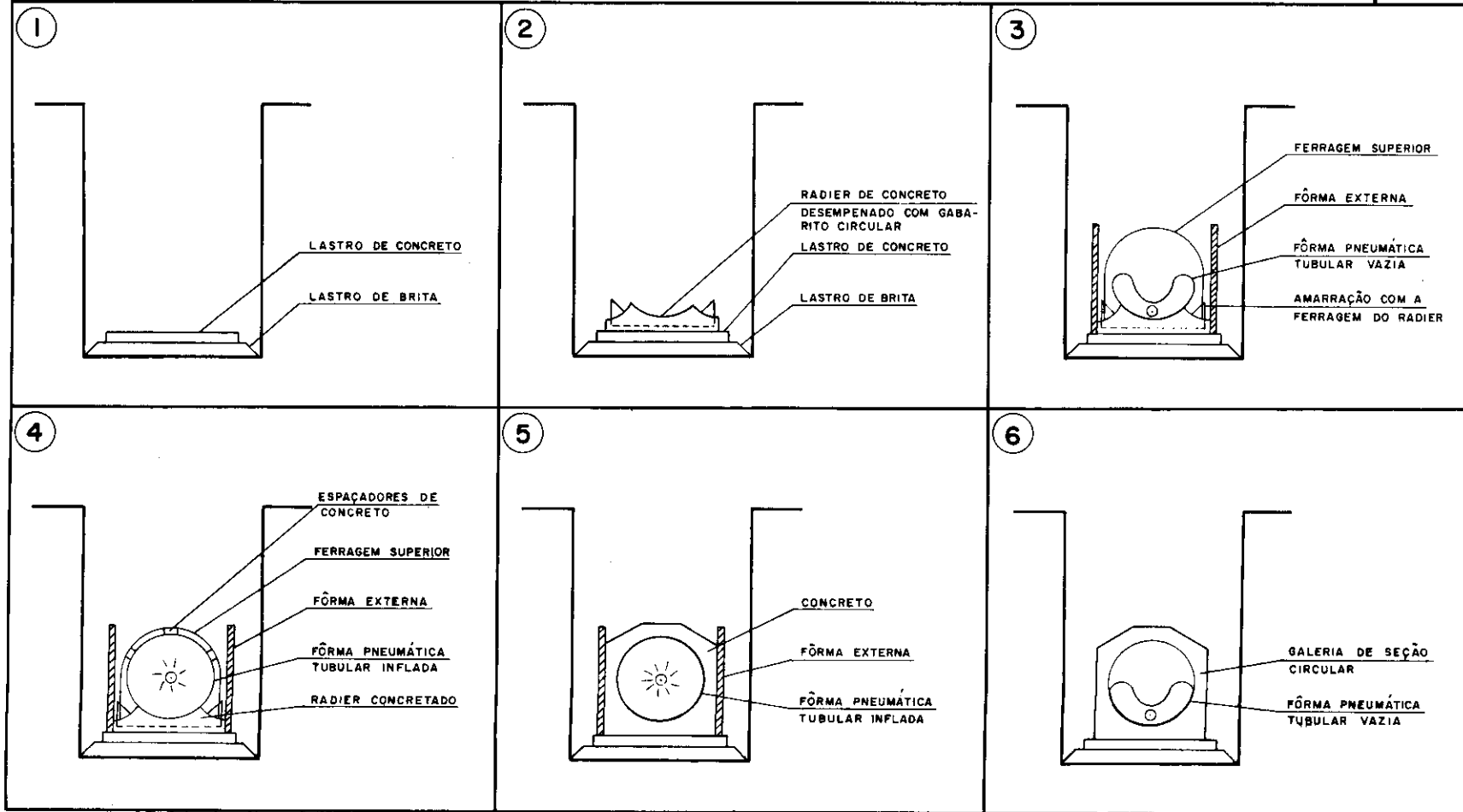
c. **Estrutura de seção circular, concretada no local**

Na concretagem deste tipo de seção

tem sido utilizada a forma pneumática tubular. As dimensões em que esta forma é disponível variam entre os diâmetros 0,20 m—3,00 m e o seu comprimento é de 20 m. A figura 6 esclarece a seqüência do processo construtivo empregado.

SEQUÊNCIA DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE GALERIA MOLDADA "IN-LOCO"
 SEÇÃO CIRCULAR COM O EMPREGO DA FORMA PNEUMÁTICA TUBULAR

FIG-6



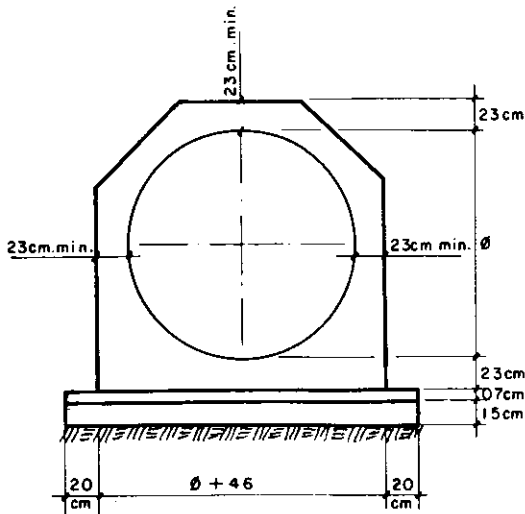


FIG-7

FORMA PNEUMÁTICA

No cálculo estrutural por elementos finitos (figura nº 8), os elementos 29 e 32 são os mais solicitados. Para $\varnothing = 1,50$ m, por exemplo, tem-se:

$$\frac{E-32}{\sigma_{max}} = 4,10 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tração)}$$

$$\frac{E-29}{\sigma_{max}} = 4,60 \text{ kg/cm}^2 \text{ (compressão)}$$

Como o radie da estrutura é armado para distribuir pressões sobre o terreno das fundações, este elimina a necessidade de laje armada no caso de solos de baixa e média resistência a compressão, que para os tubos pré-fabricados é indispensável.

O fato de a armadura utilizada na parte superior da secção circular, moldada no local ser necessária, apenas para resistir à pressão interna que eventualmente venha a atuar na estrutura, no caso de entupimento ou fechamento de trechos para manutenção, possibilita que a armadura seja disposta na obra com recobrimento de concreto de 10 cm no mínimo.

Isto assegura grande «durabilidade» da obra em presença da agressão pelos gases de esgoto.

Do ponto de vista executivo, a maior vantagem deste tipo de construção reside

justamente no fato da baixa solicitação do concreto na estrutura permitir tanto a desforma como o reaterro da obra em prazos sensivelmente menores do que nas obras de secção quadrada ou retangular.

	Circular	Retangular ou Quadrada
Desforma	12 horas	72 horas
Reaterro	72 horas	7 dias

A individualização de blocos para concretagem se torna desnecessária, bastando a criação de uma junta de construção inclinada, para cada concretagem, na extremidade da forma pneumática, por se tratar de estrutura em que a solicitação do concreto é bastante baixa.

Desta forma, limita-se a execução de juntas a cada 120 m ou junto aos poços de visita, pois os problemas de dilatação, praticamente não existem nas obras executadas dentro de valas. Este espaçamento só é alterado no caso de mudança do tipo de fundação, com a introdução de juntas para absorção de eventuais recalques diferenciais.

3. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS – CUSTO MÍNIMO

3.1. A função custo do interceptor

A função custo unitário do interceptor, foi estabelecida para as três alternativas de secção consideradas, utilizando como dados básicos as características e métodos construtivos e as condições locais de topografia e de mercado atual. Para as quantidades ou custos unitários que podem se apresentar variáveis de local para local (como é o caso das fundações com estacas, por exemplo) são adotados valores estatísticos, verificados até agora na construção do sistema de interceptação.

a. Secção quadrada ou retangular concretada no local

– Escavação

$$C_1 = H_m (X + 1,90) C_e \quad C_e = Cr\$ 25,63/m^3$$

$$h = Z + 0,72 - \frac{l_t}{2}$$

$$H_m = h + y + \frac{1}{2}$$

ESTUDO DE TENSÕES

GALERIA SEÇÃO CIRCULAR

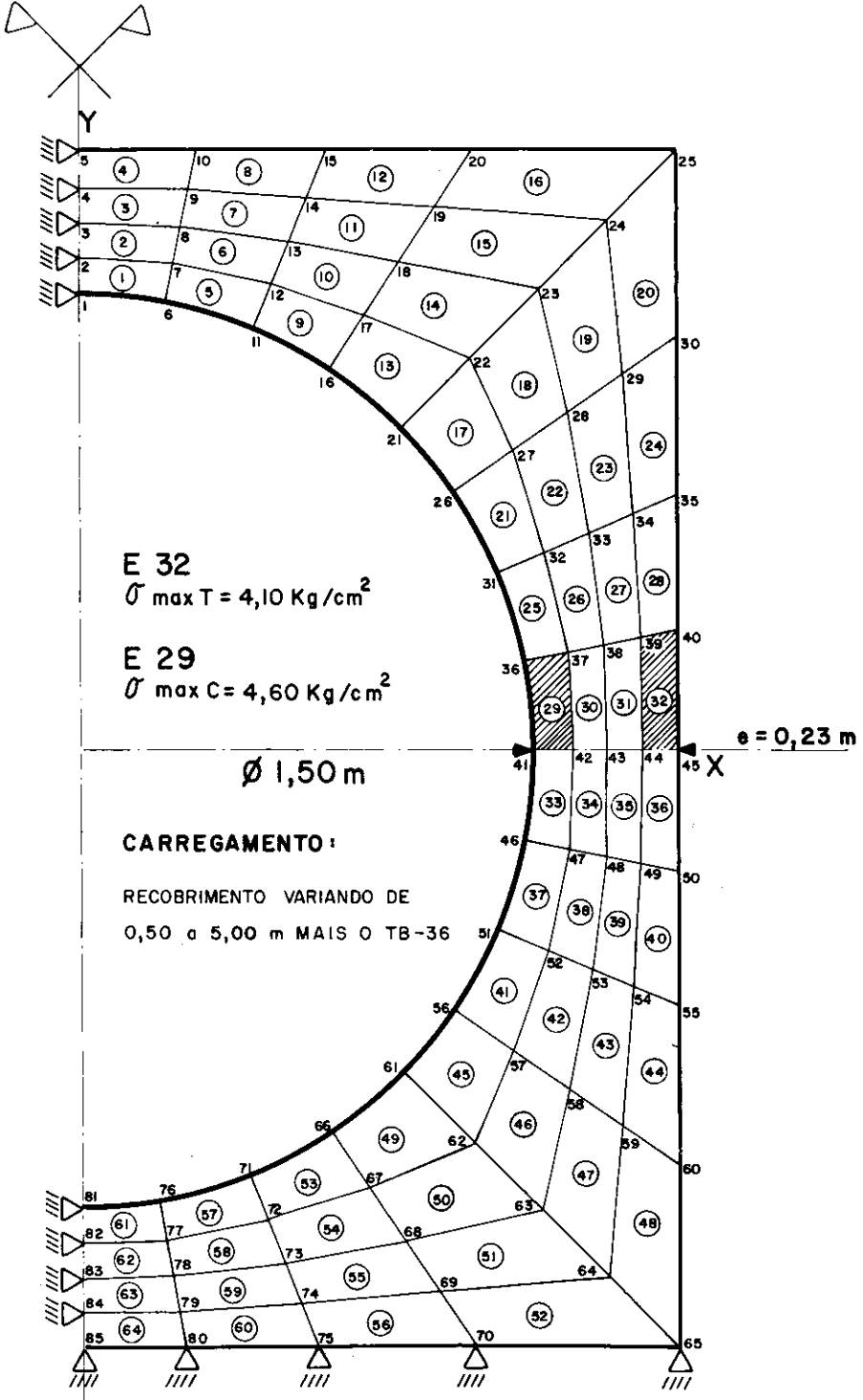


FIG-8

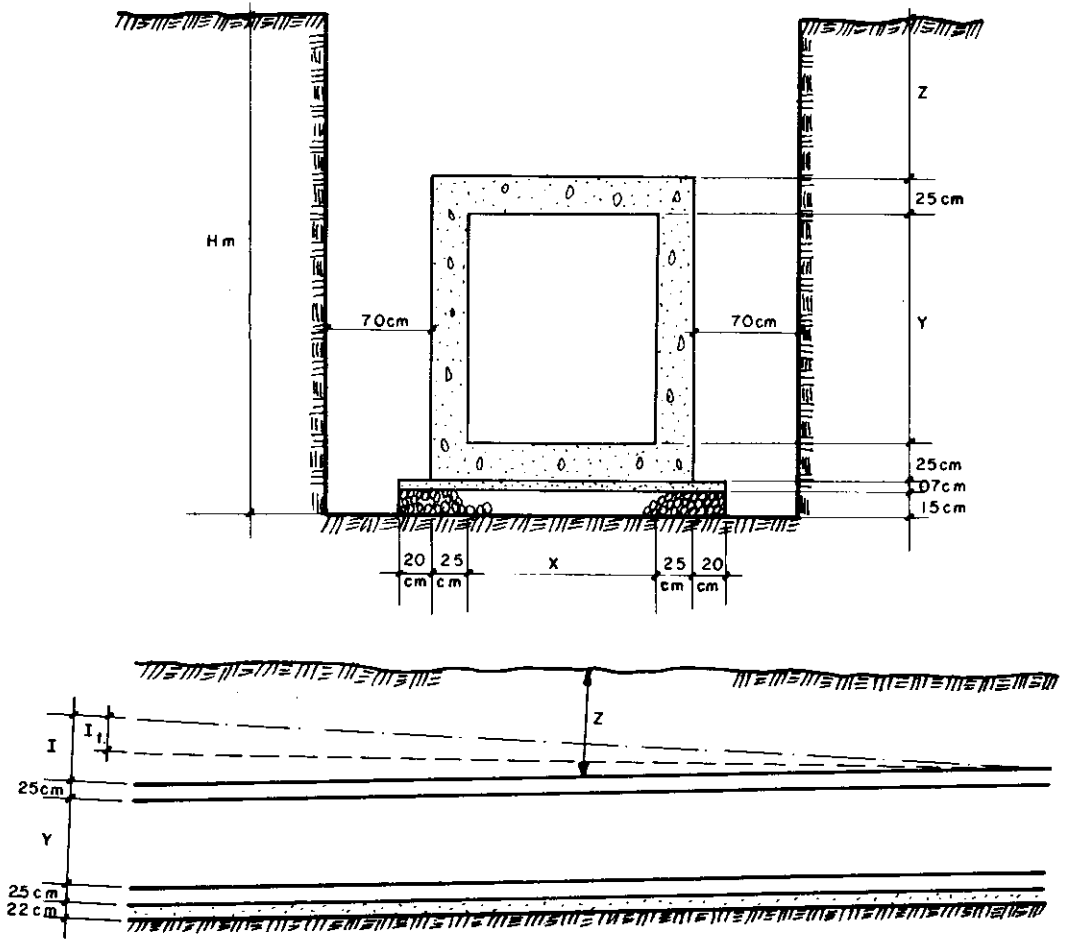


FIG - 9

onde:

— Lastro de concreto

C_e = custo unitário da escavação = Cr\$ 25,63/m³

$$C_3 = (X + 0,90) 0,07 \cdot C_{L.C.}$$

I_t = declividade do terreno

$$C_{L.C.} = \text{Cr\$ } 316,68$$

I = declividade do interceptor

$$C_3 = 22,17 x + 19,95$$

Z = recobrimento médio do interceptor no trecho de declividades I e I_t

— Escoramento de vala

H_m = profundidade média do interceptor no trecho de declividades I e I_t .

$$C_4 = 2 H_m \cdot C_{E.V.}$$

$$C_1 = 48,70 h + 24,35 I + 25,63 hx + 12,82 Ix + 25,63 xy + 48,70 y$$

$$C_{E.V.} = \text{Cr\$ } 200,00/\text{m}^2$$

— Lastro de pedra

$$C_1 = (2 h + 2 y + I) 2,00$$

$$C_2 = (X + 0,90) \cdot 0,15 C_{L.P.}$$

$$C_4 = 400 h + 400 y + 200 I$$

$$C_{L.P.} = \text{Cr\$ } 104,78/\text{m}^3$$

$$C_2 = 15,72 x + 14,15$$

— Esgotamento da vala e rebaixamento do lençol

Dados estatísticos da Área Metropolitana de São Paulo utilizados:

- esgotamento de vala: 90% da extensão total a Cr\$ 124,31/m
- rebaixamento de lençol: 10% da extensão total a Cr\$ 442,00/m

$$C_5 = Cte$$

$$C_5 = 0,9 \times 124,31 + 0,1 \times 442,00 = 156,00$$

- Reaterro importado

$$C_6 = [(X + 1,90) \times 1,00] C_{R.I.}$$

$$C_{R.I.} = Cr\$ 16,51/m^3$$

$$C_6 = 16,51 x + 31,37$$

- Reaterro local

$$C_7 = [(x + 1,90)(y + Z + 0,72) - 0,22(x + 0,90) - (x + 0,5)(y + 0,5) - (x + 1,90) \times 1] C_{R.L.}$$

$$C_7 = [-x + Zx + 1,40y + 1,90Z - 0,98] C_{R.L.}$$

$$C_{R.L.} = Cr\$ 7,90/m^3$$

$$C_7 = -7,90x + 7,90Zx + 11,06y + 15,01Z - 7,74$$

- Formas

$$C_8 = (x + 4y + 1) C_F$$

$$C_F = Cr\$ 67,78/m^2$$

$$C_8 = (x + 4y + 1) 67,78$$

$$C_8 = 67,78x + 271,12y + 67,78$$

- Concreto

$$C_9 = [0,50(x + y + 0,50)] C_c$$

$$C_c = Cr\$ 422,51/m^3$$

$$C_9 = 211,26x + 211,26y + 105,63$$

- Armação

$$C_{10} = 0,50(x + y + 0,50) \cdot 83 \cdot C_A$$

$$C_A = Cr\$ 9,44/kg$$

$$C_{10} = 0,50(x + y + 0,50) \cdot 83 \cdot 9,44$$

$$C_{10} = 391,76x + 391,76y + 195,88$$

- Estacas de eucalipto

$$C_{11} = constante$$

$$C_{11} = 30,24$$

- Poço de visita

$$C_{12} = 1 \text{ unidade c/100 metros} - constante$$

$$C_{12} = 36,79$$

- Instalações provisórias

$$C_{13} = 2\% \text{ do valor da obra}$$

- Serviços auxiliares

$$C_{14} = 2,5\% \text{ do valor da obra}$$

- Juntas tipo Fugenband

$$C_{15} = 2(x + y + 0,5) 0,05 C_J$$

$$C_J = Cr\$ 148,45/m$$

$$C_{15} = 2(x + y + 0,5) 0,05 \cdot 148,45$$

$$C_{15} = 14,85x + 14,85y + 7,42$$

- Custo Total

$$C_P = \sum_{i=1}^{15} C_T = 1,045 C$$

$$C_T = 1,045 \times C_P$$

$$C_P = 750,60x + 33,53Zx + 25,63yx + 1.348,75y + 463,71Z + \underline{12,82Ix} - \underline{12,82Ix} + \underline{224,35I} - \underline{224,35I} + 972,53$$

Para as declividades encontradas habitualmente na implantação de interceptores e em particular para os intervalos ve-

rificados na região metropolitana de São Paulo

$$2 \times 10^{-1} \text{ m/m} < l < 10 \times 10^{-1} \text{ m/m}$$

$$2 \times 10^{-1} \text{ m/m} < l_t < 10 \times 10^{-1} \text{ m/m}$$

é possível desprezar os termos em que aparecem as declividades acima destacadas, chegando-se à expressão

$$C_r = 750,60 x + 35,53 Zx + 25,63 yx + 1.348,75 y + 463,71 Z + 972,53$$

Note-se que com a simplificação feita não foi perdido o efeito da profundidade no custo, que continua influenciando através de Z

$$C_T = 1.045 (750,60 + 35,53 x + 25,63 yx + 1.348,75 y + 463,71 Z + 1.058,71) (l)$$

b. **Secção circular construída com tubos de concreto, pré-moldados**

— Escavação

$$C_1 = H_m (\varnothing + 1,80) C_E$$

$$\text{onde: } h = Z + 0,60 - \frac{l_t}{2}$$

$$H_m = h + \varnothing + \frac{l}{2}$$

$$C_1 = H_m (\varnothing + 1,80) C_E$$

$$C_E = \text{Cr\$ } 25,63/\text{m}^3$$

$$C_1 = 25,63 \varnothing^2 + 61,51 \varnothing + 25,63 Z \varnothing + 46,13 Z + 27,68 + 12,82 l \varnothing + 23,07 l - 12,82 l_t \varnothing + 23,07 l_t$$

— Lastro de pedra

$$C_2 = (\varnothing + 0,80) 0,10 C_{L.P.}$$

$$C_{L.P.} = \text{Cr\$ } 104,78/\text{m}^2$$

$$C_2 = 10,48 \varnothing + 8,38$$

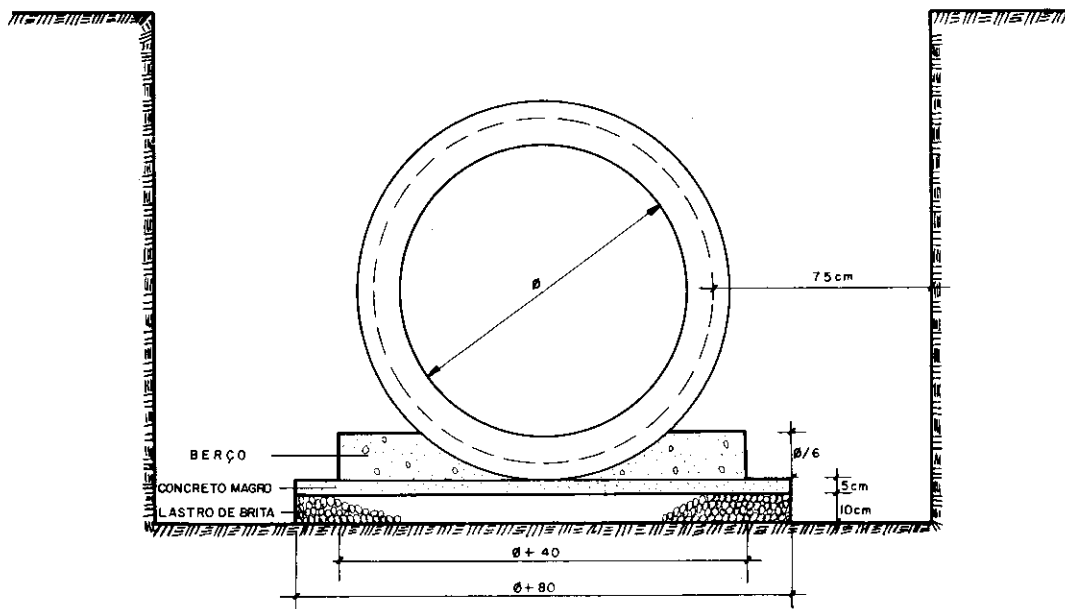


FIG - 10
TUBOS PRÉ-MOLDADOS

– Lastro de concreto magro

$$C_3 = [(\varnothing + 0,80) 0,05] C_{C.M.}$$

$$C_{C.M.} = \text{Cr\$ } 316,68/\text{m}^3$$

$$C_3 = 15,83 \varnothing + 12,67$$

– Berço

$$C_4 = \left(\frac{\varnothing^2}{12} + 0,06 \varnothing \right) C_C$$

$$C_C = \text{Cr\$ } 316,68/\text{m}^3$$

$$C_4 = 26,39 \varnothing^2 + 19,00 \varnothing$$

– Tubo

A partir dos preços atuais de tubo disponíveis no mercado, por ajustamento de curvas, determinou-se a seguinte função, como representativa do custo em função do diâmetro, de tubos CA-3.

$$C_5 = 11.257 e^{-2,52/\varnothing}$$

– Escoramento da vala

$$C_6 = 2 H_{nl} \cdot E_{E.V.}$$

$$C_{E.V.} = \text{Cr\$ } 200,00/\text{m}^2$$

$$C_6 = 400 Z + 400 \varnothing + 240 + 200 l - 200 l_t$$

– Esgotamento da vala e rebaixamento do lencol

$$C_7 = \text{constante}$$

$$C_7 = 156,00$$

– Reaterro importado

$$C_8 = [(\varnothing + 1,80) 1,00] C_{R.I.}$$

$$C_{R.I.} = \text{Cr\$ } 16,51/\text{m}^3$$

$$C_8 = 16,51 \varnothing + 29,72$$

– Reaterro local

$$C_9 = \left[(\varnothing + 1,80) (H_m - 1,00) - \frac{\pi (\varnothing + 0,15)^2}{4} - 0,10 (\varnothing + 0,80) - 0,05 (\varnothing + 0,80) - 0,15 (\varnothing + 0,40) - \left(\frac{\varnothing^2}{12} + 0,06 \varnothing \right) \right]$$

$$C_{R.L.} = \text{Cr\$ } 7,90/\text{m}^3$$

$$C_9 = 1,00 \varnothing^2 + 6,32 \varnothing + 7,90 Z \varnothing + 14,22 Z + 3,95 l \cdot \varnothing - 3,95 l_t \varnothing + 7,11 l - 7,11 l_t - 7,27$$

– Formas

$$C_{10} = \left[\frac{\varnothing}{2} + 0,60 \right]$$

$$C_F = \text{Cr\$ } 67,78/\text{m}^2$$

$$C_{10} = 22,59 \varnothing + 40,67$$

– Estacas de eucalipto

$$C_{11} = \text{constante}$$

$$C_{11} = 7,7 \text{ m. est./mx}0,5 \times C_{E.E.}$$

$$C_{E.E.} = \text{Cr\$ } 30,24/\text{m}$$

$$C_{11} = 116,42$$

– Poço de visita

$$C_{12} = 1 \text{ unidade c/}100 \text{ m}$$

$$C_{12} = 36,79$$

– Instalações provisórias

$$C_{13} = 2\% \text{ valor da obra}$$

– Serviços auxiliares

$$C_{14} = 2,5\% \text{ do valor da obra}$$

— Custo total

Pelas razões já apontadas desprezou-se os termos em l e l_t , chegando-se à expressão:

$$C_P = 50,32 \varnothing^2 + 156,24 \varnothing + 33,53 Z \varnothing + 460,35 Z + 11.257 e \frac{(-2,52)}{\varnothing} + 661,06$$

$$C_T = 1,045 (50,32 \varnothing^2 + 156,24 \varnothing + 33,53 Z \varnothing + 460,35 Z + 11.257 e \frac{(-2,52)}{\varnothing} + 661,06) \quad (II)$$

c. **Secção circular concretada no local**

— Escavação

$$C_1 = H_m (\varnothing + 1,86) C_E$$

$$h = Z + 0,68 - \frac{l_t}{2}$$

$$H_m = h + \varnothing + \frac{l}{2}$$

$$C_E = \text{Cr\$ } 25,63/\text{m}^3$$

$$C_1 = 25,63 \varnothing^2 + 65,10 \varnothing + 25,63 Z \varnothing + 47,67 Z + 12,82 l_t \varnothing + 12,82 l \varnothing - 23,84 l_t + 23,84 l + 32,29$$

— Lastro de pedra

$$C_2 = [(\varnothing + 0,86) 0,15] C_{L.P.}$$

$$C_{L.P.} = \text{Cr\$ } 104,78/\text{m}^3$$

$$C_2 = 15,72 \varnothing + 13,52$$

— Lastro de concreto

$$C_3 = [(\varnothing + 0,86) 0,07] C_{L.C.}$$

$$C_{L.C.} = \text{Cr\$ } 316,68/\text{m}^3$$

$$C_3 = 22,17 \varnothing + 19,06$$

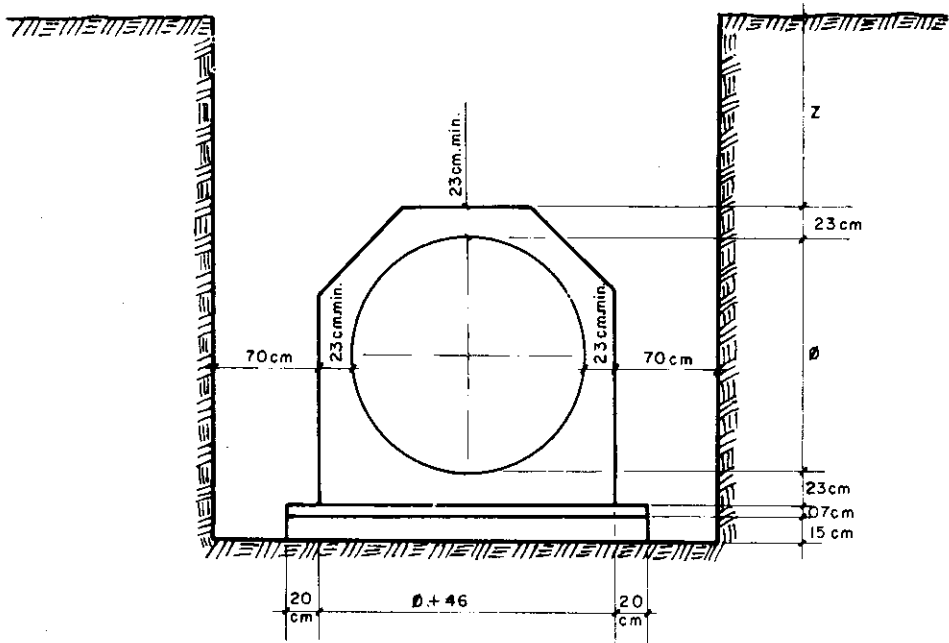


FIG - II - FORMA PNEUMÁTICA

– Escoramento de vala

$$C_4 = 2 H_m \cdot C_{E.V.}$$

$$C_{E.V.} = \text{Cr\$ } 200,00/\text{m}^2$$

$$C_4 = (2 h + 2 \varnothing + l) 200$$

$$C_4 = 400 \varnothing + 400 Z + 200 l - 200 l + 272$$

– Esgotamento da vala e rebaixamento do lençol

C_5 – constante

$$C_5 = 156,00$$

– Reaterro importado

$$C_6 = [(\varnothing + 1,86) \times 1,00] C_{R.I.}$$

$$C_{R.I.} = \text{Cr\$ } 16,51/\text{m}^3$$

$$C_6 = 16,51 \varnothing + 30,71$$

– Reaterro local

$$C_7 = [(Z - 1) (\varnothing + 1,86) + 2 \times 0,22 \times 0,50 + (\varnothing + 0,46) (\varnothing + 1,86) - 0,85 (\varnothing + 0,46)^2] C_{R.L.}$$

$$C_{R.L.} = \text{Cr\$ } 7,90/\text{m}^3$$

$$C_7 = 1,19 \varnothing^2 + 4,27 \varnothing + 7,90 \varnothing Z + 14,69 Z - 7,58$$

– Formas

MADEIRA

$$C'_8 = 2 (\varnothing + 0,46) C_{F.M.}$$

$$C_{F.M.} = \text{Cr\$ } 67,78/\text{m}^2$$

$$C'_8 = 135,56 \varnothing + 62,36$$

PNEUMÁTICA

$$C''_8 = 2 \pi \frac{\varnothing}{2} \times 1,00 \times C_{F.P.}$$

$$C_{F.P.} = \text{Cr\$ } 20,00/\text{m}^2$$

$$C''_8 = 62,83 \varnothing$$

– Concreto

$$C_9 = 0,85 \left[(\varnothing + 0,46)^2 - \frac{\pi \varnothing^2}{4} \right] C_C$$

$$C_C = \text{Cr\$ } 422,51/\text{m}^3$$

$$(\sigma_r = 180 \text{ kg/cm}^2)$$

$$C_9 = 77,21 \varnothing^2 + 330,40 \varnothing + 75,42$$

– Armação

$$C_{10} = 0,85 \left[(\varnothing + 0,46)^2 - \frac{\pi \varnothing^2}{4} \right] A C_A$$

$$A = 20 \text{ kg/m}^3$$

$$C_A = \text{Cr\$ } 9,44 \text{ kg}$$

$$C_{10} = 33,700 \varnothing^2 + 147,64 \varnothing + 33,70$$

– Estacas de eucalipto

$$C_{11} = 7,7 \text{ m. est./mx } 0,5 \times C_{E.E.}$$

$$C_{E.E.} = \text{Cr\$ } 30,24/\text{m}$$

$$C_{11} = 116,42$$

– Poços de visita

$$C_{12} = 1 \text{ unidade c/100 metros} = \text{cte}$$

$$C_{12} = 36,79$$

– Instalações provisórias

$$C_{13} = 2\% \text{ valor da obra}$$

– Serviços auxiliares

$$C_{14} = 2,5\% \text{ do valor da obra}$$

— Juntas Fugenband

$$C_{15} = \left[(\varnothing + 0,23) + 2 \frac{\varnothing}{2} + 0,115 \right] + \pi \left(\frac{\varnothing}{2} + 0,115 \right) \times 0,01 C_J.$$

$$C_J = \text{Cr\$ } 148,45/\text{m}$$

$$C_{15} = 5,30 \varnothing + 1,05$$

Custo Total

Desprezando os termos em l e l_1 resulta

$$C_T = 137,73 \varnothing^2 + 1.205,50 \varnothing + 33,53 \varnothing + 447,67 Z + 841,74$$

$$C_T = 1.045 (137,73 \varnothing^2 + 1.205,50 \varnothing + 33,53 Z \varnothing + 447,67 Z + 841,74)$$

(III)

3.2. Condições hidráulicas

O equacionamento hidráulico, bastante simples, foi feito através da equação de Chezy utilizando-se o coeficiente de Manning, através da equação:

$$Q = \frac{SR_H^{2/3}}{n} l^{1/2}$$

da qual se conhece a vazão de dimensionamento, Q , e a declividade disponível, l , sendo incógnitas a secção de escoamento, S , e o raio hidráulico, R_H . Introduzindo-se a variável

$$\varepsilon = \frac{l}{Q^2}$$

chega-se a equação

$$\varepsilon = \frac{n^2}{S^2 R_H^{4/3}} \quad (IV)$$

função das variáveis que caracterizam a secção de escoamento e o raio hidráulico.

Abaixo são indicadas as condições impostas para que a solução da equação

anterior fornecesse as condições de máxima eficiência e mínimo custo em cada uma das alternativas de projeto estudadas, de modo que fossem comparáveis entre si.

a. Secção quadrada ou retangular concretada no local

Para assegurar escoamento livre impôs-se neste caso que a lâmina d'água correspondente à vazão de dimensionamento em regime uniforme, deixasse uma folga de 10 cm na altura total do interceptor.

A relativa inadequação hidráulica da secção quadrada e as características das paredes internas, recomendaram a fixação do coeficiente de Manning $n = 0,013$.

A equação anterior, no caso presente, é pois uma função das dimensões x — largura — e y — altura da secção — e para um dado ε admite uma infinidade de soluções, cada uma correspondendo a um par (x, y) .

Dentre a infinidade de pares (x, y) que constituem solução da equação, Fagundes Jr., Boaventura e Uehara⁽²⁾ elaboraram o método adiante resumido e que é utilizado neste trabalho, para a definição da secção de custo mínimo.

A função custo unitário do interceptor de secção quadrada ou retangular como se deduz de (I), fixados l e Z é do tipo

$$C_T = f(x, y) \quad (V)$$

enquanto a função (IV) que impõe a condição hidráulica de vazão e declividade a ser satisfeita pelo interceptor, assume a forma

$$\varepsilon = \frac{n^2 (x + 2y)^{4/3}}{(x, y)^{10/3}} \quad (VI)$$

A solução procurada para o dimensionamento do interceptor obviamente deve satisfazer às duas equações anteriores. Na figura 12 está indicada a curva A, representativa da equação (VI), para o

(2) Fagundes Jr., Boaventura, M. A. e Uehara, H. — «Minimização de Custos de Interceptores de Secção Retangular» — Companhia Metropolitana de Saneamento de São Paulo — VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 1973.

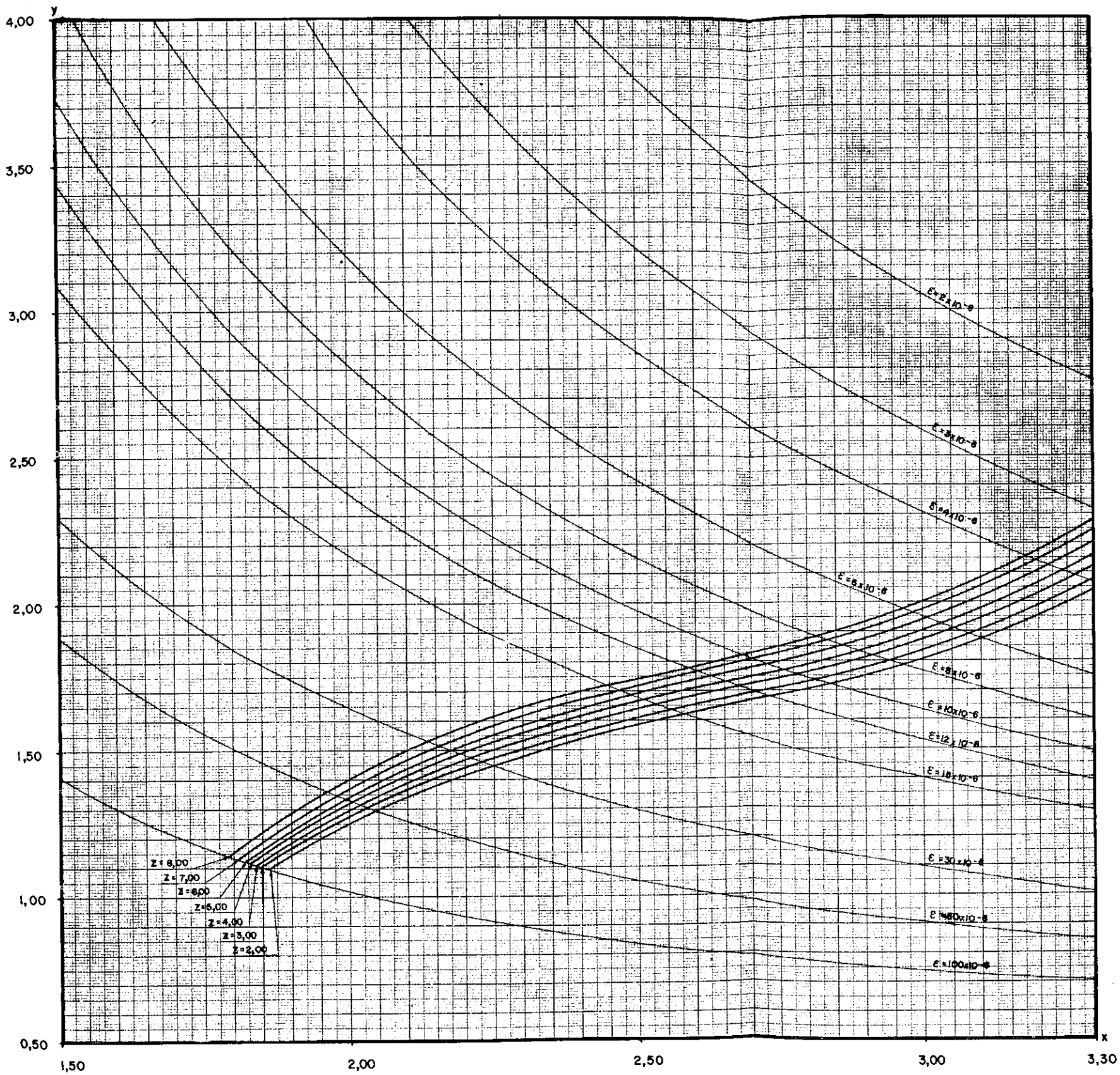
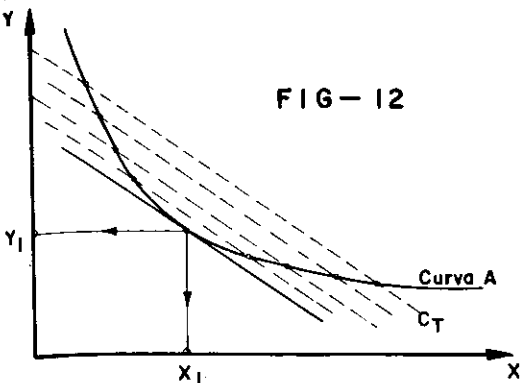


FIG-13

FIG-12



valor de ε que satisfaz à condição hidráulica desejada.

Na mesma figura estão representadas as curvas isocustos do interceptor, obtidas variando-se parametricamente C_T . Evidentemente, de todas as isocustos que tem pontos em comum com a curva A e que são solução do problema, a que lhe tangência constitui a que dá o par de valores (x_1, y_1) que corresponde ao interceptor que transposta a vazão Q com declividade l , com custo mínimo.

Variando parametricamente ε e Z , obteve-se o gráfico da figura 13 que fornece as secções de interceptores retangulares

de custo mínimo que foram consideradas para a comparação com as secções circulares.

b. Secção circular construída com tubos de concreto pré-moldados

Fixadas a vazão de dimensionamento e a declividade disponível, foi imposta a condição de escoamento livre com a lâmina que acarreta a máxima vazão possível, resultando as conhecidas relações:

$$Y = 0,95 \varnothing$$

$$S = 0,775 \varnothing^2$$

$$R_H = 0,2865 \varnothing$$

Introduzidas na equação de Chezy com coeficiente dado pela fórmula de Manning, obtém-se:

$$\frac{Q}{\sqrt{l}} = \frac{0,335 \varnothing^{8/3}}{n}$$

Para tubulações pré-moldadas de concreto do tipo CA-3, o espaçamento reduzido entre juntas e as condições de acabamento interno das paredes, mostraram que o valor de n mais adequado é

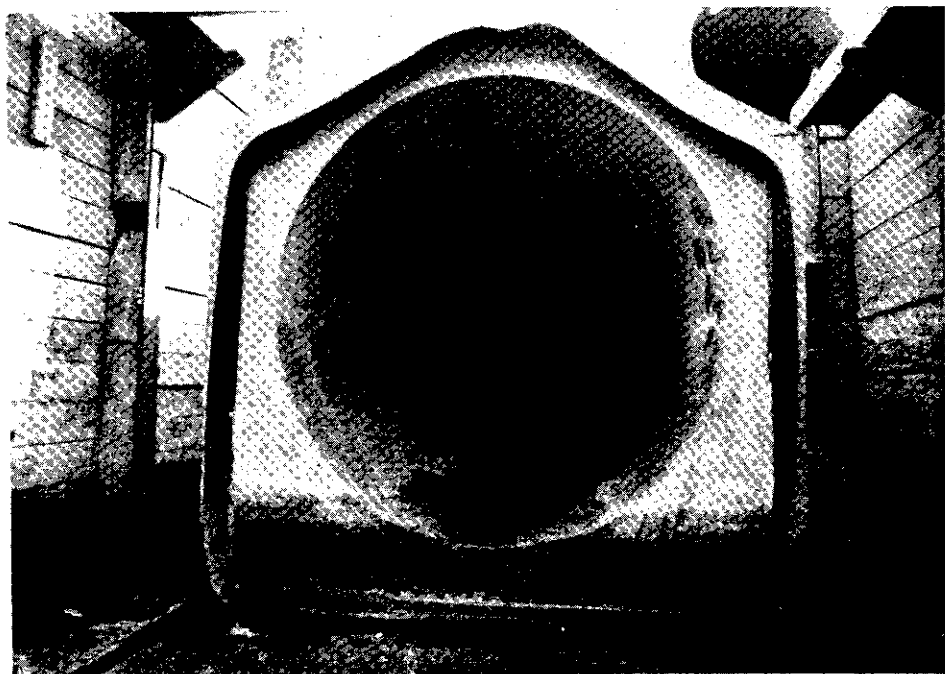


Fig. 14 A - Aspecto do acabamento interno.



Fig. 14 B – Aspecto do acabamento interno – Secção circular concretada no local.

0,013. Com esse valor e com a variável ϵ chega-se à expressão:

$$\varnothing = \frac{3,943}{(10^6 \epsilon)^{3/16}} \quad (\text{VII})$$

que juntamente com (II), foi utilizada para a construção do gráfico da figura 15.

c. Secção circular concretada no local

As condições de dimensionamento impostas são idênticas às descritas para os tubos pré-moldados. Neste caso, en-

tretanto, o acabamento interno bastante liso mostrado pelas fotos das figuras 14 A e 14 B e a distância entre juntas (de 100 em 100 m), indicaram como valor de n mais adequado 0,011.

A equação correspondente à (VII) que se obtém para secção circular moldada no local, tem por expressão,

$$\varnothing = \frac{3,707}{(10^6 \epsilon)^{3/16}} \quad (\text{VIII})$$

que juntamente com (III) foi utilizada na obtenção do gráfico da figura 15.

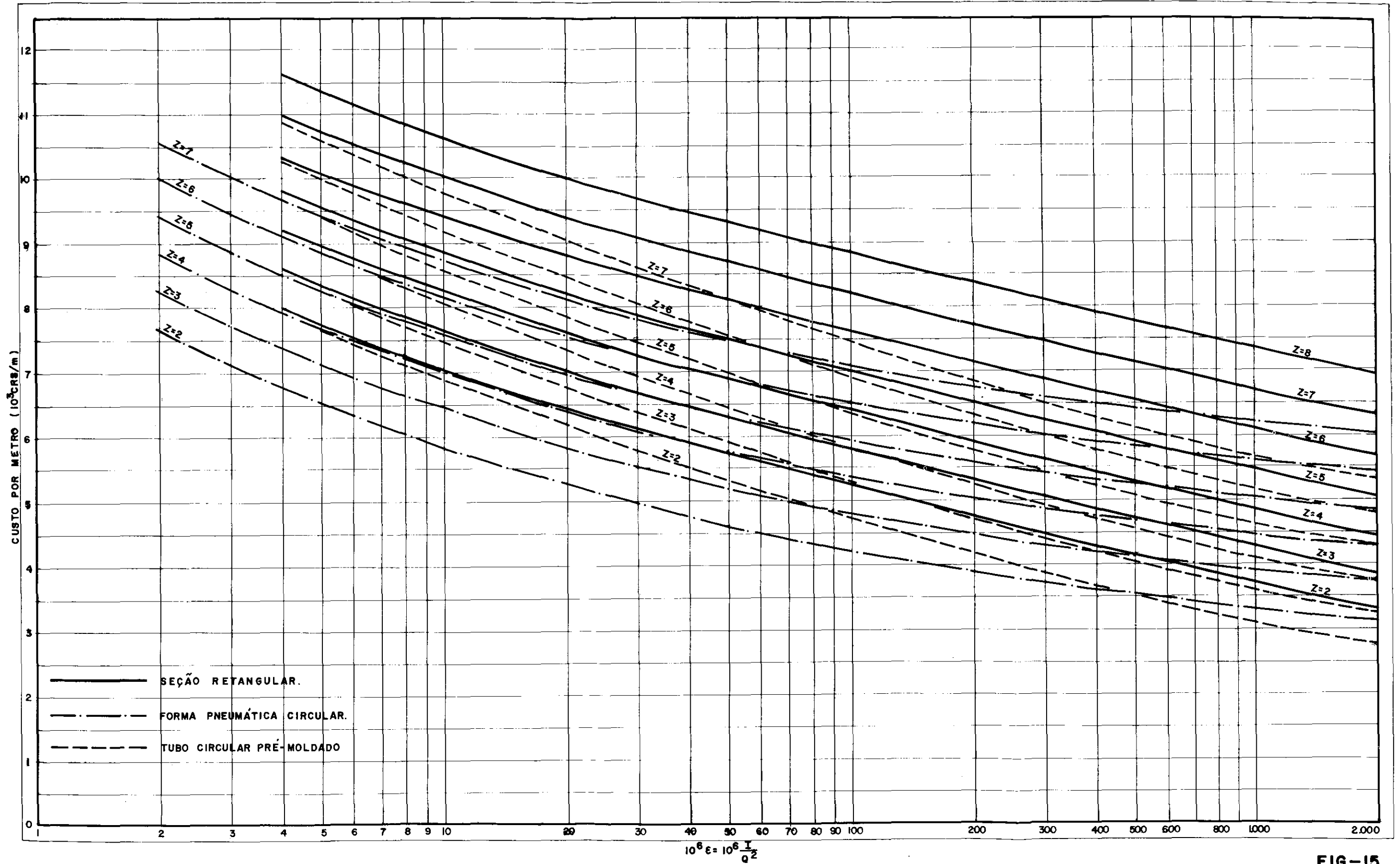


FIG-15

3.3. Seleção da alternativa mais adequada

Para as condições locais de mercado o gráfico da figura 15 permite imediata seleção alternativa mais adequada, deixando evidente:

- que a secção circular, apresenta-se como predominante em toda a faixa de dimensões analisada;
- que a secção circular de concreto pré-moldado é vantajosa para diâmetros iguais ou inferiores à bitola comercial de 1,20 m e que para diâmetros maiores deve-se utilizar secção circular concretada no local.

Uma análise da sensibilidade das soluções apontadas pelo gráfico da figura 15 a variações de preços do mercado local, mostra que as conclusões anteriores se mantêm enquanto o processo construtivo das secções retangulares ou a oferta de tubos pré-moldados não sofrerem mudanças substanciais.

Da mesma forma as variações do valor da rugosidade dentro dos limites utilizados para o coeficiente de Manning, 0,011 a 0,013, também não chegam a alterar as conclusões obtidas.

4. BIBLIOGRAFIA

- 1 - CAMANO, Alcindo Cicero - «Forma Pneumática Tubular para Construção de Emissários de Esgotos» - Companhia Metropolitana de Saneamento de São Paulo - VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - 1973.
- 2 - EB-103 - Tubos de Concreto Armado de Secção Circular - Associação Brasileira de Normas Técnicas - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 3 - FAGUNDES Jr., A. B.; BOAVENTURA, M. A.; UEHARA, H. - Minimização de Custos de Interceptor de Secção Retangular - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - 1973.
- 4 - Norma para projeto de galeria exposta a agentes agressivos e norma de carregamento de estrutura enterradas - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 5 - Normas para Dimensionamento, Assentamento, Fabricação e Recebimento de Tubos de Concreto Armado. SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 6 - Normas: Especificações para Trabalho Topográfico e Cadastrais. SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 7 - Norma de Execução de Galeria em Concreto Armado - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 8 - Normas Gerais de Mecânica dos Solos - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 9 - Apresentação de Projetos Norma PJt-1002 - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 10 - Norma para Desenhos de Obras «Como Construído» (Especif. Plantas Cadastrais) - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 11 - Norma para Poço de Visita, Tampões etc. - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 12 - Normas para Elaboração e Apresentação de Projeto Hidráulico de Interceptores - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 13 - Normas de Projeto para Instalações Elétricas - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 14 - Dimensionamento Econômico de Galeria de Concreto Armado - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 15 - Termos de Referência para Projeto Básico de Interceptores - SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - 1973.
- 16 - Cálculo Estrutural da Secção Circular - Escritório de Engenharia Estrutural Edaire Azevedo e Vicente De Stefano.