TUBOS DE PVC RÍGIDO COLETORES DE ESGOTOS PREDIAIS E DESPEJOS INDUSTRIAIS(*)

ENG.º WILSON PASSETO (**)

1 — INTRODUÇÃO

A tecnologia atualmente encontra pela frente problemas semelhantes aos enfrentados pela matemática e física, quando procuravam solucionar complexos assuntos de resistência dos materiais e mecânica dos solos, nas obras de engenharia civil do século passado.

O tempo encarregou-se de evidenciar outras variáveis importantes na solução daqueles problemas, que não puderam ser levadas em consideração e que foram muitas vezes as causadoras de acidentes.

Ao que parece, hoje, a tecnologia contando com tantos recursos de ciências afins, através da informática e da cibernética, pode solucionar os problemas do desenvolvimento integrado, do planejamento político-social e da comunicação. Afirma e mostra perspectivas para a solução da poluição e do esgotamento de recursos naturais, apesar das grandes dúvidas que foram lançadas.

Diante deste complexo jogo de fatores às vezes desconhecidos e camuflados, a dúvida que surge ao se dar um passo é de que ela seja antes uma contribuição ao bem estar do homem, do que mais uma etapa vencida dentro da técnica.

2 — PROPRIEDADES DO TUBOS DE PVC RÍGIDO PARA ESGOTO

O PVC rígido devido às suas notáveis propriedades químicas e físicas, confere aos tubos para esgoto excelentes propriedades, que podem ser observadas como segue:

2.1 — Os tubos de PVC rígido, são leves:

Os tubos de PVC rígido são 10 vezes [1] mais leves que as manilhas de barro vidrado, que são as tradicionalmente usadas nesse tipo de obra. Esta enorme diferença de peso acarreta economias diretas no transporte, carga, descarga, empilhamento manuseio. Indiretamente proporciona economia também no assentamento, no transporte a locais difíceis, no prazo de execução da obra, no tempo em que ficam as valetas abertas etc.

2.2 — Os tubos de PVC rígido são completamente estanques:

A completa estanqueidade dos tubos de PVC rígido é característica básica da matéria prima. As juntas soldáveis são também perfeitamente estanques, formando-se, pois, uma linha monolítica. A tubulação fica livre das infiltrações de água externa do lençol freático. Por outro lado, o terreno ao redor da tubulação continua seco, sem contaminação pelo esgoto e livre das raízes de árvores que vão à procura dessa umidade e destroem a rede coletora. O solo fica também livre das erosões provocadas pelas infiltrações de água e que são as responsáveis pelas trincas e danos em construções próximas.

(*) Trabalho apresentado ao XIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária — Asuncion — Paraguay, 20 a 26 de agosto de 1972.

(**) Cia. Hansen Industrial; Joinville — Santa Catarina — Brasil.

2.3 — Os tubos de PVC rígido são mais longos:

A leveza e a flexibilidade do PVC rígido permitem que os tubos sejam fornecidos em barras de 6,00 m úteis, com ponta e bolsa para soldar. A junta além de ser simples e de execução rápida somente é executada a cada 6,00 m de rede, o que acelera enormemente o tempo de execução da obra [2]. Poderão ser montados fora da vala, lances de 30, 50 ou até 100 metros, que depois são assentados de uma só vez. Com barras de 6,00 m obtém-se grande economia de mão-de-obra, na administração e fiscalização da obra.

2.4 — Os tubos de PVC rígido são flexíveis:

A flexibilidade dos tubos de PVC rígido é mutas vezes maior do que a das manilhas de barro vidrado.

Havendo ondulações na valeta, no sentido longitudinal, a tubulação de PVC acompanha essas irregularidades sem a menor dificuldade. Após o enchimento da vala e com o passar dos anos podem ocorrer pequenos recalques diferenciais no terreno, os quais podem danificar as manilhas de barro vidrado.

Os tubos de PVC rígido, admitem enormes recalques diferenciais sem sofrer ruptura ou sequer provocar entupimentos devido à sua continuidade interna, dada pela junta soldável [3].

O peso de terra provoca uma pequena deformação vertical do tubo, no sentido transversal. Essa deformação vertical é tanto menor quanto melhor for o solo de envolvimento lateral e inferior. Não existe ruptura no tubo por compressão diametral, pois este chega a um completo achatamento, sem sofrer sequer trincas.

Uma sobrecarga de terra ou tráfego, não prevista, provocaria no tubo uma deformação vertical maior, mas nunca a sua ruptura. Evidentemente que se as deformações forem muito grandes, da ordem de 20%, começará a criar dificuldades ao ecoamento de água. Com envolvimento lateral e inferior adequado, a tubulação de PVC rígido, pode suportar cargas maiores do que as suportáveis pelos tubos rígidos, sofrendo somente pequena deformação diametral.

Essa propriedade dos tubos de PVC rígido é importante, porém tem sido motivo de alguns acidentes. A efetiva sustentação da carga do solo, é conseguida com o tubo de PVC, trabalhando junto com o material de envolvimento lateral e inferior. Sem um berço adequado o tubo entra em colapso, principalmente se o terreno envolvente for argila orgânica, ou argila expansível e sem condições de sustentação. Este aspecto é tratado com toda atenção nos capítulos 5, 6 e 7.

2.5 — Os tubos de PVC rígido são lisos:

A superfície interna dos tubos de PVC rígido é muito lisa e somando-se a isso o pequeno número de juntas (uma cada 6 metros) e também a continuidade interna da junta soldável, que torna a tubulação toda monolítica, facilita grandemente o escoamento do esgoto.

Não há formação de depósitos de areia e matéria orgânica em decomposição que podem provocar os entupimentos tão indesejáveis sob o ponto de vista sanitário. A continuidade interna existente nas tubulações de PVC, praticamente elimina qualquer possibilidade de entupimentos. Devido a essas propriedades, em casos particulares de redes, pode-se eliminar alguns poços de visita, com enorme economia para a rede coletora [4].

2.6 — Os tubos d PVC rígido tem grande resistência química:

Como é sabido o PVC rígido é inerte à maioria dos ácidos minerais e bases, comprovadamente não sofre ataque de bolores e gases que normalmente existem no esgoto doméstico.

É o matrial ideal para a condução de despejos industriais, pois resiste a quase todas as substâncias que normalmente existem nesses despejos. São notáveis e tradicionais suas aplicações na condução de líquidos corrosivos a frio [5].

A durabilidade dos tubos de PVC rígido é ilimitada. Como prova disso podemos apresentar os 6.000 km de tubos de PVC conduzindo água dos mais diferentes tipos e enterrados nos mais diferentes tipos de solos, pelo Brasil todo.

A resistência do PVC às águas de esgoto e aos ratos [6] está suficientemente comprovada nos outros milhares de km de tubos de PVC para esgoto, aplicados nas instalações prediais de esgoto, já há muitos anos.

2.7 — Os tubos de PVC rígido não sofrem perda por quebra:

Os tubos são de 6,00 m e de peso bastante reduzido. Somando-se a isso a grande elasticidade do material, as perdas por quebra na carga, descarga e manuseio de obra são praticamente nulos. Os materiais tradicionais sofrem perdas de 2% a 5% dependendo da sua qualidade e do tipo de obra. Por outro lado, a junta soldável permite o aproveitamento de qualquer pedaço de tubo, o que é muito interessante economicamente.

2.8 — A ligação dos coletores prediais é simples:

A ligação dos ramais prediais coletores é feita com o selim, também de PVC que é soldado

sobre o tubo. A sua instalação é extremamente simples e o que é importante, rápida [7]. A taxa de instalação é paga e em poucas horas a ligação está pronta, sendo que a valeta já fode ser recoberta.

2.9 — Os tubos de PVC rígido permitem maior velocidade na obra:

A execução de uma rede de esgotos não é nada agradável à uma comunidade apesar dos benefícios que ela traz. Deve haver muita habilidade do Departamento de Água e Esgotos para não provocar atrito com os diretamente prejudicados pela obra. As chuvas, valas inundadas, lama, desabamentos, trincas nas construções, acidentes, interrupções no trânsito, no comércio, etc., são constantes em todo o tempo em que ficam as valetas abertas.

Com barras de 6,00 m, pesando pouco mais de 10 kg e com uma única junta, que pode ser executada no máximo em 4 minutos por um instalador e seu ajudante, grande parte desses problemas desaparecem. Esta extraordinária velocidade de execução da obra, redunda de alguma forma numa grande economia à comunidade.

Por outro lado, à medida que a rede vai ficando pronta o Departamento de Água e Esgotos, executa as ligações dos coletores e começa a cobrar o seu «aluguel» para transportar os esgotos, portanto, bem antes, iniciando o retorno do capital que lhe permitirá a execução do restante da obra. A obra pode ficar pronta em 3 ou 4 meses, com tubos de PVC rígido, enquanto leva, 1 ano com tubos de barro vidrado. É lógico que essa diferença de tempo multiplicada pelas taxas de ligação e «aluguel» da rede, redundam em grandes somas que revertem ao DAE, facilitando o ressarcimento dos seus compromissos.

2.10 — Os tubos de PVC rígido, permitem o aproveitamento da mão-de-obra local:

O assentamento dos tubos de PVC rígido, exige na realidade um único técnico especializado em tubulações: o instalador que executa as juntas.

Esse homem deve ser do DAE, pois já funciona como fiscal e responsável pela estanqueidade e qualidade do reaterro. O seu treinamento para trabalhar com PVC rígido é fácil e rápido.

A administração somente contrata pessoal de nivelamento e valetadores ou máquina retro escavadeira ou valetadeira. Manilheiros especializados são raros no Brasil. O trabalho com o asfalto, estopa, teste do espelho, teste da fumaça, etc., requer mão-de-obra difícil e cara. Esse trabalho exige fiscalização adequada e dispendiosa de um técnico de alto nível e muitas vezes deve vir de fora, com pesado ônus à comunidade. A eliminação dessa mão-de-obra especializada redunda em notável economia para as pequenas cidades.

2.11 — Observações e Bibliografia:

(1) Na tabela abaixo pode ser observada algumas relações de peso entre tubos de PVC rígido e manilhas de barro vidrado.

Diâmetro Nominal mm	PVC Peso aprox. barra com 6,00 m Kg	Peso por metro Kg/m	M.B. Peso tubo com 1,25 m Kg	Peso por metro Kg/m
150	10,300	1,730	30,000	24,000
200	18,200	3,200	38,000	30,400
250	28,300	4,720	55,000	44,000

Observa-se, pois, que os tubos de PVC rígido são aproximadamente 10 vezes mais leves do que os de barro vidrado (peso por metro).

(2) Em abril de 1970 foi feita uma apropriação de tempos de assentamento de tubos de PVC rígido para esgoto juntamente com o DAE de Campinas — SP. Tal apropriação resultou num trabalho bastante detalhado sobre cálculo de mão-de-obra. Na execução de uma junta soldável de 150 mm (6 metros de rede) foram gastas:

hora de instalador	0,06 h (3,3 minutos)
hora do ajudante	0,06 h (3,3 minutos)

Com o tempo assim reduzido para o asentamento dos tubos, é conveniente utilizar um instalador do próprio Departamento de Água que fiscaliza o trabalho dos empreiteiros em aberturas de valas e já executa a linha, fiscalizando em seguida o reaterro. Os tubos de PVC dispensam mão-de-obra de assentamento, funcionando o instalador como fiscal da abertura e regularização das valas. A economia conseguida é notável.

(3) Tivemos uma excelente experiência do comportamento dos tubos de PVC rígido em recalques diferenciais, numa rede coletora de 250 mm em Curitiba — PR., executada ao lado da obra de regularização de um rio no centro da cidade. Tal experiência é tratada no 5.1.2.

(4) No caso de bairros residenciais ainda em formação e em zonas mais homogêneas das cidades, poderão ser dispensados alguns poços de visita do sistema coletor, pois a superfície interna dos tubos sendo lisa, os raros entupi-

mentos poderiam ser alcançados de maior distância pelo equipamento de desentupimento. Poder-se-á provocar curvaturas de grande raio na tubulação sem provocar problemas aos tubos, o que elimina alguns poços de visita. Para curvas de raio menor poder-se-á utilizar «gomos», de curva de 15º, que soldados em série podem provocar qualquer desvio. Poder-se-á utilizar também conexões como: tee, cruzetas e junções, em substituição a alguns poços de visita, em situação particular, evidentemente sem prejuizo da boa técnica.

(5) Sabe-se que nos gases de esgoto, aparece gás sulfídrico e ácido sulfúrico que atacam tubulações de cimento, na sua parte superior. Alguns órgãos que insistem em executar as juntas da manilha de barro vidrado com cimento, conhecem bem seus efeitos. O PVC rígido não sofre qualquer ação por parte desse ácido sendo inclusive muito utilizado na sua condução. Os despejos de fábricas de papel e usinas de açúcar, contém grandes teores de ácido sulfúrico e outras substâncias corrosivas, que são transportadas sem problema pelos tubos de PVC já há muitos anos. Os tubos de PVC para esgoto podem receber despejos industriais na temperatura máxima de 40ºC, ficando dentro da legislação que proibe o lançamento de despejos com temperaturas acima de 40ºC, por razões de segurança (Decreto 45.231 — de 16 de setembro de 1965 — artigo 1.º, no Projeto de Regulamento para Exame e Aprovação pelo DAE de Projetos para Instalações Depuradoras de Resíduos Industriais no Art. 15) esse item é observado — Construção de Redes de Esgoto — FESB/CETESB — 1970. No caso da existência de despejos com temperatura acima de 40ºC, esses deverão ser resfriados, com adição de outras águas, ou poder-se-á executar uma linha especial separada, devidamente protegida, em tubos, de CPVC ou FW, que resistem até 80ºC. Esses casos devem ser estudados particularmente. A não observância dessa instrução pode ser causa de acidentes e no (5.1.5) exemplificamos um caso ocorrido.

(6) O ataque dos ratos:

Com o maior uso dos tubos de plástico, foram levantadas algumas hipóteses sobre a possibilidade de seu ataque por ratos. A American Water Works Association — AWWA — em 1954, fez uma pesquisa sobre o assunto e concluiu que não existe preferência alguma do rato pelo PVC ou outro tipo de plástico em relação aos materiais similares.

Ficou também afastada a hipótese do PVC servir de alimento para os ratos, pois é um material inerte e jamais seria alimento.

A melhor prova de que os ratos não atacam o PVC rígido, são as dezenas de milhões de metros de tubos de PVC rígido já instalados no Brasil sem que se tivesse notícia de casos de ataque dos roedores.

Os problemas existentes, decorrentes do despreparo de mão de obra e desconhecimento do material, são bem mais importantes que a hipótese ora levantada. A insistência em torno do assunto, se prende a problemas comerciais que não são objetivos do presente trabalho.

(7) No trabalho de apropriação de tempos, executado junto ao DAE de Campinas, pudemos observar:

Operação	Hora de um instalador
Colocação de selim 150 mm x 100 mm	0,25 h (15 min.)
Execução de cada junta * de 100 mm	0,04 h (3 min.)

* colocação de tee, curva, tubo, etc.

Apenas um homem do Departamento de Água, pode executar todo o ramal predial coletor em questão de hora, usando ferramentas simples e sem necessidade de cimento, areia, estopa, pixe, fogareiro, tijolos de barro, etc., que é comum no caso de redes de manilhas de barro vidrado.

3 — O DESEMPENHO HIDRAULICO DAS REDES COLETORAS

3.1 — Aspectos gerais:

Os tubos de PVC rígido constituem uma novidade para os projetistas de redes coletoras e é muito natural que se analise o seu desempenho hidráulico e se compare com o dos materiais já consagrados no cálculo rotineiro, como as manilhas de barro vidrado e os tubos de concreto.

Analisando-se somente o aspecto hidráulico destes tubos, para que se possa prever o correto desempenho da rede coletora, ao calculista interessa o diâmetro interno dos tubos e o coeficiente de rugosidade das paredes internas ou de forma mais geral um coeficiente que leve em consideração também a continuidade das juntas e o alinhamento dos tubos.

Por comodidade, nesse trabalho, o escoamento livre será analisado segundo a fórmula de Bazin, admitindo-se que as discrepâncias que possam surgir de considerações mais rigorosas quanto à precisão desse critério, são perfeitamente superadas pela imprecisão que se tem no conhecimento e previsão das vazões de projeto.

Os tubos cerâmicos, que são os mais tradicionalmente considerados no cálculo hidráulico, tem coeficiente de rugosidade γ da fórmula de Bazin, variando de 0,16 a 0,23, dependendo da lisura da parede, idade e estado das superfícies internas, comprimento dos tubos, alinhamento dos tubos e estado das juntas. O mesmo coeficiente para os coletores de PVC rígido é $\gamma = 0{,}06$ (1).

Essa diferença de coeficiente pode ser avaliada pela seguinte consideração: um coeficien-

te de rugosidade de 0,23 em confronto com um de 0,06, implica por exemplo que uma tubulação de mesmo diâmetro interno e com a mesma declividade (1%) e mesma porcentagem de ocupação (adotando 50%), numa redução de aproximadamente 23% na vazão.

Por outro lado inúmeras redes já foram calculadas e estão sendo calculadas, adotando-se coeficiente entre 0,16 e 0,23. Quais seriam as implicações se na especificação do material simplesmente houvesse uma mudança para tubos de PVC rígido com coeficiente de 0,06, conservando as mesmas declividades e os mesmos diâmetros nominais?

Numa rápida análise, constatamos:

— aumento geral na velocidade de escoamento da ordem de 27%;

— maior folga com relação às vazões máximas, pois os tubos de PVC comportam maiores vazões (acréscimo de 17%)(2);

— diminuição da altura da lâmina de água de aproximadamente 17%.

O aumento geral na velocidade de escoamento, resulta num funcionamento hidráulico melhor se analisado quanto ao aspecto do carreamento de sólidos. Por outro lado, nos pontos onde a velocidade é alta, haveria uma preocupação quanto ao desgaste dos tubos por abrasão.

Sabe-se que a resistência dos tubos de PVC rígido à abrasão, no transporte de sólidos em suspensão aquosa, é grande. Como prova disso existem muitas empresas especializadas em extração de areia de rios com dragas, utilizando tubos de PVC rígido com sucesso.

Tais tubos se mostram superiores aos de aço e ferro fundido, nesse tipo de trabalho.

A literatura técnica internacional cita algumas vezes essa propriedade dos tubos de PVC rígido, de boa resistência à abrasão. Como comprovação prática, está sendo realizado no Laboratório de Hidráulica da Escola de Engenharia de São Carlos — U.S.P., um ensaio que muito auxiliará as conclusões nesse sentido (3).

A maior folga na capacidade de escoamento dos tubos só pode ser olhada como vantagem desse material. Acostumados como estamos a ver nossas cidades crescerem muito mais que o previsto, esse aspecto positivo dos tubos de PVC rígido é bem visto.

A normalização dos tubos de PVC rígido se faz pelo diâmetro externo, tendo em vista o processo de fabricação e a precisão que se faz necessária nessa dimensão para a segurança da junta soldada. Para as diversas categorias de tubos, a espessura de parede é variável e conseqüentemente o diâmetro interno.

No dimensionamento desses tubos, são portanto utilizadas tabelas que levam em consideração o diâmetro interno, servindo pois o diâmetro nominal como referência.

O diâmetro nominal dos tubos de PVC rígido para esgoto é igual ao diâmetro externo, isso faz com que o desempenho hidráulico do tubo mais se aproxime dos tubos cerâmicos.

A figura 3.1 mostra curvas de vazão contra altura de lâmina de tubos de PVC rígido de 150 mm (diâmetro nominal = diâmetro externo) por 2,5 mm (espessura de parede) (diâmetro interno de 145 mm) e de tubos cerâmicos com diâmetro nominal de 150 mm (diâmetro interno).

As curvas foram levantadas assumindo para os tubos cerâmicos $\gamma = 0{,}16$ o que seria a melhor hipótese admissível para tais tubos, e a declividade da linha 1% para todos os materiais.

Admitindo-se por exemplo uma vazão de projeto de 2 l/s, as lâminas de água seriam:

	Altura da lâmina
Tubos Cerâmicos Ø 150 mm	36 mm
Tubos de PVC rígido secção circular Ø 150 mm x 2,5 mm	30 mm

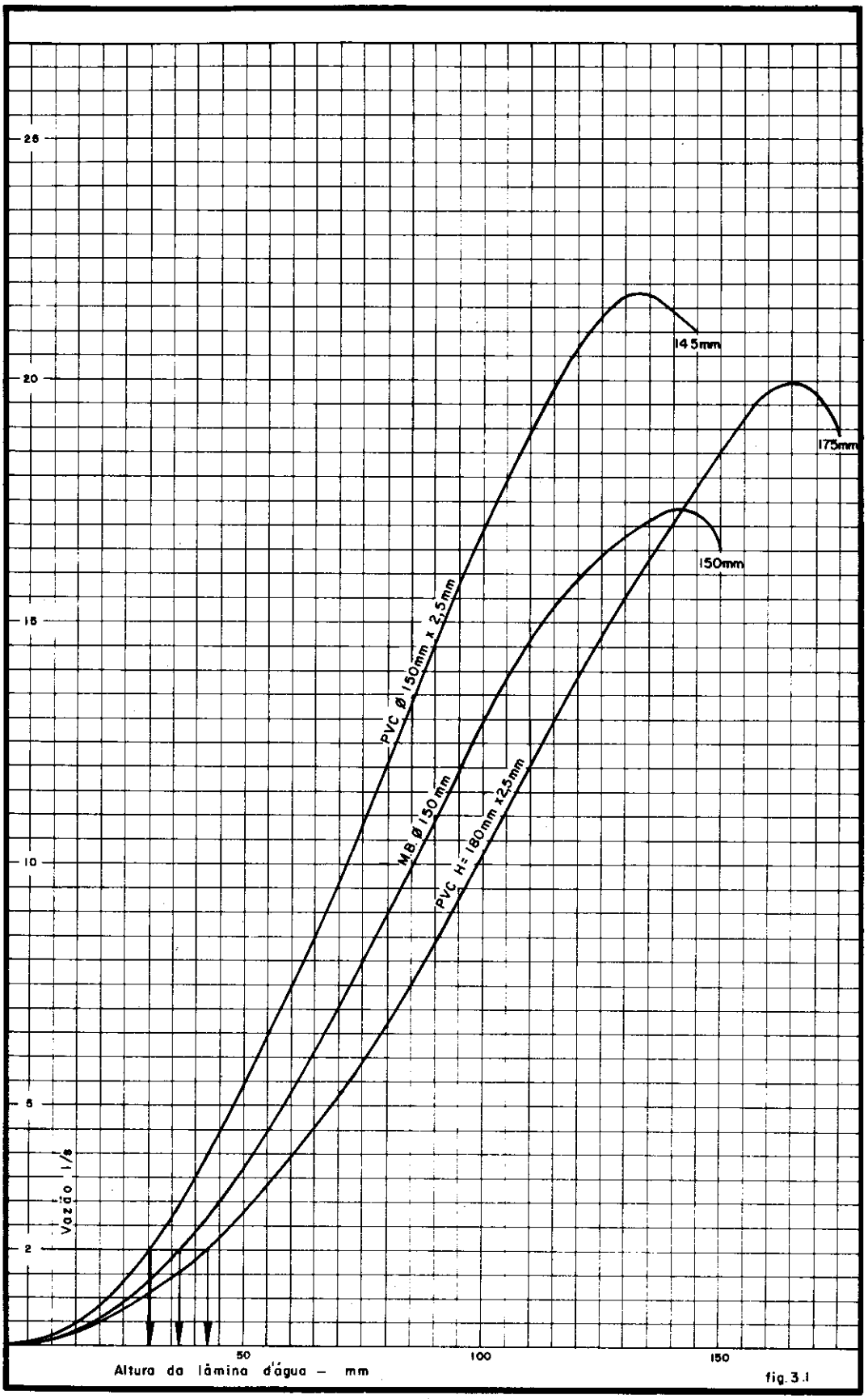
Deve ser notado que houve do tubo cerâmico para o de PVC rígido, uma redução de aproximadamente 17% na altura da lâmina de água o que poderia dificultar a flutuação da matéria orgânica(?), apesar do acréscimo verificado na velocidade.

A experiência demonstra que essa redução na altura da lâmina de água é perfeitamente compensada pela maior velocidade de escoamento e pelo melhor acabamento interno das juntas, sendo muito pouco provável o acúmulo de detritos nos tubos de PVC rígido.

No caso do projetista julgar inseguro essa redução da lâmina mínima, haveriam duas soluções:

1.ª solução: Diminuição geral das declividades da rede coletora, havendo uma diminuição geral na profundidade das valas. Essa solução é equivalente a se projetar toda a rede pensando-se unicamente em tubos de PVC rígido, e para os projetos já existentes implicaria na sua revisão.

2.ª solução: Optar-se por tubos de PVC rígido, de secção ovoidal Lathan, que garante lâ-


25
20
15
10
5
2
Vazão l/s
50
100
150
Altura da lâmina d'água — mm
145mm
175mm
150mm
PVC Ø 150mm x 2,5mm
M.B. Ø 150 mm
PVC H= 180mm x2,5mm
fig. 3.1

minas mínimas de água maiores que a das manilhas cerâmicas com velocidade de escoamento maior, ou seja, duplamente a favor da segurança.

A secção transversal desses tipos de tubos pode ser observada na figura 3.2. As dimensões são caracterizadas pela altura que chamaremos de HN (altura nominal» [4, 5].

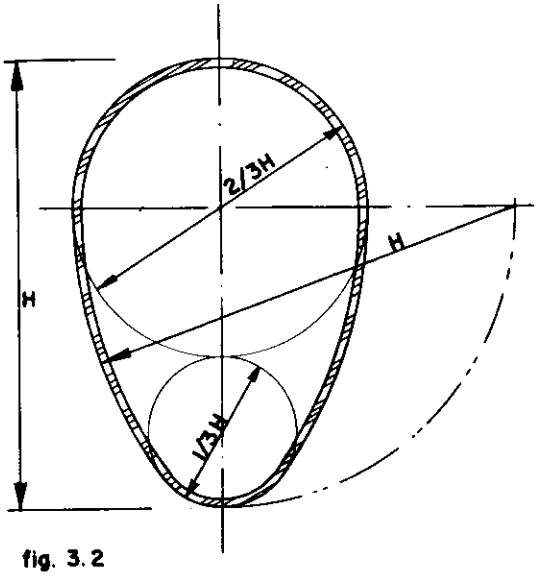


fig. 3.2

A correspondência entre os diâmetros nominais e alturas nominais podem ser observadas na tabela 3.2.

O critério dessa correspondência é a igualdade dos perímetros da secção circular e ovoidal, resultando pois, tubos de mesmo peso por metro.

TABELA 3.2

Diâmetro Nominal (externo) Secção Circular mm	Altura Nominal (externa) * Secção Ovoidal Lathan mm
150	180
200	240
250	300

* Tais tubos são fabricados somente até a altura nominal de 300 mm (Ø equivalente a 250 mm).

Relações Básicas

Área = 0.51046 H^2
Perímetro = 2,64330 H
Raio Hidráulico = 0,19311 H

Voltando ao gráfico da figura 3.1, para a vazão de 2 l/s, a altura da lâmina no tubo ovoidal de 180 mm x 2,5 mm, será de 42 mm, ou seja, 16% maior que a das manilhas cerâmicas.

O gráfico da figura 3.3 é mais objetivo e prático, pois leva em consideração não a altura efetiva da lâmina de água, mas sim a porcentagem de ocupação da altura total do tubo, que é o critério adotado pelos projetistas.

Nessa figura, pode-se observar que a porcentagem de ocupação dos tubos ovoidais, para uma mesma vazão, é praticamente igual à dos tubos cerâmicos. Por outro lado, pode-se observar também a maior segurança que os tubos de PVC rígido dão à rede coletora permitindo maiores vazões para uma mesma declividade.

Todos os gráficos considerados, são retirados das tabelas calculadas no Centro de Processamento de Dados da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, com cooperação do Departamento de Hidráulica e Saneamento. Essas tabelas acham-se anexas a seguir [6].

O gráfico da figura 3.4 mostra as curvas de vazão contra a altura da lâmina de água dos tubos de PVC rígido e de manilhas cerâmicas até o diâmetro de 500 mm, onde pode-se efetuar comparações.

A tabela 3.3 relaciona os diâmetros e espessuras de parede desses tubos.

3.2 — O cálculo hidráulico:

O critério utilizado no cálculo das redes coletores de PVC rígido é baseado na fórmula de Bazin [7].

$$v = \frac{87\sqrt{r\,i}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{r}}} \qquad (1)$$

onde:

Q	vazão	m^3/s
v	velocidade	m/s
ω	área da secção molhada	m^2
λ	perímetro molhado	m
$r = \frac{\omega}{\lambda}$	raio hidráulico da secção molhada	m
D_i	diâmetro interno do tubo	m
a	altura da lâmina de água no tubo	m
$x = \frac{a}{D_i}$	porcentagem de ocupação	—
i	declividade	m/m
γ	coeficiente de rugosidade (Bazin)	—

TABELA 3.3

Tubos de PVC Rígido Secção Circular			Tubos de PVC Rígido Secção Ovoidal Lathan			
Diâmetro Nominal DN mm	Diâmetro Externo DE mm	Espessura da Parede e mm	Diâmetro Interno Di mm	Altura Nominal HN mm	Espessura da Parede e mm	Altura Interna Hi mm
150	150	2,5	145,0	180	2,5	175,0
200	200	3,3	193,4	240	3,3	233,4
250	250	4,2	241,6	300	4,2	291,6
300	300	5,0	290,0	—	—	—
350	350	5,8	338,4	—	—	—
400	400	6,7	386,6	—	—	—
450	450	7,5	435,0	—	—	—
500	500	8,3	483,4	—	—	—

Para qualquer porcentagem de ocupação, a relação (2) é válida

$$Q = v\,\omega \qquad (2)$$

de (1) e (2) obtém-se

$$Q = \frac{87\omega\sqrt{r\,i}}{1 + \dfrac{\gamma}{\sqrt{r}}}$$

Utilizando as expressões (2) e (3), foram calculados em computador, valores da vazão (Q), velocidade (v), para diversas porcentagens de ocupação (χ), diversos diâmetros (D_i), considerando o coeficiente $\gamma = 0{,}06$ e a declividade $i = 1\%$ (0,01 m/m). Os resultados estão apresentados na tabela I.

Utilizando as mesmas expressões, porém adaptadas para os tubos ovoidais, onde foram consideradas as alturas internas (H_i), obtivemos a tabela II.

Finalizando, a tabela III apresenta os mesmos elementos tabelados para tubos cerâmicos, considerando $\gamma = 0{,}16$.

Para declividades diferentes de 0,01, a fórmula de Bazin pode ser adaptada numa sistemática bastante simples.

Assim para uma declividade qualquer i' teremos (2') e (3')

$$Q' = v'\,\omega \qquad (2')$$

$$Q' = \frac{87\sqrt{r\,i'}}{1 + \dfrac{\lambda}{\sqrt{r}}}\,\omega \qquad (3')$$

relacionando (2) com (2') e (3) com (3') teremos

$$Q' = Q\,\frac{\sqrt{i'}}{\sqrt{i}}$$

$$v' = v\,\frac{\sqrt{i'}}{\sqrt{i}}$$

lembrando que $i = 0{,}01$ teremos

$$Q' = Q\,10\sqrt{i'}$$

$$v' = v\,10\sqrt{i'}$$

Para calcular Q' e v' basta multiplicar o Q e v correspondentes pelo fator $10\sqrt{i'}$.

A tabela IV é de fatores $10\sqrt{i'}$ já calculados.

Exemplo de cálculo:

Para uma vazão de 12 l/s e declividade de 0,005, escolher o diâmetro da tubulação, verificar a porcentagem de ocupação e a velocidade.

fator $\sqrt{10\,i'} = 0{,}707$ vazão correspondente a $i = 0{,}01$

$$Q' = 12 \text{ l/s}$$

para a declividade $i' = 0{,}005$ a tabela IV dá para

$$Q = \frac{Q'}{10\sqrt{i'}} = 17 \text{ l/s}$$

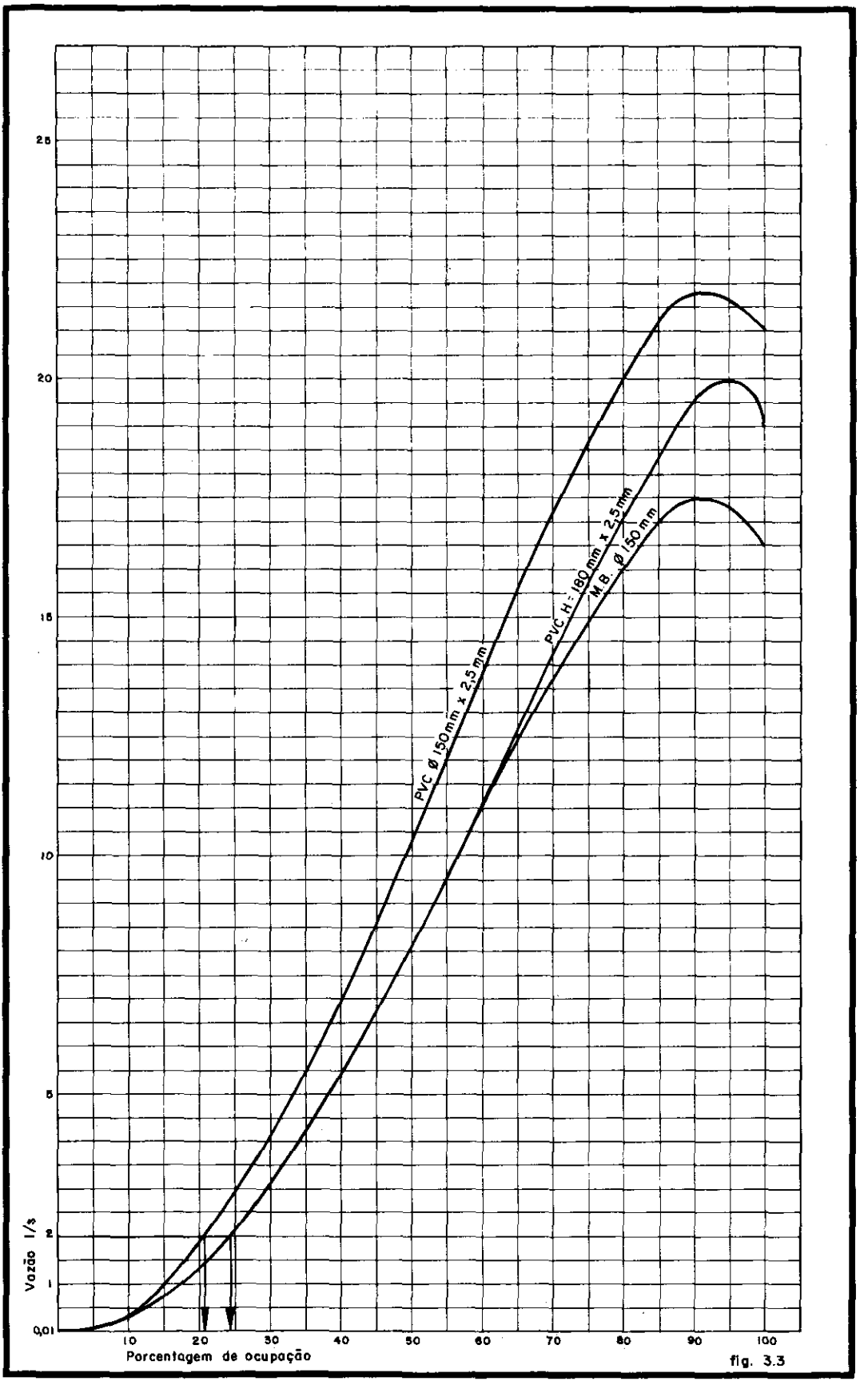

25
20
15
10
5
2
1
0,01
Vazão l/s
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Porcentagem de ocupação
PVC Ø 150 mm x 2,5 mm
PVC H = 180 mm x 2,5 mm
M.B. Ø 150 mm

fig. 3.3

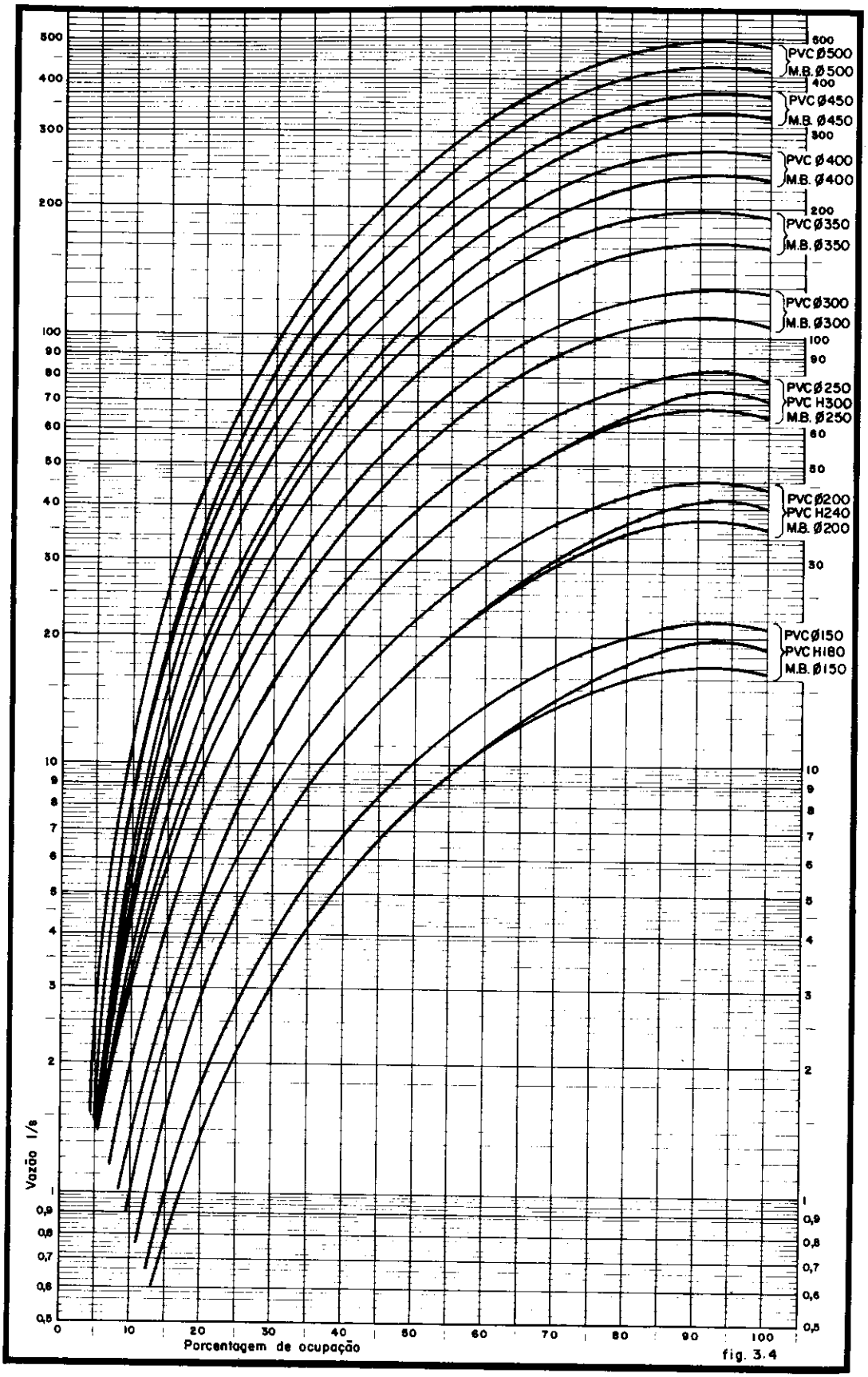

PVC Ø500
M.B. Ø500
PVC Ø450
M.B. Ø450
PVC Ø400
M.B. Ø400
PVC Ø350
M.B. Ø350
PVC Ø300
M.B. Ø300
PVC Ø250
PVC H300
M.B. Ø250
PVC Ø200
PVC H240
M.B. Ø200
PVC Ø150
PVC H180
M.B. Ø150
Vazão l/s
Porcentagem de ocupação

fig. 3.4

Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP
Cia. Hansen Industrial — Tubos e Conexões «Tigre»
Vazão e Velocidade em Tubos de PVC Rígido

Secção Circular — Bazin γ = 0,06 — Declividade i = 0,01

TABELA I

x %	DN 150 mm		DN 200 mm		DN 250 mm	
	Q	V	Q	V	Q	V
	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s
5,0	0,10	0,32	0,22	0,39	0,40	0,46
10,0	0,44	0,51	0,96	0,62	1,74	0,72
15,0	1,03	0,66	2,23	0,80	4,02	0,93
20,0	1,81	0,78	3,88	0,94	6,98	1,08
25,0	2,79	0,88	5,97	1,06	10,71	1,22
30,0	4,19	0,99	8,94	1,19	16,02	1,37
35,0	5,71	1,08	12,16	1,30	21,75	1,49
40,0	6,92	1,13	14,73	1,35	26,32	1,55
45,0	8,57	1,19	18,22	1,43	32,54	1,63
50,0	10,28	1,25	21,83	1,49	38,96	1,71
55,0	12,03	1,30	25,52	1,55	45,52	1,77
60,0	13,80	1,34	29,27	1,59	52,19	1,82
65,0	15,60	1,37	33,06	1,63	58,92	1,86
70,0	17,39	1,40	36,84	1,66	65,65	1,90
75,0	18,69	1,41	39,59	1,68	70,54	1,91
80,0	19,95	1,41	42,26	1,68	75,28	1,92
85,0	21,14	1,41	44,78	1,68	79,78	1,92
90,0	21,75	1,39	46,08	1,66	82,11	1,90
93,8	21,70	1,35	45,99	1,61	81,99	1,84
100,0	20,99	1,26	44,56	1,50	79,52	1,72

x %	DN 300 mm		DN 350 mm		DN 400 mm	
	Q	V	Q	V	Q	V
	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s
5,0	0,66	0,53	1,01	0,58	1,44	0,64
10,0	2,82	0,82	4,25	0,90	6,05	0,98
15,0	6,51	1,04	9,77	1,15	13,86	1,25
20,0	11,27	1,21	16,89	1,34	23,92	1,45
25,0	17,28	1,36	25,85	1,50	36,57	1,63
30,0	25,80	1,53	38,56	1,68	54,49	1,82
35,0	34,99	1,66	52,25	1,82	73,79	1,97
40,0	42,33	1,73	63,18	1,90	89,18	2,05
45,0	52,29	1,82	78,01	2,00	110,08	2,16
50,0	62,57	1,90	93,30	2,08	131,62	2,25
55,0	73,09	1,97	108,95	2,16	153,64	2,33
60,0	83,77	2,03	124,84	2,22	176,01	2,40
65,0	94,53	2,08	140,85	2,27	198,55	2,46
70,0	105,31	2,12	156,88	2,32	221,12	2,50
75,0	113,15	2,13	168,55	2,33	237,55	2,52
80,0	120,75	2,14	179,86	2,34	253,49	2,53
85,0	127,97	2,14	190,61	2,34	268,64	2,53
90,0	131,72	2,11	196,23	2,31	276,58	2,50
93,8	131,56	2,05	196,04	2,25	276,38	2,43
100,0	127,71	1,92	190,42	2,10	268,59	2,27

TABELA I (Continuação)

x %	DN 450 mm		DN 500 mm			
	Q	V	Q	V		
	l/s	m/s	l/s	m/s		
5,0	1,98	0,69	2,62	0,74		
10,0	8,25	1,06	10,90	1,13		
15,0	18,87	1,34	24,86	1,43		
20,0	32,54	1,56	42,82	1,66		
25,0	49,69	1,75	65,34	1,86		
30,0	73,99	1,95	97,21	2,08		
35,0	100,12	2,11	131,48	2,25		
40,0	120,97	2,20	158,83	2,34		
45,0	149,26	2,32	195,91	2,46		
50,0	178,42	2,41	234,12	2,56		
55,0	208,23	2,50	273,19	2,65		
60,0	238,50	2,57	312,85	2,73		
65,0	269,00	2,63	252,81	2,79		
70,0	299,54	2,68	392,82	2,84		
75,0	321,79	2,69	421,99	2,86		
80,0	343,37	2,70	450,28	2,87		
85,0	363,90	2,70	477,20	2,87		
90,0	374,67	2,67	491,37	2,84		
93,8	374,47	2,60	491,37	2,76		
100,0	264,08	2,43	477,73	2,58		

Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP
Cia. Hansen Industrial — Tubos e Conexões «Tigre»
Vazão e Velocidade em Tubos de PVC Rígido

Secção Ovoidal Lathan — Bazin γ = 0,06 — Declividade i = 0,01

TABELA II

x %	H 180 mm		H 240 mm		H 300 mm	
	Q	V	Q	V	Q	V
	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s
5,0	0,08	0,35	0,19	0,43	0,35	0,50
10,0	0,36	0,53	0,78	0,65	1,41	0,75
15,0	0,79	0,66	1,70	0,80	3,08	0,92
20,0	1,41	0,77	3,04	0,93	5,46	1,07
25,0	2,17	0,85	4,66	1,03	8,37	1,18
30,0	3,16	0,93	6,75	1,12	12,11	1,29
35,0	4,36	1,01	9,29	1,21	16,64	1,39
40,0	5,07	1,03	10,81	1,24	19,36	1,42
45,0	6,32	1,08	13,47	1,30	24,10	1,49
50,0	8,20	1,16	17,44	1,39	31,17	1,59
55,0	9,52	1,19	20,24	1,42	36,15	1,63
60,0	10,88	1,22	23,12	1,46	41,29	1,67
65,0	12,26	1,25	26,03	1,49	46,47	1,70
66,7	13,34	1,28	28,31	1,52	50,52	1,74
70,0	14,27	1,29	30,28	1,54	54,03	1,76
75,0	15,65	1,31	33,20	1,56	59,23	1,78
80,0	17,03	1,32	36,11	1,57	64,42	1,80
85,0	18,35	1,33	38,92	1,58	69,41	1,81
90,0	19,59	1,33	41,54	1,58	74,09	1,81
95,3	19,97	1,30	42,36	1,55	75,58	1,77
100,0	18,82	1,20	39,98	1,43	71,42	1,64

Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP
Cia. Hansen Industrial — Tubos e Conexões «Tigre»
Vazão e Velocidade em Tubos Cerâmicos

Secção Circular — Bazin γ = 0,16 — Declividade i = 0,01

TABELA III

x %	DN 150 mm		DN 200 mm		DN 250 mm	
	Q	V	Q	V	Q	V
	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s
5,0	0,06	0,18	0,14	0,23	0,26	0,28
10,0	0,29	0,32	0,66	0,40	1,24	0,48
15,0	0,72	0,43	1,61	0,54	2,99	0,64
20,0	1,30	0,52	2,89	0,65	5,33	0,77
25,0	2,05	0,60	4,54	0,75	8,36	0,89
30,0	3,15	0,70	6,94	0,86	12,75	1,02
35,0	4,36	0,77	9,57	0,95	17,55	1,12
40,0	5,33	0,81	11,68	1,00	21,40	1,18
45,0	6,66	0,87	14,58	1,07	26,68	1,25
50,0	8,05	0,91	17,60	1,12	32,17	1,31
55,0	9,48	0,95	20,70	1,17	37,80	1,37
60,0	10,93	0,99	23,86	1,21	43,54	1,42
65,0	12,41	1,02	27,05	1,25	49,34	1,46
70,0	13,88	1,04	30,25	1,28	55,15	1,49
75,0	14,94	1,05	32,54	1,29	59,32	1,50
80,0	15,95	1,05	34,00	1,29	63,34	1,51
85,0	16,91	1,05	36,83	1,29	67,18	1,51
90,0	17,35	1,04	37,82	1,27	68,91	1,49
93,8	17,22	1,00	37,57	1,23	68,54	1,44
100,0	16,45	0,92	35,98	1,13	65,74	1,33

x %	DN 300 mm		DN 350 mm		DN 400 mm	
	Q	V	Q	V	Q	V
	l/s	m/s	l/s	m/s	l/s	m/s
5,0	0,45	0,33	0,69	0,37	1,00	0,42
10,0	2,05	0,55	3,15	0,62	4,55	0,69
15,0	4,94	0,74	7,54	0,83	10,86	0,91
20,0	8,79	0,88	13,38	0,99	19,22	1,09
25,0	13,74	1,01	20,87	1,13	29,95	1,24
30,0	20,91	1,16	31,72	1,29	45,45	1,42
35,0	28,74	1,27	43,54	1,42	62,32	1,55
40,0	35,00	1,34	52,99	1,49	75,80	1,63
45,0	43,61	1,42	65,97	1,58	94,30	1,73
50,0	52,53	1,49	79,41	1,66	113,47	1,81
55,0	61,70	1,55	93,22	1,72	133,13	1,89
60,0	71,03	1,61	107,28	1,78	153,15	1,95
65,0	80,46	1,65	121,46	1,83	173,36	2,00
70,0	89,90	1,69	135,68	1,87	193,60	2,05
75,0	96,68	1,70	145,90	1,89	208,17	2,06
80,0	103,23	1,71	155,78	1,89	222,24	2,07
85,0	109,40	1,71	165,09	1,89	235,53	2,07
90,0	112,40	1,68	169,64	1,87	242,06	2,04
93,8	111,78	1,63	168,78	1,81	240,92	1,98
100,0	107,35	1,50	162,26	1,67	231,81	1,83

TABELA III (Continuação)

x %	DN 450 mm		DN 500 mm			
	Q	V	Q	V		
	l/s	m/s	l/s	m/s		
5,0	1,40	0,46	1,87	0,50		
10,0	6,28	0,75	8,39	0,81		
15,0	14,96	0,99	19,92	1,07		
20,0	26,45	1,18	35,16	1,27		
25,0	41,15	1,35	54,64	1,45		
30,0	62,36	1,53	82,70	1,65		
35,0	85,43	1,68	113,20	1,81		
40,0	103,87	1,76	137,58	1,89		
45,0	129,14	1,87	170,97	2,01		
50,0	155,31	1,96	205,53	2,10		
55,0	182,16	2,04	240,98	2,19		
60,0	209,48	2,11	277,05	2,26		
65,0	237,06	2,16	313,45	2,32		
70,0	264,68	2,21	349,90	2,37		
75,0	284,58	2,23	376,19	2,38		
80,0	303,81	2,23	401,60	2,39		
85,0	321,98	2,23	425,61	2,39		
90,0	330,95	2,20	437,52	2,36		
93,8	329,49	2,14	435,70	2,29		
100,0	317,27	1,98	419,82	2,12		

TABELA 3.4
PVC Circular

Diâmetro Nominal DN mm	Vazão Q l/s	Velocidade v m/s	Porcentagem de Ocupação x %
150	17,39	1,40	70,0
200	18,22	1,43	45,0

melhor escolha DN = 200 mm
porcentagem de ocupação entre 40 a 45%
velocidade:

$$v' = 1,43 \times 0,707$$
$$v' = 1,01 \text{ m/s}$$

TABELA 3.5
PVC Ovoidal

Diâmetro Nominal HN mm	Vazão Q l/s	Velocidade v m/s	Porcentagem de Ocupação x %
180	17,03	1,32	80,0
240	17,44	1,39	50,0

melhor escolha HN = 240 mm
porcentagem de ocupação entre 40 a 45%
velocidade:

$$v' = 1,39 \times 0,707$$
$$v' = 0,98 \text{ m/s}$$

TABELA 3.6
Tubos Cerâmicos

Diâmetro Nominal DN mm	Vazão Q l/s	Velocidade v m/s	Porcentagem de Ocupação x %
150	17,35	1,04	90,0
200	17,60	1,12	50,0

melhor escolha DN = 200 mm
porcentagem de ocupação entre 40 a 45%
velocidade:

$$v' = 1,12 \times 0,707$$
$$v' = 0,79 \text{ m/s}$$

3.3 — **Observações e Bibliografia:**

(1) Fognature di Cloruro di Polivinile — Edmondo Casazza — Materie Plastiche en Elastomeri — Gennaio, 1968.

(2) O Escoamento nos Canais com Regime Turbulento Uniforme em Relação às Condições Críticas — Dr. Alfredo Bandini — Separata da Revista Engenharia — Outubro, 1953, n.º 134.

(3) No Laboratório de Hidráulica da Escola de Engenharia de São Carlos — U.S.P. foram colocados em série, com a mesma declividade, tubos de PVC rígido, Barro Vidrado, Cimento Amianto e Ferro Fundido, de mesmo diâme-

TABELA IV

Valores de $10\sqrt{i'}$ para Cálculo da Vazão e Velocidade

i' m/m	$10\sqrt{i'}$	i' m/m	$10\sqrt{i'}$	i' m/m	$10\sqrt{i'}$
0.00001	0.0316	0.00062	0.2489	0.00330	0.5744
0.00002	0.0447	0.00063	0.2509	0.00340	0.5830
0.00003	0.0547	0.00064	0.2529	0.00350	0.5916
0.00004	0.0632	0.00065	0.2549	0.00360	0.6000
0.00005	0.0707	0.00066	0.2569	0.00370	0.6082
0.00006	0.0774	0.00067	0.2588	0.00380	0.6164
0.00007	0.0836	0.00068	0.2607	0.00390	0.6244
0.00008	0.0894	0.00069	0.2626	0.00400	0.6324
0.00009	0.0948	0.00070	0.2645	0.00410	0.6403
0.00010	0.0999	0.00071	0.2664	0.00420	0.6480
0.00011	0.1048	0.00072	0.2683	0.00430	0.6557
0.00012	0.1095	0.00073	0.2701	0.00440	0.6633
0.00013	0.1140	0.00074	0.2720	0.00450	0.6708
0.00014	0.1183	0.00075	0.2738	0.00460	0.6782
0.00015	0.1224	0.00076	0.2756	0.00470	0.6855
0.00016	0.1264	0.00077	0.2774	0.00480	0.6928
0.00017	0.1303	0.00078	0.2792	0.00490	0.6999
0.00018	0.1341	0.00079	0.2810	0.00500	0.7071
0.00019	0.1378	0.00080	0.2828	0.00510	0.7141
0.00020	0.1414	0.00081	0.2846	0.00520	0.7211
0.00021	0.1449	0.00082	0.2863	0.00530	0.7280
0.00022	0.1483	0.00083	0.2880	0.00540	0.7348
0.00023	0.1516	0.00084	0.2898	0.00550	0.7416
0.00024	0.1549	0.00085	0.2915	0.00560	0.7483
0.00025	0.1581	0.00086	0.2932	0.00570	0.7549
0.00026	0.1612	0.00087	0.2949	0.00580	0.7615
0.00027	0.1643	0.00088	0.2966	0.00590	0.7681
0.00028	0.1673	0.00089	0.2983	0.00600	0.7745
0.00029	0.1702	0.00090	0.3000	0.00610	0.7810
0.00030	0.1732	0.00091	0.3016	0.00620	0.7874
0.00031	0.1760	0.00092	0.3033	0.00630	0.7937
0.00032	0.1788	0.00093	0.3049	0.00640	0.7999
0.00033	0.1816	0.00094	0.3065	0.00650	0.8062
0.00034	0.1843	0.00095	0.3082	0.00660	0.8124
0.00035	0.1870	0.00096	0.3098	0.00670	0.8185
0.00036	0.1897	0.00097	0.3114	0.00680	0.8246
0.00037	0.1923	0.00098	0.3130	0.00690	0.8306
0.00038	0.1949	0.00099	0.3146	0.00700	0.8366
0.00039	0.1974	0.00100	0.3162	0.00710	0.8426
0.00040	0.1999	0.00110	0.3316	0.00720	0.8485
0.00041	0.2024	0.00120	0.3464	0.00730	0.8544
0.00042	0.2049	0.00130	0.3605	0.00740	0.8602
0.00043	0.2073	0.00140	0.3741	0.00750	0.8660
0.00044	0.2097	0.00150	0.3872	0.00760	0.8717
0.00045	0.2121	0.00160	0.3999	0.00770	0.8774
0.00046	0.2144	0.00170	0.4123	0.00780	0.8831
0.00047	0.2167	0.00180	0.4242	0.00790	0.8888
0.00048	0.2190	0.00190	0.4358	0.00800	0.8944
0.00049	0.2213	0.00200	0.4472	0.00810	0.8999
0.00050	0.2236	0.00210	0.4582	0.00820	0.9055
0.00051	0.2258	0.00220	0.4690	0.00830	0.9110
0.00052	0.2280	0.00230	0.4795	0.00840	0.9165
0.00053	0.2302	0.00240	0.4898	0.00850	0.9219
0.00054	0.2323	0.00250	0.4999	0.00860	0.9273
0.00056	0.2345	0.00260	0.5099	0.00870	0.9327
0.00055	0.2366	0.00270	0.5196	0.00880	0.9380
0.00057	0.2387	0.00280	0.5291	0.00890	0.9433
0.00058	0.2408	0.00290	0.5385	0.00900	0.9486
0.00059	0.2428	0.00300	0.5477	0.00910	0.9539
0.00060	0.2449	0.00310	0.5567	0.00920	0.9591
0.00061	0.2469	0.00320	0.5656	0.00930	0.9643

TABELA IV (Continuação)

Valores de $10\sqrt{i'}$ para Cálculo da Vazão e Velocidade

i' m/m	$10\sqrt{i'}$	i' m/m	$10\sqrt{i'}$	i' m/m	$10\sqrt{i'}$
0.00940	0.9695	0.06600	2.5690	0.38000	6.1644
0.00950	0.9746	0.06700	2.5884	0.39000	6.2449
0.00960	0.9797	0.06800	2.6076	0.40000	6.3245
0.00970	0.9848	0.06900	2.6267	0.41000	5.4031
0.00980	0.9899	0.07000	2.6457	0.42000	6.4807
0.00990	0.9949	0.07100	2.6645	0.43000	6.5574
0.01000	0.9999	0.07200	2.6832	0.44000	6.6332
0.01100	1.0488	0.07300	2.7018	0.45000	6.7082
0.01200	1.0954	0.07400	2.7202	0.46000	6.7823
0.01300	1.1401	0.07500	2.7386	0.47000	6.8556
0.01400	1.1832	0.07600	2.7568	0.48000	6.9282
0.01500	1.2247	0.07700	2.7748	0.49000	7.0000
0.01600	1.2649	0.07800	2.7928	0.50000	7.0710
0.01700	1.3038	0.07900	2.8106	0.51000	7.1414
0.01800	1.3416	0.08000	2.8284	0.52000	7.2111
0.01900	1.3784	0.08100	2.8460	0.53000	7.2801
0.02000	1.4142	0.08200	2.8635	0.54000	7.3484
0.02100	1.4491	0.08300	2.8809	0.55000	7.4161
0.02200	1.4832	0.08400	2.9082	0.56000	7.4833
0.02300	1.5165	0.08500	2.9154	0.57000	7.5498
0.02400	1.5491	0.08600	2.9325	0.58000	7.6157
0.02500	1.5811	0.08700	2.9495	0.60000	7.7459
0.02600	1.6124	0.08800	2.9664	0.61000	7.8102
0.02700	1.6431	0.08900	2.9832	0.62000	7.8740
0.02800	1.6733	0.09000	3.0000	0.63000	7.9372
0.02900	1.7029	0.09100	3.0166	0.64000	8.0000
0.03000	1.7320	0.09200	3.0331	0.65000	8.0622
0.03100	1.7606	0.09300	3.0495	0.66000	8.1240
0.03200	1.7888	0.09400	3.0659	0.67000	8.1853
0.03300	1.8165	0.09500	3.0822	0.68000	8.2462
0.03400	1.8439	0.09600	3.0983	0.69000	8.3066
0.03500	1.8708	0.09700	3.1144	0.70000	8.3666
0.03600	1.8973	0.09800	3.1304	0.71000	8.4261
0.03700	1.9235	0.09900	3.1464	0.72000	8.4852
0.03800	1.9493	0.10000	3.1622	0.73000	8.5440
0.03900	1.9748	0.11000	3.3166	0.74000	8.6023
0.04000	1.9999	0.12000	3.4641	0.75000	8.6602
0.04100	2.0248	0.13000	3.6055	0.76000	8.7177
0.04200	2.0493	0.14000	3.7416	0.77000	8.7749
0.04300	2.0736	0.15000	3.8729	0.78000	8.8317
0.04400	2.0976	0.16000	4.0000	0.79000	8.8881
0.04500	2.1213	0.17000	4.1231	0.80000	8.9442
0.04600	2.1447	0.18000	4.2426	0.81000	9.0000
0.04700	2.1679	0.19000	4.3588	0.82000	9.0553
0.04800	2.1908	0.20000	4.4721	0.83000	0.1104
0.04900	2.2135	0.21000	4.5825	0.84000	9.1651
0.05000	2.2360	0.22000	4.6904	0.85000	9.2195
0.05100	2.2583	0.23000	4.7958	0.86000	9.2736
0.05200	2.2803	0.24000	4.8989	0.87000	9.3273
0.05300	2.3021	0.25000	5.0000	0.88000	9.3808
0.05400	2.3237	0.26000	5.0990	0.89000	9.4339
0.05500	2.3452	0.27000	5.1961	0.90000	9.4868
0.05600	2.3664	0.28000	5.2915	0.91000	9.5393
0.05700	2.3874	0.29000	5.3851	0.92000	9.5916
0.05800	2.4083	0.30000	5.4772	0.93000	9.6436
0.05900	2.4289	0.31000	5.5677	0.94000	9.6953
0.06000	2.4494	0.32000	5.6568	0.95000	9.7467
0.06100	2.4698	0.33000	5.7445	0.96000	9.7979
0.06200	2.4899	0.34000	5.8309	0.97000	9.8488
0.06300	2.5099	0.35000	5.9160	0.98000	9.8994
0.06400	2.5298	0.36000	6.0000	0.99000	9.9498
0.06500	2.5495	0.37000	6.0827	1.00000	10.0000

tro nominal. No seu interior estabeleceu-se um escoamento livre de areia em suspensão aquosa, que está servindo para ensaiar uma bomba à abrasão. Depois de muitas horas de funcionamento (1 ou 2 anos) os tubos são retirados para comparativos de desgaste por abrasão. O ensaio está a cargo do Eng.º Reynaldo Gava e sob orientação do Prof. Rui Carlos de Camargo Vieira.

(4) Construções Hidráulicas — Obras de Saneamento — Vol. I — Dr. Alfredo Bandini — EESC-USP, 1962.

(5) Hidráulica — Vol. I — Alfredo Bandini — EESC-USP, 1957.

(6) Il Calcolo dei Canali Coperti — Alfredo Bandini — Edizioni D.E.I. — Roma, 1948.

(7) Elementos de Mecânica dos Fluidos — Lucas Nogueira Garcez — Dezembro, 1960.

4 — AS PEÇAS DE LIGAÇÃO A ACESSÓRIOS

4.1 — A junta soldada:

Os tubos de PVC rígido coletores de esgotos prediais e despejos industriais, são dotados de ponta e bolsa para soldar. A tabela 4.1 mostra as dimensões características dessa junta, referidas à figura 4.1.

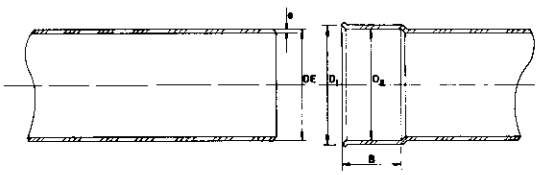


fig. 4.1

TABELA 4.1

Junta Soldada

Diâmetro Externo De mm	Espessura da Parede e mm	Profundidade Mínima da Bolsa B mm	Diâmetros Internos da Bolsa	
			D_1 mm	D_2 mm
150	2,5	75	153	150
200	3,3	100	203	200
250	4,2	125	253	250
300	5,0	150	303	300
350	5,8	175	353	350
400	6,7	200	403	400
450	7,5	225	453	450
500	8,3	250	503	500

A junta soldada, deve ser executada da seguinte forma:

Fig. 4.2 — Limpar e lixar cuidadosamente a ponta e a bolsa tirando todo o brilho.

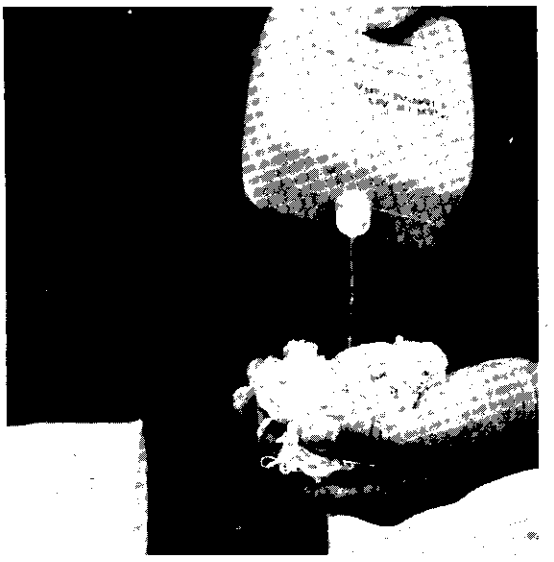


Fig. 4.3 — Aplicar solução limpadora nas superfícies a serem soldadas.

Fig. 4.4 — Aplicar adesivo na bolsa e depois na ponta, evitando excessos.

Fig. 4.5 — Encaixar a ponta na bolsa até o fundo e depois remover o excesso de adesivo.

O consumo médio de adesivo por junta é: 0,02 g/cm² (área de superfície a ser soldada)

O consumo médio de solução limpadora por junta é:
0,03 g/cm² (área de superfície a ser soldada)

4.2 — **Ligação do coletor predial:**

A ligação do coletor predial na rede coletora é feita pelo selim, fig. 4.6, cujas dimensões constam da tabela 4.6

TABELA 4.6

Diâmetros Nominais		Dimensões do Selim e da Cinta			
DN mm	Dn mm	A mm	B mm	C mm	D aprox. mm
150	100	180	95	151	228
200	100	180	95	135	304
250	100	180	95	127	380

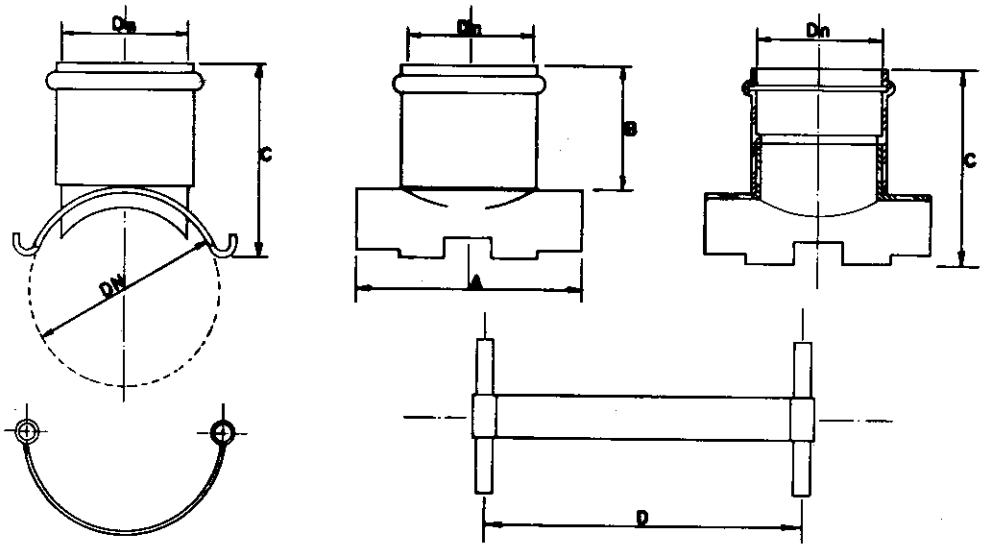


fig. 4.6

TABELA 4.6

O selim é soldado diretamente sobre o coletor e fixado pela cinta de borracha. Esta soldagem deve ser executada da seguinte forma:

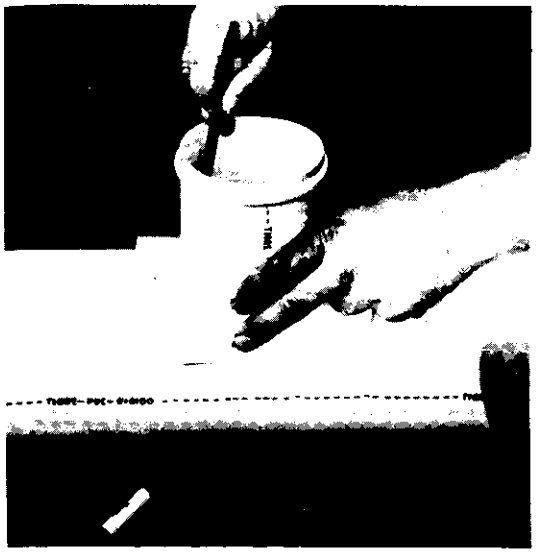


Fig. 4.7 — Marcar no coletor o contorno do furo, utilizando como gabarito o próprio selim.

Fig. 4.9 — Limpar e lixar as superfícies a serem soldadas, do coletor e do selim, até retirar todo o brilho.

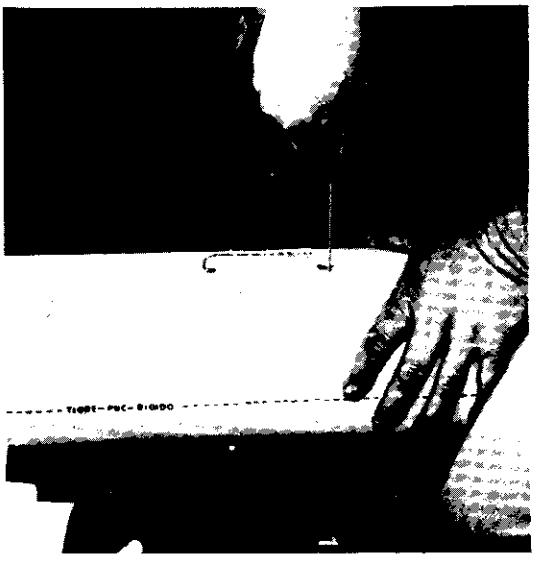


Fig. 4.8 — Utilizando furadeira e serra triangular, recortar a parede do coletor.

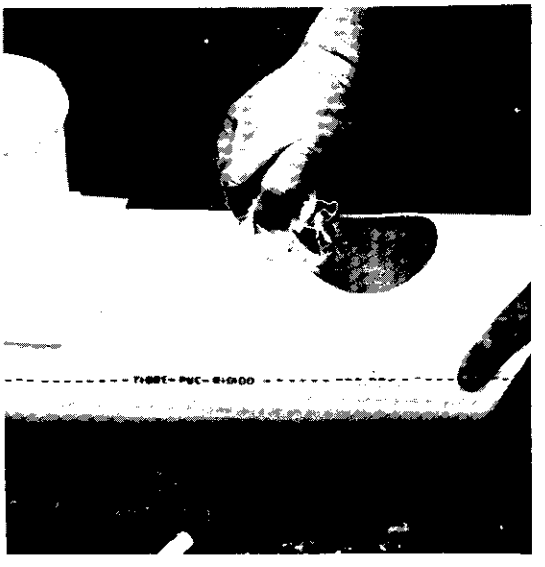


Fig. 4.10 — Aplicar solução limpadora nas áreas tratadas, removendo todas as impurezas.

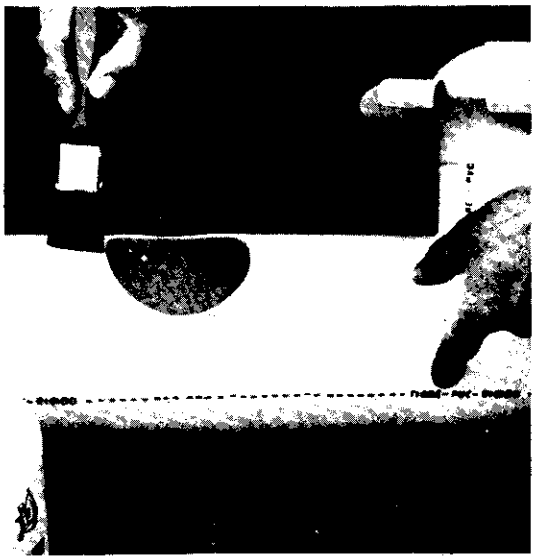


Fig. 4.11 — Aplicar adesivo no selim e depois no coletor, evitando excessos.

Fig. 4.12 — Colocar o selim na posição correta e fixá-lo com a cinta elástica.

Nota: Para facilitar a colocação da cinta elástica é conveniente tratá-lo com um lubrificante, ou simplesmente molhar a superfície inferior do tubo com água e sabão.

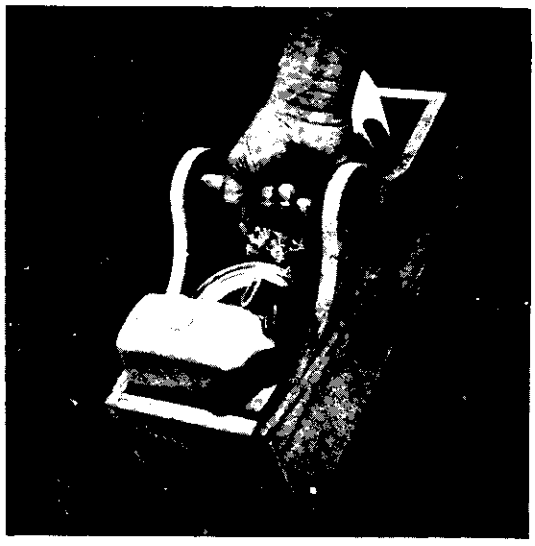


Fig. 4.13 — Para facilitar o trabalho é conveniente a utilização de uma caixa de ferramentas, que pode ser a da figura acima.

4.3 — **Outras conexões:**

Para a execução do coletor predial, que é geralmente de diâmetro nominal de 100 mm, pode-se utilizar os tubos e conexões de PVC rígido para instalações prediais de esgoto e ventilação, conforme a Especificação Brasileira 608 em fase final de projeto. A grande variedade de peças e a simplicidade das juntas, soldada ou elástica, tornam possíveis a execução de qualquer tipo de coletor predial.

Na seqüência estão relacionadas algumas conexões para os coletores de secção circular.

Os tubos ovoidais possuem conexões similares.

LUVA CURTA

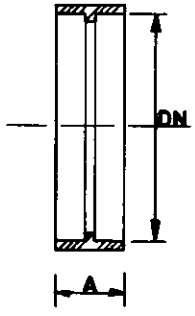


fig. 4.14

Diâmetro Nominal DN mm	Dimensões A mm
150	43
200	47

LUVA

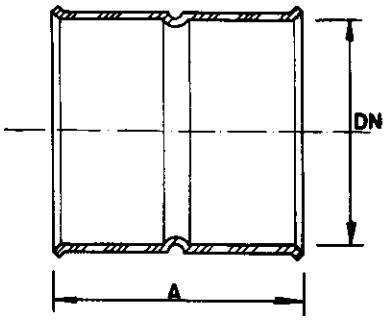


fig. 4.15

Diâmetro Nominal DN mm	Dimensões A mm
150	150
200	200
250	250
300	300
350	350
400	400
450	450
500	500

CURVA 15° CURTA

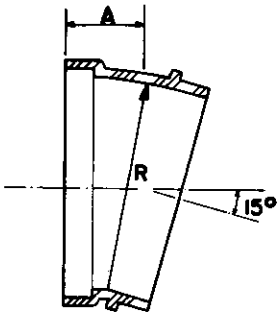


fig. 4.16

Diâmetro Nominal	Dimensões	
DN mm	R mm	A mm
150	144	39
200	184	50

Nota: Com a curva de 15° poderão ser obtidas curvas de 30°, 45°, 75° e 90°. Trabalhando-se com a luva curta e pedaços de tubos poder-se-á obter curvas de diferentes tamanhos, inclusive curvas reversas.

TEE 90°

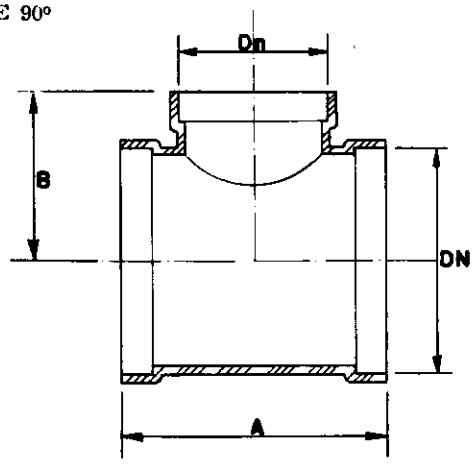


fig. 4.17

Diâmetros Nominais		Dimensões	
DN mm	Dn mm	A mm	B mm
150	100	176	112
150	150	276	112
200	150	290	161
200	200	350	173
* 250	150	438	259
* 250	200	487	294
* 250	250	541	331

Nota: As conexões assinaladas com asteriscos são fabricadas por soldagem de tubos e podem ser obtidas também para diâmetros até 500 mm com qualquer redução, dependendo de consulta ao fabricante.

JUNÇÃO 45°

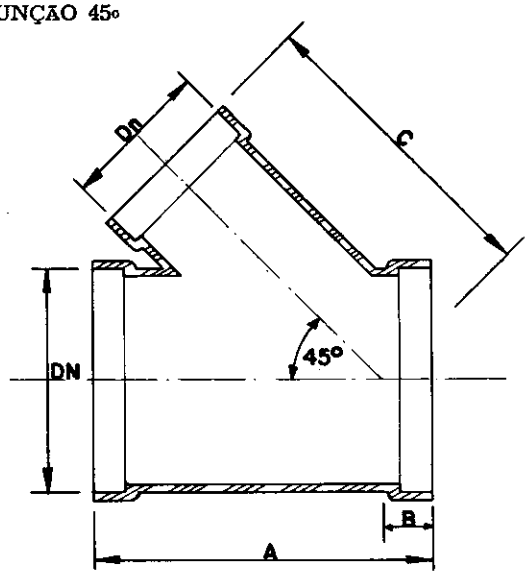


fig. 4.18

Diâmetros Nominais		Dimensões		
DN mm	Dn mm	A mm	B mm	C mm
150	100	230	37	202
150	150	318	83	230
200	150	375	90	283
200	150	444	120	334
250	150	518	137	365
250	200	600	172	416
250	250	670	206	470

4.4 — Peças de interligação com outro material:

A interligação de tubos de PVC rígido com outros materiais deve ser sempre feita em poços de visita, através de uma canaleta apropriada.

No caso dos coletores prediais de DN 100 mm, quando não for possível a execução de uma caixa de inspeção, poder-se-á interligar manilhas de barro vidrado com tubos de PVC rígido, através da peça apropriada.

4.5 — O fundo do poço de visita:

Para facilitar a execução das canaletas de fundo de poços de visita; existem peças em chapa de PVC rígido, vacuum formadas. A aplicação dessas peças em chapa de PVC rígido, vacuum formadas. A aplicação dessas peças é limitada ao diâmetro nominal de 250 mm ou altura nominal de 300 mm, com entradas em cruzetas.

LIGAÇÃO À PONTA DE MANILHA DE BARRO

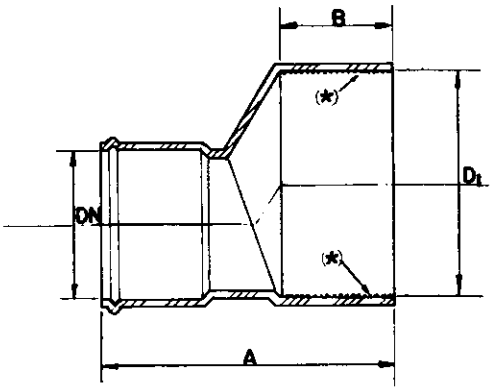


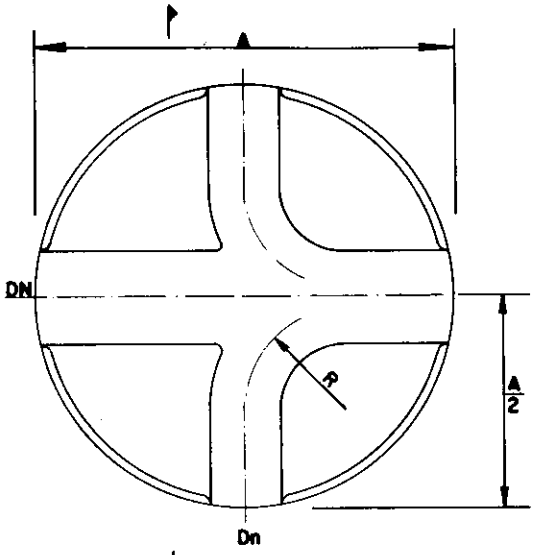
fig. 4.19

Diâmetro Nominal	Dimensões		
mm	A mm	B mm	D_1 mm
100	195	75	150

(*) Superfície preparada para aderir ao cimento.

Para se ligar o tubo de PVC à bolsa da manilha de barro, deve-se utilizar a própria ponta do tubo, revestida externamente com tinta betuminosa, ou tratado com adesivo e areia seca.

FUNDO DE POÇO EM CRUZETA
(Secção circular)



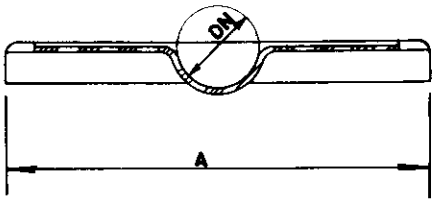


fig. 4.20

Diâmetros Nominais		Dimensões	
DN mm	Dn mm	A mm	R mm
150	150	900	198
200	150	900	198
200	200	900	250
250	150	900	198
250	200	900	250

Alturas Nominais		Dimensões	
HN mm	Hn mm	A mm	R mm
180	180	900	178
240	180	900	178
240	240	900	230
300	180	900	178
300	240	900	230

FUNDO DE POÇO EM CRUZETA
(Secção ovoidal Lathan)

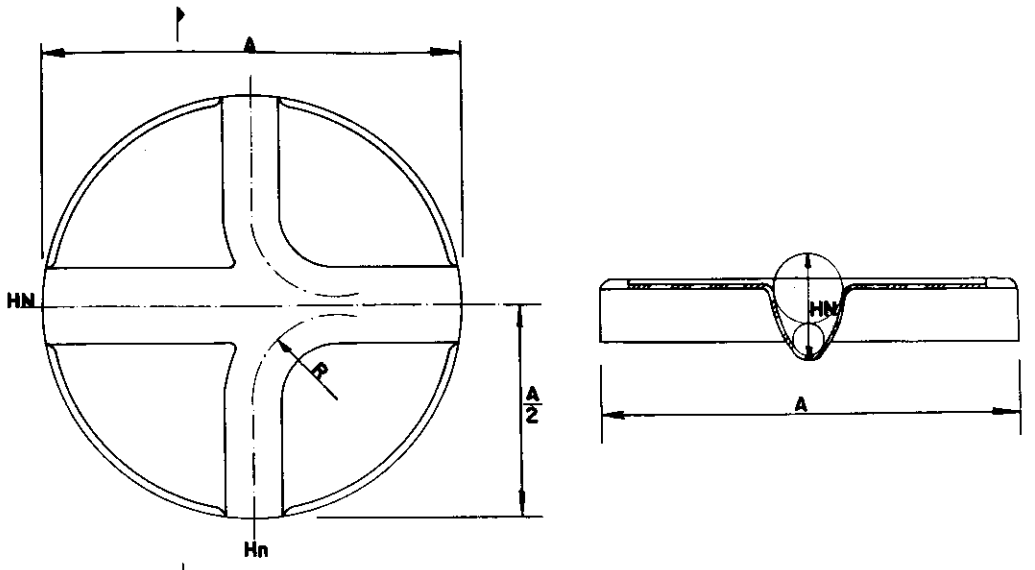


fig. 4.21

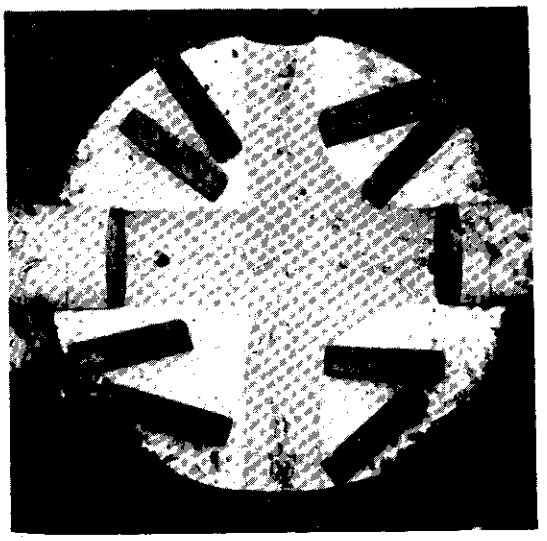


fig. 4.22

A figura 4.22 mostra uma dessas peças, assentada sobre lastro de concreto, no fundo de um poço de visita que será construido em seguida (Cerquilho — SP).

Os tubos são soldados na chapa, o que garante ótima vedação.

5 — A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

A idéia de se utilizar tubos de PVCrígido na execução de redes coletoras de esgotos, surgiu logo depois destes tubos serem fabricados em diâmetros acima de 200 mm. Conhecia-se muito bem sua resistência química, e o seu ótimo desempenho em instalações prediais de esgotos, eliminava qualquer dúvida quanto a sua viabilidade técnica. Restava conhecer, com deta-

lhes, seu desempenho mecânico, quando sujeito à cargas de terra, sem pressão interna, ou seja, seu trabalho como «tubo canal».

As recomendações estrangeiras sobre o particular, eram muitas vezes contraditórias e os critérios adotados em alguns casos eram pouco práticos, e por vezes impossíveis de serem absorvidos pela nossa realidade de campo.

Antes de se lançar este «tubo canal», havia necessidade de experimentá-lo nos nossos solos, nas nossas valas e acima de tubo com a nossa mão de obra. Dentro deste espírito, foi que no ano de 1969 iniciamos no Brasil uma série de experiências e aplicações piloto deste material.

5.1 — **Histórico das aplicações:**

5.1.1 — As primeiras aplicações dos tubos coletores foram feitas nos pátios de nossas fábricas em Joinville, ora conduzindo águas servidas, ora águas pluviais. Muitas destas linhas continuam em funcionamento, outras foram remanejadas devido ao crescimento da Empresa e outras sucumbiram, por desconhecimento da técnica de instalação, por recalque de terreno, por excesso de carga e outros. Estas experiências próprias, muito contribuiram para que sentissemos a impraticabilidade de certas recomendações de assentamento, importadas sem adaptações, e que ainda hoje são o termômetro da viabilidade prática das normas de instalação que propomos.

5.1.2 — Em fins de 1969, foram estabelecidos contatos com técnicos do DAE-Curitiba, visando a aplicação de tubos para esgoto em ruas centrais daquela capital, onde o DNOS iria executar obras de canalização de rio nas ruas Pedro Ivo e Voluntários da Pátria.

Previa-se na ocasião grandes problemas nessa obra e para a substituição da canalização de cerâmica existente no eixo da rua, o ideal seria duas canalizações laterais, nos passeios, de material que suportasse deformações apreciáveis, pois na rua executar-se-ia um canal de 4 meetros de largura por 4 a 5 metros de profundidade.

Em fevereiro de 1970, foram fornecidos 800 metros de tubos de 263 mm x 4,5 mm e 1.300 metros de tubos de 164 mm x 2,0 mm.

Tais tubos foram aplicados em profundidades que variaram de 2,00 a 4,50 m ao lado do canal que começava a ser aberto. O subsolo no local era constituido por argila orgânica de péssimas características mecânicas, e os tubos foram assentados sem grandes preocupações, pois previa-se muitas movimentações do subsolo e a execução de uma obra definitiva não teria muito sentido.

Com a abertura do canal, ocorreram muitos acidentes, devido às características do solo e da obra; diversos desmoronamentos de paredes, muros, passeio e até prédios inteiros tiveram que ser demolidos. Toda a área das imediações sofreu os efeitos da obra. Somente no começo de 1971 é que alguns trechos da linha começaram a não funcionar, demonstrando que os tubos estavam achatados. Até junho de 1971, foi substituido quase que a totalidade de tais tubos.

O excepcional desempenho destes tubos durante a construção do canal no ano de 1970, mostraram claramente as excelentes qualidades dos tubos de PVC rígido em condução de esgoto.

A retirada dos tubos achatados, provocou algumas reações da imprensa e de fabricante de outros materiais. Preocupados com isso, providenciamos um relatório completo do assunto (1), que contou com a colaboração do DAE-Curitiba (agora SANEPAR) e que rebateu essas pretenções puramente comerciais e políticas, desprovidas de fundamentos técnicos. Aqueles que ficaram sabendo que se construiu um canal no meio da rua e que ocorreram muitos acidentes, tiveram uma idéia diferente do problema: a verdadeira.

5.1.3 — Em maio de 1970, foram instalados num bairro de Campinas — SP 140 metros de tubos de DN 139 mm x 2,0 mm.

Essa instalação foi acompanhada pelo DAE — Campinas e pela Cia. Hansen Industrial. Foram apropriados tempos de instalação com muita riqueza de detalhes. Esse trabalho deu origem a um relatório (2) completo, onde se fez comparações com outro assentamento piloto em Bauru (maio-1970). Essa linha foi vistoriada em junho de 1971, quando mediu-se a ovalização e foram retiradas amostras dos tubos para ensaios. A linha continua em funcionamento.

Um aspecto não satisfatório da instalação, foi as inspeções que se deixou imediatamente sobre o selim, que transmitiram diretamente cargas de tráfego sobre os tubos, provocando ovalizações excessivas.

Essa observação fez com que se desenvolvesse um novo tipo de selim e novos sistemas para inspeção dos ramais prediais.

5.1.4 — E maio de 1970 foram executados aproximadamente 100,00 m de coletores de esgoto em Bauru — SP, com tubos de 164 mm x 2,0 mm. Foram apropriados tempos e consumo de material na instalação e os resultados estão em relatório (2). A linha foi vistoriada em 1972 e encontra-se em funcionamento.

5.1.5 — Em julho de 1970, foram fornecidos para o SAAE de Sorocaba, 500 metros de tubos DN 200 mm x 2,5 mm. Tais tubos foram instalados numa linha de despejos industriais agressivos. Devido à descargas em temperaturas acima do recomendável, aproximadamente 60 a 70°C, o trecho inicial da linha sucumbiu (mais aquecido) e foi substituido e destemperado com águas mais frias. O trecho final da linha encontra-se em funcionamento.

Essa aplicação despertou-nos para o problema da temperatura, e foram de grande utilidade as informações que recebemos do SAAE — Sorocaba — SP, neste sentido [20].

5.1.6 — Em outubro de 1970, fornecemos à Prefeitura Municipal do Balneário de Camboriú, 1938,00 m de tubos ovoidais Lathan HN 300 mm x 4,5 mm; 468,00 m de tubos DN 150 mm x 2,1 mm e 200,00 m de tubos DN 100 mm x 1,8 mm.

Tais tubos serviram na execução de um coletor tronco, em condições excepcionais. Declividade 0,002 m/m; em alguns trechos não há declividade, a água caminha por remanso; valas sem escoamento e em situação de areia movediça; profundidades mínimas de até 60 cm, com tráfego pesado transversal em ruas sem pavimentação. Os tubos de 150 mm foram utilizados na execução de um emissário à pressão, que injeta o efluente num rio.

O excepcional desempenho dessa aplicação, bem comprova as qualidades dos tubos de PVC rígido. Foram pela primeira vez utilizados os fundos de poços de visita em chapa de PVC rígido vacuum formada. A linha está em funcionamento e sobrecarregada nos piques que se verificam na época de temporada de verão. No restante do ano a secção ovoidal Lathan, mantém uma lâmina mínima excelente mostrando-se uma ótima solução.

5.1.7 — Em novembro de 1970 a Superintendência dos Serviços de Águas e Esgotos de Niterói, aplicou aproximadamente 100 metros de tubos de PVC rígido DN 150 mm x 2,1 mm, numa travessa particular da rua Lyons.

Os tubos foram assentados em profundidades médias de 1,20 m, numa rua com pouco tráfego. O solo em questão é argiloso.

Em 1972 efetuou-se uma inspeção na linha tendo-se constatado que se encontra em ótimas condições de funcionamento.

5.1.8 — Em abril de 1971, foram fornecidos à Prefeitura Municipal de Barrinha — SP 4.200 metros de tubos DN 100 mm x 1,8 mm; 5.700 metros de tubos DN 150 mm x 2,1 mm; 1.000 metros de tubos DN 200 mm x 2,5 mm e 400 metros de tubos DN 250 mm x 3,0 mm.

Em 5 meses de trabalho, com uma retro escavadeira e mão de obra local foram executados 6.200 metros de rede coletora e 500 ligações domiciliares.

As profundidades variaram de 1,5 m a 3,50 m e a tubulação encontra-se funcionando, sem ocorrência de nenhum problema com os tubos. Alguns selins, de um antigo modelo, sofreram ruptura, devido a recalques no ramal coletor predial, porém essas irregularidades já foram superadas [20].

5.1.9 — Em janeiro de 1971, foram fornecidos 1.000 metros de tubos DN 150 mm x 2,1 mm e 500 metros de tubos DN 100 mm x 2,0 mm para a execução de um coletor de esgotos na cidade de Garça — SP [20].

Uma parte da linha sofreu ruptura pois foi submetida à pressão. Para se vencer uma elevação, a tubulação enterrada foi utilizada para recalcar o esgoto. Nessas condições de serviço os tubos não suportaram muito tempo, porquanto são dimensionados para trabalhar a vazão livre e na condição contínua de trabalho à pressão, podem sucumbir dependendo dessa pressão e do tempo de uso. A tubulação foi substituida por tubos PBA série B com espessura de parede e juntas apropriadas para trabalhar à pressão, e encontra-se em perfeito funcionamento.

O restante da linha que trabalha em vazão livre continua em operação.

5.1.10 — Em março de 1971, foram fornecidos à Fundação SESP do Maranhão, 116 metros de tubos de DN 400 mm x 4,5 mm e 55 metros de tubos de DN 150 mm x 2,1 mm.

Os tubos de 400 mm foram utilizados para a condução dos despejos de uma estação de tratamento de água em São Luís.

No princípio de 1972, um trecho de 40,00 m da linha de 400 mm sucumbiu. A profundidade da vala no local era de 4,30 m e o solo utilizado no reaterro, uma argila expansiva sem condição de suporte [3].

De grande importância foram os informes dados pela FSESP sobre o problema, os quais permitiram um conhecimento ainda maior desses tubos. O solo em questão, mesmo com porcentagem de areia e bem compactado, quando encharcado perde toda a sua resistência e é expansível, e em função disso deu-se o acidente nos 40,00 m mais carregados. O restante dos tubos de 400 mm, bem como os de DN 150 mm estão em perfeito funcionamento.

5.1.11 — Em janeiro de 1971, foram fornecidos ao DAE de Poá — SP, 280 metros de tubos de DN 200 mm x 2,5 mm.

Tais tubos foram utilizados na execução de um emissário de esgoto, que despejava o efluente num rio.

A parte final do emissário, 130 metros, foi executada em terreno pantanoso a uma profundidade de aproximadamente 1,80 m, onde o solo é uma turfa.

Essa parte da linha sucumbiu, depois de aproximadamente 8 meses. A turfa sem condição de sustentação naquela profundidade, determinou o achatamento total dos tubos.

Esse trecho foi substituido em junho de 1972, por tubos ovoidais Lathan de HN 300 mm, que foram assentados com envolvimento total de areia, o que é recomendável para esse tipo de solo.

O comportamento dessa linha forneceu ótimos elementos para estudos, graças à colaboração do Eng.º Carletti da cidade de Poá, grande incentivador do perfil ovoidal [20].

5.1.12 — No período de 1970 a 1972, foram fornecidos ao DEMAE de Belo Horizonte, 350 metros de tubos DN 300 mm x 3,5 mm; 300 metros de tubos DN 200 mm x 2,5 mm; 400 metros de tubos DN 150 mm x 2,1 mm e 5.200 metros de tubos DN 100 mm x 1,8 mm.

Tais tubos foram utilizados em remanejamento e substituição de coletores de esgoto nas ruas centrais de Belo Horizonte. Numa das ruas de maior tráfego, a 1,50 m de profundidade, estão os tubos de 150 mm, envolvidos em areia, sem nenhum problema.

Houve um acidente com um trecho de tubulação de 200 mm, sendo a causa a pouca compactação e a parte mais danificada foi atingida por um desmoronamento da vala, pois essa não tinha escoramento. De grande importância foram os esclarecimentos recebidos do DEMAE de Belo Horizonte, sobre os particulares. Deve-se ressaltar que todas as ligações domiciliares de esgoto de Belo Horizonte, estão sendo executadas com tubos de PVC rígido DN 100 mm.

5.1.13 — Em agosto de 1971, foram fornecidos 1.500 metros de tubos de DN 200 mm x 2,5 mm; 1.500 metros de tubos de DN 150 mm x 2,1 mm e 2.000 metros de tubos de DN 100 mm x 1,8 mm, para a substituição de linha em material cerâmico, danificado no centro da cidade de Goiânia — Goiás.

Foram executadas algumas linhas durante a noite, com o esgoto em funcionamento e os resultados foram satisfatórios.

Em outros locais da cidade, também foram aplicados esses tubos, em profundidades variando de 2 a 3 metros e estão em boas condições de funcionamento.

5.1.14 — Em junho de 1971, foram fornecidos à Prefeitura Municipal de Cerquilho — SP, 2.360 metros de tubos DN 150 mm x 2,1 mm; 1.680 metros de tubos DN 200 mm x 2,5 mm.

Com esses tubos esta sendo construida a rede coletora de esgotos da cidade, e deverá entrar em operação ainda em 1972, quando terminarem as obras da estação de tratamento de esgotos.

Foram utilizados os fundos de poços de visita em chapa de PVC rígido, com sucesso. A aplicação desses tubos seguiu recomendações idênticas às deste trabalho, e nas diversas vistorias feitas e medidas de deformações diametrais dos tubos, pode ser constatado o ótimo desempenho. As profundidades de assentamento atingiram até 4,50 m [20].

5.1.15 — Em outubro de 1971, iniciamos o fornecimento de tubos de esgoto para o SAAE de Telêmaco Borba — PR, que já totalizou 1.200 metros de tubos DN 100 mm x 1,8 mm; 2.960 metros de tubos DN 150 mm x 3,0 mm e 1,350 metros de tubos DN 200 mm x 3,5 mm.

Com esses tubos e selins, executou-se a rede coletora de esgotos da cidade, que deverá entrar em operação até o final de 1972, quando terminarem as obras do emissário.

Foram utilizados nessas obras, o novo tipo de selim já dotado de uma cinta de borracha, que foi plenamente aprovado. As impressões e opiniões do SAAE, até o presente momento, são as melhores, ressaltando-se muito a facilidade de instalação e manuseio.

As profundidades de aplicação variam de 1,7 m a 3,5 m.

5.1.16 — Em dezembro de 1971, foram assentados no Quartel do 1.º Batalhão de Infantaria Blindada com sede em Barra Mansa, 300 metros de tubos ovoidais HN 300 mm x 4,5 mm.

Tais tubos recebem os despejos do quartel e preferiu-se o perfil ovoidal devido às grandes variações que se processam nas vazões, nesse tipo de rede coletora.

A profundidade de instalação variou de 1,20 m a 2,00 m, sendo que no local atuam cargas de roda de caminhões e tanques de guerra. Os tubos encontram-se em perfeito funcionamento.

5.1.17 — Em abril de 1972, foram fornecidos ao DNOS 47.000 metros de tubos DN 150 mm x 2,5 mm; 1.150 metros de tubos DN 200 mm x 3,3 mm; 3.600 metros de tubos DN 250 x 4,1 mm; 350 metros de tubos DN 300 mm x 5,0 mm; 1.800 metros de tubos DN 350 mm x 5,8 mm e 1.450 metros de tubos DN 400 mm x 6,6 mm. Tais tubos serão utilizados na execução da rede coletora de esgoto de Boa Vista no Território de Roraima. As recomendações para assentamento

desses tubos, já obedecem o conteúdo deste trabalho.

5.2 — **Primeiros resultados práticos:**

Após essa série de aplicações piloto, algumas delas em situação especial, outras em obras provisórias, pudemos delinear alguns pontos básicos que deveriam orientar a condução de uma futura especificação e norma de assentamento. Consideramos de grande importância os seguintes pontos básicos:

5 2 1 — Para o sucesso da instalação, é muito importante o envolvimento dado ao tubo. O assentamento adequado dos tubos é muito mais importante do que a espessura da parede. O tipo de solo que serve de berço e apoio lateral, praticamente determinam a resistência do tubo à compressão diametral.

5 2 2 — A determinação de se processar uma adequada compactação dos tubos, muito difundida no exterior, não é solução prática. Muitos executores, utilizando terrenos não compactáveis, ou que são compressíveis, exercem boa compactação lateral e a tubulação continua desprotegida.

É mais objetivo e prático aconselhar certos tipos de solos como base e envolvimento lateral, que dão essa proteção naturalmente, sem exigir muita compactação.

5.2.3 — Em solos turfosos, ou argila orgânica, a tubulação só deve ser assentada e envolvida totalmente em areia ou saibro. O berço deve ser desse mesmo material, e em casos excepcionais, executar o berço de concreto sobre estacas, mas o envolvimento do tubo deve continuar sendo de areia ou saibro. Não é aconselhável seu envolvimento total em concreto.

5.2.4 — A fiscalização dos trabalhos de assentamento, deve ser feita pelo próprio instalador que executa as juntas soldadas, e que deve ser homem do Departamento de Água e Esgoto em questão. Ao empreiteiro, deve-se confiar apenas o trabalho de abertura das valas, nivelamento e reaterro dos tubos; o assentamento deve ficar a cargo do DAE, que fiscaliza o envolvimento inferior e lateral do tubo.

5.2.5 — A mão de obra envolvida no assentamento desses tubos, aceitam-no com grande facilidade. Ao contrário dos tubos de PVC à pressão e dos tubos de instalação predial, a colaboração do homem para com esses tubos é notável. O fato deles serem flexíveis e não quebrarem facilmente dá enorme confiança inicial. Não se nota qualquer indício de depredação ou sabotagem. Não há dificuldade em se preparar a mão de obra do assentamento e reaterro.

5 2.6 — A junta soldada é excelente para tais tubos. Não há necessidade de testes de estanqueidade e a sua excução deve ficar a cargo de um homem especializado, do DAE, e que fiscaliza o envolvimento inferior e lateral do tubo. O custo de cada junta é desprezível e essa mão de obra qualificada para a sua execução deve também ser aproveitada na fiscalização do reaterro. É possível a execução de juntas soldáveis em valas inundadas, em situação de areia movediça, com chuva, com esgoto em funcionamento e outras situações críticas.

Tudo depende da habilidade de um homem, convenientemente treinado. Cada junta, até o diâmetro de 400 mm, necessita de apenas 1 instalador, os outros são ajudantes para o esforço na operação de encaixe.

5 2 7 — A maioria dos valadores que trabalham com PVC rígido, não o faz com escoramento de valas, devido ao curto tempo que elas ficam abertas, e a grande velocidade de instalação.

Em decorrência disso, não se deve esperar que os encarregados do envolvimento lateral, compactem bem o terreno, pois temem desmoronamentos, pelo que é preferível o uso de solos arenosos para esse envolvimento, cuja compactação pode ser feita simplesmente regando-se com água.

5.2.8 — Para um perfeito desempenho dos tubos de PVC rígido como coletores de esgoto, há necessidade de se estabelecer uma Norma Técnica de Instalação, não rigorosa como é o primeiro pensamento de quem começa no problema, mas perfeitamente adaptada a realidade de campo dentro da nossa estrutura. A Especificação Técnica do Material, bem como os Métodos de Ensaios, são fáceis de se fazer cumprir, pois a indústria está aparelhada para isso: qualquer rigor excessivo aqui não irá resolver problemas de aplicação que são devido a falta de informações, treinamento de pessoal, fiscalização e dispositivos que responsabilizem a execução.

5.2.9 — A colocação de tubos de grandes diâmetros, 300 mm até 500 mm, exigem cuidados especiais com relação ao envolvimento. Para estes tubos, valas muito estreitas não são tão vantajosas como determinam os peritos no assunto. É preferível uma vala mais larga e um envolvimento lateral muito bem feito do tubo. A outra solução é a de se executar uma vala estreita dentro de uma mais larga, onde se aco-

moda o tubo. Esta solução é preferível a uma vala totalmente estreita.

5.2.10 — As cargas de roda provocadas pelo tráfego são pequenas em comparação com as cargas de terra. A grande flexibilidade dos tubos diminui muito o fator de impacto dessas cargas, que pode ser considerado a unidade para a maioria dos casos. Geralmente os tubos são assentados em profundidades maiores que 1,50 m, onde as cargas de roda são bastante reduzidas. Em casos especiais de travessias, o importante da proteção é não eliminar a flexibilidade do tubo, daí deve-se preferir uma laje superior e um envolvimento total do tubo com areia grossa, solo-areia ou solo-cimento. Deve-se evitar o envolvimento em concreto, pois este elimina a flexibilidade do tubo. Os tubos flexíveis não sentem muito as cargas de roda, ao contrário dos tubos rígidos: não devemos esquecer essa diferença.

5.2.11 — Os tubos de PVC rígido não devem receber despejos a temperaturas maiores que 40°C. Essa determinação é muito importante para os despejos industriais, que geralmente são em grandes quantidades. Estes provocam dilatações diferenciais nos tubos, com possíveis rupturas e deformações. A legislação proibe despejos com temperaturas maiores que 40°C, e deve ser posta em prática com rigor (4 e 5). Existem tubos de plástico (fibra de vidro poliéster, polietileno, polipropileno, acrinolonitrilo butadieno estireno, PVC clorado) próprios para despejos industriais aquecidos, que podem solucionar os problemas de qualquer indústria. Aconselha-se em casos especiais e perigosos, adotar-se um trecho coletor da indústria em tubos de PVC rígido em situação de viga, dentro de uma caixa de inspeção, que funciona como «fusível» de proteção da linha enterrada: um despejo fora da especificação rompe o «fusível», e não atinge a linha.

5.2.12 — A velocidade de escoamentoé grande nos tubos, o que facilita a sua auto-limpeza. Não se deve preocupar com o desgaste destes à abrasão, pois o PVC resiste bem ao transporte de areia em suspensão aquosa (6).

5.2.13 — O selim para ser soldado sobre o tubo, exige muita pressão, que só pode ser dada por uma cinta própria para isso. A utilização de selins sem a cinta (menos onerosos) como é feita nos países desenvolvidos (7 e 8) é muito duvidosa, pois exigem de qualquer forma uma braçadeira até o final da soldagem, o que no campo ninguém usa. Entre nós podemos afirmar que o tipo correto é com cinta já incorporada e que já exerça a pressão necessária para a soldagem.

A utilização de Tee de redução nas derivações só deve ser feita em redes novas. Nas ligações futuras com a linha em funcionamento, deve-se optar pelo selim.

5.2.14 — As conexões especiais devem ser utilizadas sempre de preferência ancoradas e se possível totalmente envolvidas em concreto (ao contrário dos tubos). As conexões não tem a mesma flexibilidade dos tubos, daí a necessidade do reforços. As forças de desvio da corrente de fluxo, devem ser absorvidas pela ancoragem e não pela conexão. Para sifões invertidos, travessias, casas de bombas, estações de tratamento de esgotos, etc., dever-se-á optar por tubos e conexões de PVC para pressão, com junta soldada, flangeada ou elástica. A prática determina que as conexões devem ser com bolsas. No caso de tubos de PVC rígido, o sentido do fluxo não tem influência na colocação da bolsa voltada, a favor ou contra o fluxo. Internamente a emenda é a mesma e imperceptível (lembrar que a ponta do tubo é chanfrada e o fundo da bolsa é cônico). Com essa medida aproveita-se qualquer pedaço de tubo de pontas lisas, e economiza-se luvas e juntas.

5.2.15 — O sistema de se colocar uma inspeção imediatamente acima do selim em redes no passeio, não é aconselhável para tubos de PVC rígido. O tubo vertical de inspeção transmite carga eventual de roda, diretamente ao tubo horizontal, provocando ovalização acentuada. Os tubos verticais para inspeção devem ser dotados de dispositivos, para absorver tais esforços e não transmití-los ao tubo horizontal.

5.2.16 — O transporte e o empilhamento dos tubos é importante, pois essas operações, mal executadas, podem provocar ovalizações excessivas nos tubos a ponto de dificultar a soldagem e o próprio assentamento. Não deve ser admitida a sua descarga ao lado de valas, atirando-se os tubos do veículo. O peso reduzido e a flexibilidade do material, as vezes encorajam tais atitudes que não devem ser praticadas. Deve-se pensar numa norma técnica de empilhamento, mais voltada à realidade de campo, do que rigorosa e inconseqüente.

5.2.17 — A velocidade no assentamento desses tubos é realmente elevada e exige mudanças na estrutura da equipe que a executa, para se desfrutar dessa vantagem. Trabalhando-se com retro escavadeira ou valetadeira, o rendimento é grande, o assentamento pode vir na seqüência e o reaterro em seguida. Esse método as vezes

acarreta erro de nivelamento, que dentro de limites razoáveis é perfeitamnt admissível. Caso a execução da junta seja feita por profissional responsável é totalmente desnecessário um teste de estanqueidad, pois a junta soldada resulta numa linha monolítica. Ondulações longitudinais não muito exageradas podem ser admitidas, devido à flexibilidade dos tubos e continuidade das juntas. O teste do espelho, deve ser revisto para esse tipo de tubo. O teste da fumaça, é totalmente desnecessário. O mesmo deve-se dizer do teste de infiltração. O controle importante é o do envolvimento inferior e lateral dos tubos.

5.2.18 — Os tubos de PVC rígido permitem um barateamento na execução das redes coletoras, para uma mesma qualidade. Para se conseguir demonstrar isso, é necessário a ponderação de diversos fatores mensuráveis, que geralmente não são postos a discutir em concorrências públicas e tomadas de preço. Mesmo com tubulações cerâmicas, executadas com junta cimentada (não recomendável pela boa técnica). O PVC rígido nos casos normais de aplicação, leva vantagem. Nos casos especiais de solos, lençol freático, trânsito, etc., a vantagem do PVC é considerável. Um fator determinante para a pequena comunidade é que a mão de obra especializada para a execução da linha pode ser local e do próprio DAE. Esse fator, os estudos de viabilidade econômica, geralmente muito teórico, dificilmente ponderam. O mesmo se diz sobre a fiscalização dos trabalhos e principalmente sobre os custos do recebimento do material correto e dentro das exigências. Controlar a qualidade de tubos de PVC rígido é simples. A comparação de custos deve ser feita dentro do mesmo padrão de qualidade do serviço acabado, que julgamos deva ser o mínimo para que a rede funcione 20 anos.

5.2.19 — Com tubos de PVC rígido é possível novos conceitos de projeto de redes coletoras de esgotos. Tubos horizontais funcionando por remanso, parece-nos uma ótima solução para cidades praianas, onde sempre é necessário estações intermediárias de elevação. É muito mais barato aumentar um diâmetro do que escavar metros de lama, areia, abaixo do lençol freático. Núcleos residenciais com sua população final definida poderiam ser dotados de tubulações menores e as contribuições reunidas numa única caixa, onde uma linha de recalque por tubo à pressão é um emissário de baixo custo. Lagoas de oxidação poderiam receber o esgoto em diferentes pontos, utilizando-se tubos de PVC à pressão. Com tubos Poliester e Fibra de Vidro, e tubos Polietileno Duro em espiral, os sifões invertidos podem dispensar as vultuosas obras de concreto armado. Tudo isso depende de uma grande parcela de trabalho e espírito pioneiro dos projetistas.

5.2.20 — Há necessidade de uma divulgação detalhada e honesta dos problemas do plástico e sintéticos em geral para que os responsáveis pela especificação possam ponderar com exatidão. A reação dos materiais tradicionais deverá ser grande e estará sempre procurando divulgar o insucesso. Qualquer trabalho, por mais técnico e científico que seja, deverá levar em consideração também este ponto básico.

5.3 — **Experiências de laboratório:**

Os pontos básicos analisados no 5.2 não solucionam totalmente os problemas, pois foram retirados de experiências práticas de campo e não tem uma sistemática muito científica, que deve ser parte integrante de qualquer proposição.

Baseados nisso, em setembro de 1971, iniciamos uma série de experiências e estudos teóricos para definir pelo método científico uma solução para o primeiro ponto básico que julgamos o mais importante, a relação espessura de parede, tipo de assentamento.

Neste 5.3 descreveremos o que foi feito, a custa de muito sacrifício, mas incentivados pelos resultados positivos alcançados. No 5.4 comparamos os nossos resultados com o que existe no exterior sob um aspecto crítico e levando em conta nossa realidade de campo.

5.3.1 — Equipamento utilizado nos ensaios:

Para o estudo experimental da relação assentamento, espessura da parede dos tubos, foi construido um equipamento de ensaios, que pode ser observado nas figuras 5.1 e 5.2.

Na «vala» artificial do equipamento, é assentado o tubo, com 3 metros de comprimento. Suas extremidades permanecem livres e permitem ao operador observar e medir as ovalizações internas. A carga é dada pelo macaco hidráulico e pode alcançar até 50 t, o que equivale a aproximadamente 50.000 Kgf/m^2 sobre a geratriz superior do tubo, de carga máxima.

A figura 5.3 é uma vista geral da instalação, com tubo pronto para o ensaio. Na figura 5.4 pode-se observar os diferentes tubos que foram ensaiados, assim como as manilhas cerâmicas que foram utilizadas em ensaios comparativos.

Foram realizados mais de uma centena de ensaios.

5.3.2 — Modelo teórico:

Os ensaios realizados, foram imaginados para reproduzir a situação prática da figura 5.5.

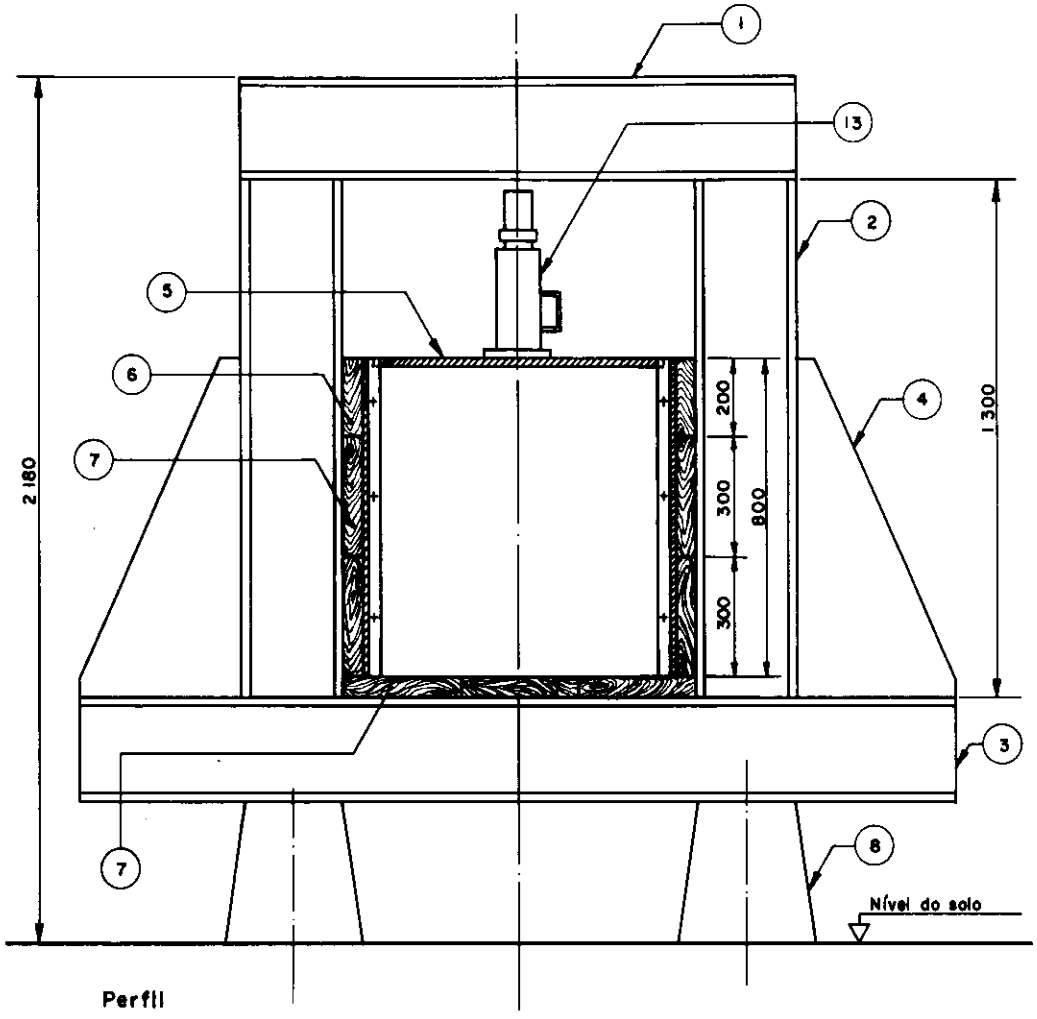


Fig. 5.1

Nº	MATERIAL	Quant.	Compr. Bruto m
1	Viga I 10" x 4.5/8" x 1420 - alma = 15,09	1	1 430
2	Viga I 10" x 4.5/8" x 1300 - alma = 15,09	2	2 620
3	Viga I 10" x 4.5/8" x 2260 - alma = 15,09	3	6 810
4	Chapa de ferro - esp. = 10	6	
5	Chapa de ferro - 760 x 700 x 19,05	1	
6	Prancha de madeira 200 x 50 x 3000	2	6 050
7	Prancha de madeira 300 x 50 x 3000	7	21 070
8	Sapata de concreto	6	
9	Chapa de ferro 50 x 10 x 920	2	1 860
10	Chapa de ferro 50 x 10 x 920	6	
11	Cantoneira 1.1/2" x 3/16" x 800	4	3 220
12	Viga I 10" x 4.5/8" x 850 - alma = 15,09	4	4 220
13	Macaco - até 50 t.	1	

Dimensões em mm

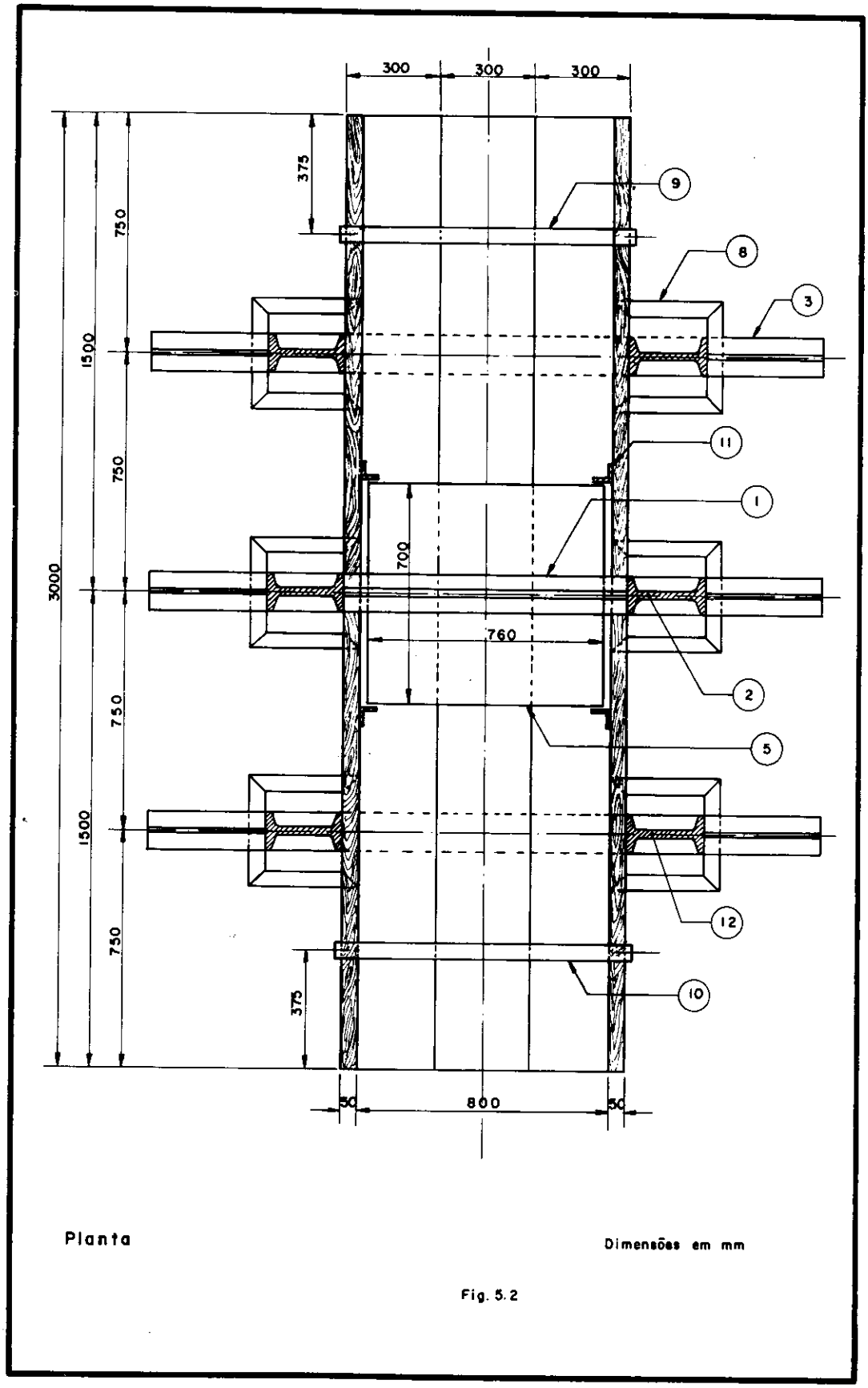

300
300
300
375
750
1500
750
3000
750
1500
750
375
700
760
9
8
3
11
1
2
5
12
10
50
800
50
Planta
Dimensões em mm

Fig. 5.2

Fig. 5.3

Fig. 5.4

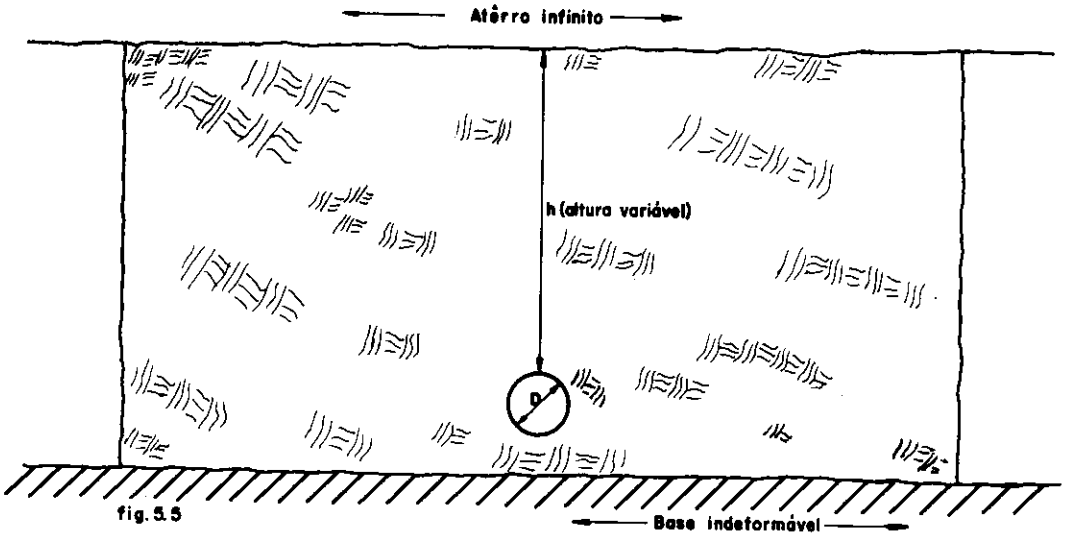


fig. 5.5

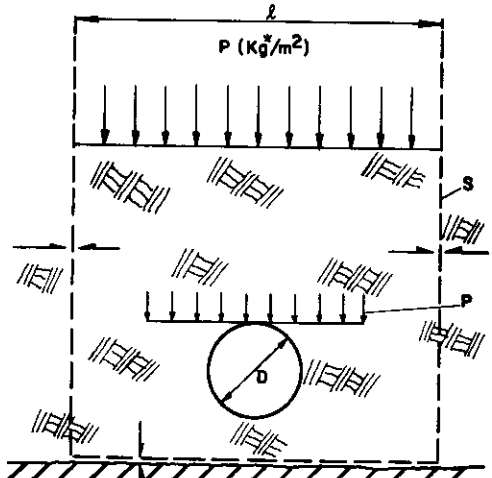
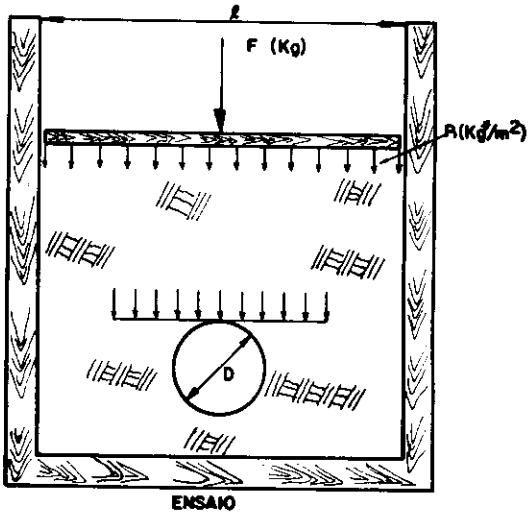


fig. 5.6 SITUAÇÃO PRÁTICA



ENSAIO

Observando o tubo sujeito às ações do solo, nesse aterro de altura variável, podemos efetuar as aproximações da figura 5.6, sem muitas distorções, desde que as dimensões em jogo sejam da ordem de 3 a 4 D.

Ao longo da superfície S não existem deslocamentos nos sentidos indicados pelas setas, para qualquer h. Isso equivale à superfície da «vala» artificial e o valor da força F de alguma forma é função de h, assim como o valor da pressão P.

No sentido longitudinal a situação será um pouco diferente, conforme podemos observar na figura 5.7 (a e b). Devemos desprezar os esforços de tração no tubo e também de flexão. No trecho de comprimento C pode-se considerar a pressão P_2 no sentido vertical. Essa pressão pode ser vista na figura 5.6. Para que uma situação prática seja reproduzida aqui, a pressão P deverá ser igual à pressão P_2, que é a pressão imediatamente acima da geratriz do tubo, pressão esta que pode ser calculada por inúmeros processos clássicos, levando em conta a largura da vala, profundidade da vala, tipo de solo, tubo rígido, tubo flexível, etc.

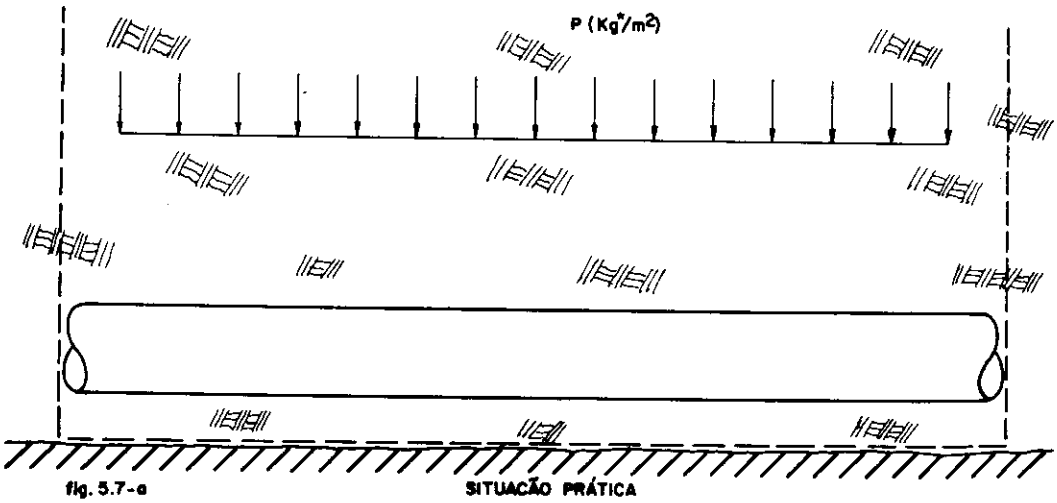


fig. 5.7-a SITUAÇÃO PRÁTICA

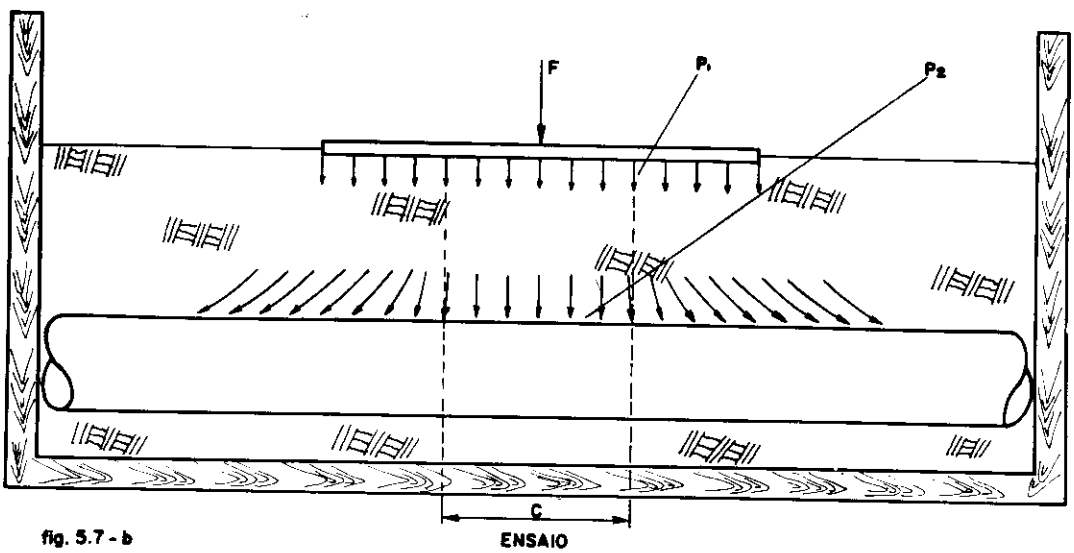


fig. 5.7-b ENSAIO

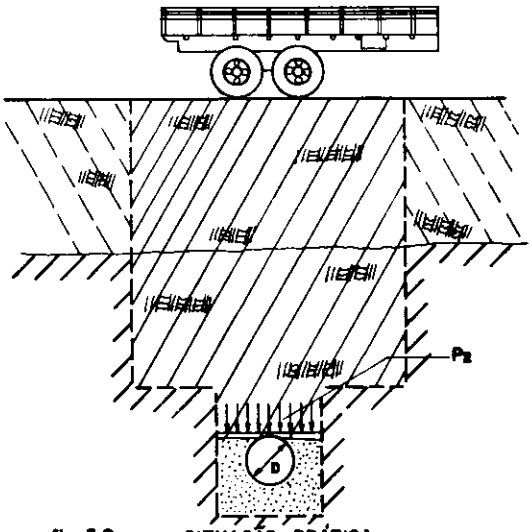
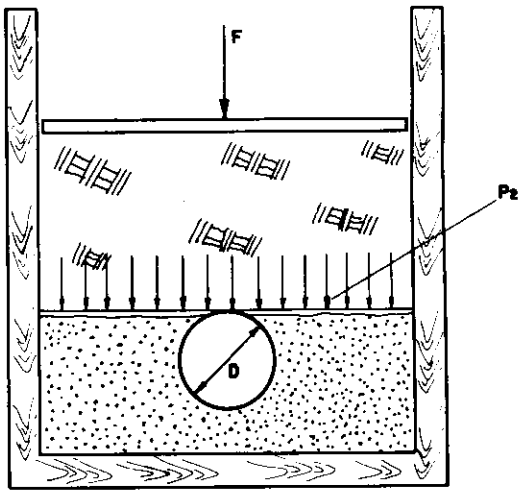


fig. 5.8 SITUAÇÃO PRÁTICA



ENSAIO

O equipamento que construimos procura igualar o número que mede os Kg* de força (F) no macaco, com a pressão na geratriz superior do tubo em Kg*/m² (P_2).

Assim para uma força F = 6.000 Kg* a pressão na geratriz superior do tubo é aproximadamente P_2 = 6.000 Kgf/m². Essa dependência foi medida utilizando-se uma bolsa de borracha com água e conferiu.

Assim, por exemplo, imaginemos a situação prática da figura 5.8. A pressão P_2 pode ser calculada por processos já bastante conhecidos e divulgados (9). O detalhe do fundo da vala pode ser reproduzido em (b). Evidentemente que a pressão P_2 deve ser a mesma.

No ensaio de manilhas, no centro da «vala» foi sempre deixado uma junta, ou ponta bolsa, ou ponta ponta, para evitarmos os esforços de flexão e de tração que são preponderantes para esse material. Para os tubos de PVC isso não faz diferença como constatamos.

Como pode-se observar, procuramos fixar os ensaios na compressão diametral pura.

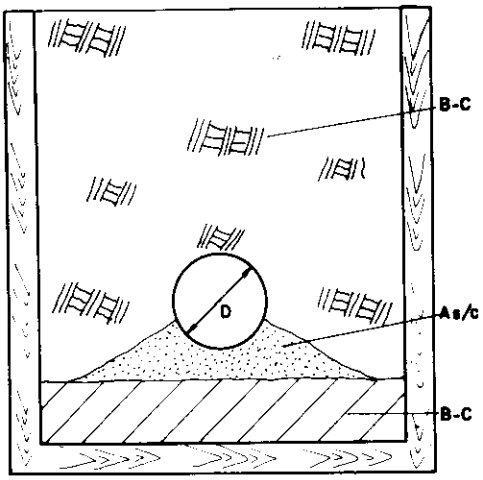


fig. 5.9

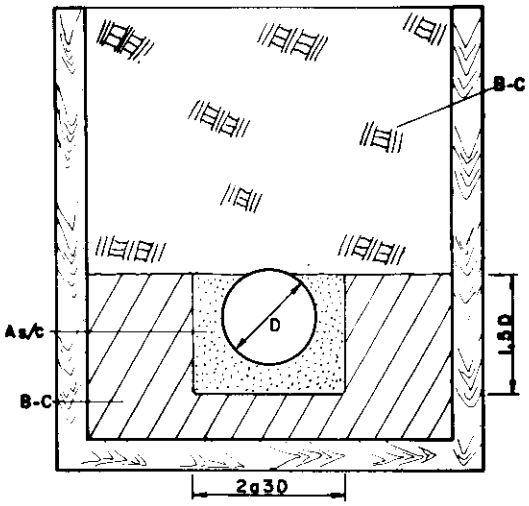


fig. 5.10

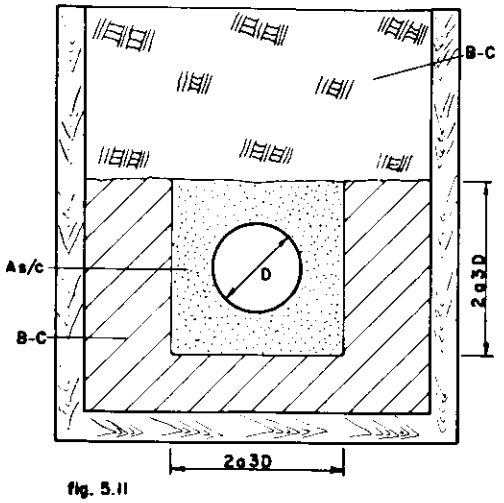


fig. 5.11

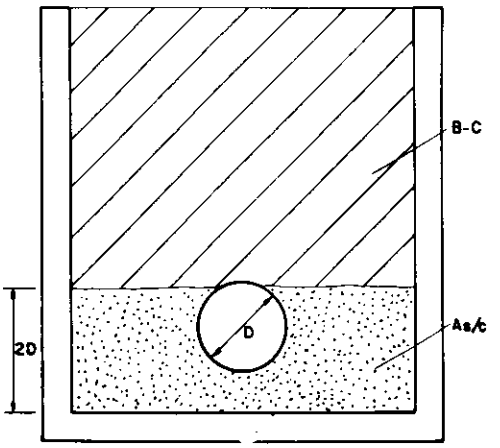


fig. 5.12

5.3.3 — Ensaios realizados:

Relação dos ensaios, realizados em Joinville no período de setembro de 1971 a julho de 1972.

Orientação e acompanhamento: Eng.º Adil Calomeno, Eng.º Fábio Castelo Branco e Eng.º Wilson Passeto. Ajundantes: Sr. João de Macena e Sr. Orlando Brumer.

TABELA 5.1

Número	Data	Solo	Assentamento	Material	Bitola	Relação D/e	Espessura da Parede	Sigla
—	—	—	—	—	mm	—	mm	—
001	19.10.71	B	c	MB	150		—	
002	20.10.71	B	ce	PVC	H 180		2,0	
003	21.10.71	B	s/c	PVC	150		3,0	
004	21.10.71	B	s/c	PVC	150		2,1	
005	22.10.71	B	s/c	PVC	H 180		2,0	
006	01.12.71	B	c	PVC	150		3,0	
007	05.01.72	B	c	PVC	150		3,2	
008	05.01.72	A	c	MB	150		—	
009	06.01.72	A	c	PVC	H 300		3,9	
010	06.01.72	A	c	PVC	250	77	3,2	△
011	07.01.72	B	c	PVC	250	77	3,2	○
012	07.01.72	B	s/c	PVC	H 180	44	3,4	○
013	10.01.72	B	c	MB	150		—	
014	10.01.72	B	c	MB	200		—	
015	11.01.72	A	c	MB	150		—	
016	11.01.72	A	c	MB	300		—	
017	11.01.72	B	c	PVC	H 180	44	3,4	●
018	12.01.72	A	s/c	PVC	150	72	2,1	△
019	12.01.72	A	c	PVC	150	72	2,1	△
020	13.01.72	B	c	PVC	150	72	2,1	●
021	13.01.72	B	s/c	PVC	150	72	2,1	○
022	14.01.72	A	s/c	PVC	150	60	2,5	△
023	14.01.72	B	s/c	PVC	150	60	2,5	○
024	17.01.72	B	c	PVC	150	47	3,2	●
025	17.01.72	A	c	PVC	150	47	3,2	△
026	18.01.72	B	c	PVC	150	44	3,4	●
027	18.01.72	A	s/c	PVC	200	53	3,8	△
028	19.01.72	B	s/c	PVC	200	53	3,8	○

TABELA 5.1 (Continuação)

Número	Data	Solo	Assentamento	Material	Bitola	Relação D/e	Espessura da Parede	Sigla
—	—	—	—	—	mm		mm	—
029	19 01.72	A	c	PVC	250	77	3,2	△
030	20 01.72	A	c	PVC	250	77	3,2	△
031	20.01.72	B	c	PVC	250	77	3,2	O
032	21.01.72	A	c	PVC	250	74	3,4	△
033	24 01 72	B	s/c	PVC	H 180	44	3,4	O
034	24 01 72	A	s/c	PVC	H 180	44	3,4	△
035	25 01 72	B	s/c	PVC	H 180	72	2,1	O
036	25 01 72	B	c	PVC	H 180	72	2,1	●
037	02 02 72	B	s/c	MB	200		—	
038	02 02 72	B	s/c	MB	250		—	
039	03.02.72	B	s/c	MB	300		—	
040	04.02.72	B	s/c	PVC	150	60	2,5	O
				MB	150		—	
041	04.02.72	A	s/c	PVC	150	60	2,5	△
				MB	150		—	
042	07.02.72	A	s/c	PVC	H 300	77	3,2	△
				MB	ø 250		—	
043	08.02 72	A	s/c	PVC	250	83	3,0	△
				MB	250		—	
044	08 02.72	A	s/c	PVC	250	57	4,4	△
				MB	250		—	
045	09.02.72	B	s/c	PVC	H 300	77	3,2	O
				MB	ø 250		—	
046	10 02 72	B	s/c u	PVC	250	83	3,0	O
047	10.02 72	B	s/c u	PVC	250	57	4,4	O
048	11 02 72	B	s/c u	PVC	H 300	77	3,2	O
049	11 02 72	B	s/c u	PVC	H 300	64	3,9	O
050	14 02 72	B	s/c u	PVC	H 180	44	3,4	O
051	14 02 72	B	s/c u	PVC	450	100	4,5	O
052	15.02 72	B	s/c	PVC	300	57	5,3	O
053	15 02 72	B	s/c u	PVC	300	86	3,5	O
054	16.02.72	B	s/c u	PVC	300	57	5,3	O
055	20 02 72	A	s/c	PVC	450	100	4,5	△
056	22 02 72	A	s/c	PVC	300	86	3,5	△
057	22 02 72	B	3	PVC	150	72	2,1	v
058	23 02 72	B	2	PVC	150	72	2,1	+
059	23.02 72	B	2	PVC	200	80	2,5	+
060	24 02 72	B	s/c	PVC	200	80	2,5	O
061	24.02.72	B	s/c	PVC	200	81	2,5	O
062	24 02 72	B	s/c	PVC	200	44	4,5	O
063	25.02.72	B	s/c	PVC	H 180	60	2,5	O
064	25 02 72	B	2	PVC	H 180	60	2,5	+
065	26.02.72	B	2	PVC	H 300	64	3,9	+
066	28.02.72	B	s/c	PVC	H 180	50	3,0	O
067	29 02 72	B	2	PVC	H 180	50	3,0	+
068	29.02.72	B	2	PVC	H 180	72	2,1	+
069	01.03.72	C	2	PVC	H 180	60	2,5	+
070	02.03.72	C	3	PVC	150	60	2,5	v
071	02.03 72	C	2	PVC	150	60	2,5	+
072	03.03.72	C	s/c	PVC	150	60	2,5	O
073	06 03 72	C	s/c	PVC	200	60	3,3	O
074	07 03.72	C	s/c	PVC	250	50	5,0	O
075	07.03.72	C	2	PVC	250	50	5,0	+
076	08.03.72	C	2	PVC	200	60	3,3	+
077	08.03.72	C	4	PVC	350	60	5,8	□
078	10 03.72	C	4	PVC	400	57	7,0	□
079	13.03.72	C	s/c	PVC	400	57	7,0	O
080	13.03.72	C	2	PVC	250	61	4,1	+
081	14.03.72	C	s/c	PVC	350	58	6,0	O
082	15.03.72	C	s/c	PVC	250	41	6,1	O
083	15.03.72	C	s/c	PVC	250	61	4,1	O

TABELA 5.1 (Continuação)

Número	Data	Solo	Assentamento	Material	Bitola	Relação D/e	Espessura da Parede	Sigla
—	—	—	—	—	mm	—	mm	—
084	16.03.72	C	2	PVC	250	41	6,1	+
085	16.03.72	C	2	PVC	200	44	4,5	+
086	17.03.72	C	2	PVC	200	53	3,8	+
087	17.03.72	C	2	PVC	250	57	4,4	+
088	20.03.72	C	2	PVC	150	44	3,4	+
089	20.03.72	C	2	PVC	150	47	3,2	+
090	21.03.72	C	s/c	PVC	250	57	4,4	O
091	22.03.72	C	s/c	PVC	200	44	4,5	O
092	22.03.72	C	s/c	PVC	200	53	3,8	O
093	23.03.72	C	s/c	PVC	150	44	3,4	O
094	23.03.72	C	s/c	PVC	150	47	3,2	O
095	24.03.72	C	s/c	PVC	H 300	66	3,8	O
096	28.03.72	C	2	PVC	250	57	4,4	+
097	30.03.72	C	s/c	PVC	300	79	3,8	O
098	04.04.72	C	s/c	PVC	250	41	6,1	O
099	04.04.72	C	2	PVC	250	41	6,1	+
100	10.04.72	C	2	PVC	250	57	4,4	+
101	13.04.72	C	2	PVC	H 180	44	3,4	+
102	14.03.72	C	2	PVC	200	44	4,5	+
103	17.04.72	A	s/c	PVC	200	53	3,8	△
104	18.04.72	A	s/c	PVC	200	44	4,5	△
105	18.04.72	A	s/c	PVC	250	41	6,1	△
106	19.04.72	A	s/c	PVC	150	47	3,2	△
107	19.04.72	A	s/c	PVC	150	44	3,4	△
108	26.04.72	A	s/c	PVC	150	72	2,1	△
109	13.06.72	C	2	PVC	200	80	2,5	□
110	14.06.72	C	4	PVC	200	60	3,3	+

CONVENÇÃO

Definição:	Sigla
1 — solo (ver análise dos solos)	
Areia (Corveta)	A
Argila vermelha (Xavantes)	B
Argila vermelha modificada (Xavantes)	C
2 — Condições de assentamento	
Solo sem compactação	s/c
Solo simplesmente acalcado com os pés do operador, sem uso de soquete.	
Solo compactado	c
Solo compactado com soquete, em camadas de 15 cm.	
Solo úmido	u
Solo umedecido artificialmente durante e após o assentamento.	
Solo encharcado	e
Solo com excesso de umidade devido à chuvas ou conseguido artificialmente.	
Assentamentos especiais	
Berço de areia (ver Fig. 5.9)	1
Berço e envolvimento lateral de areia (ver Fig. 5.10)	2
Berço e envolvimento lateral e superior de areia (ver Fig. 5.11)	3
Apoio total de areia (ver Fig. 5.12)	4

ANALISE DOS SOLOS

Solos	Amostra	Granulometria (% passando)					Limites de consistência		IP	IG	Observações
		1"	3/8"	n.º 10	n.º 40	n.º 200	LL	LP			
Areia Corveta	n.º 1	—	—	100,00	97,48	2,54					Areia Clara Lavada
A	n.º 2	—	—	100,00	97,63	2,69					
B	n.º 1	—	—	99,60	89,80	72,50	53,2	29,9	23,3	15,5	Amostra Clara
Argila Vermelha (Xavantes)	n.º 2	—	—	99,50	89,40	72,20	53,80	30,9	22,9	15,6	
C	n.º 1	100,00	98,42	96,20	85,81	28,15	22,4	16,2	6,2		
Argila Vermelha Modificada (Xavantes)	n.º 2	98,39	97,43	95,25	85,54	29,03	21,1	13,9	7,2		

5.3.4 — Descrição de um ensaio:

Com a finalidade de elucidar melhor as experiências realizadas, descreveremos aqui o ensaio n.º 110. Este ensaio foi acompanhado de medidas de pressão na geratriz superior do tubo e de fotos nas suas diversas fases.

Os gráficos que apresentaremos no final, foram levantados para cada um dos ensaios realizados e não reproduziremos neste trabalho, devido ao seu enorme volume, porém observando-se o gráfico correspondente a esse ensaio, permite uma visualização do que foi feito com os demais.

Ensaio n.º 110

Data: 14.06.72

Solo: c (vide convenção)

Tipo de assentamento: 2 (vide Fig. 5.10) (berço e envolvimento lateral de areia)

Tubo: PVC rígido

Diâmetro: ø 200 mm

Espessura de parede: e = 3,3 mm

Relação D/e = 60

As figuras permitem observar melhor a preparação do ensaio.

Fig. 5.13 — Estende-se sobre o fundo da vala artificial uma camada de aproximadamente 45 cm, compactada em camadas de 15 cm.

Fig. 5.14 — Abre-se uma valeta de aproximadamente 60 cm de largura por 30 cm de altura.

Fig. 5.16 — A geratriz superior do tubo fica rente ao terreno e na região do carregamento coloca-se uma bolsa de borracha com água dotada de um tubo para transmissão da pressão.

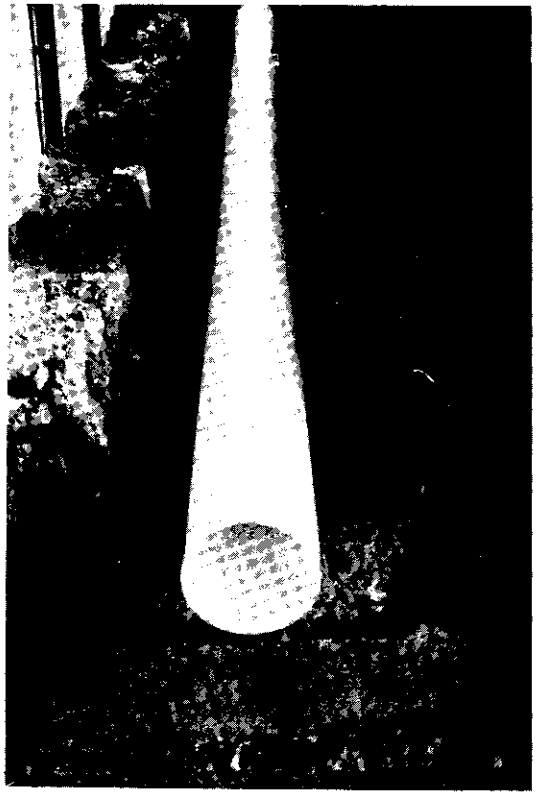
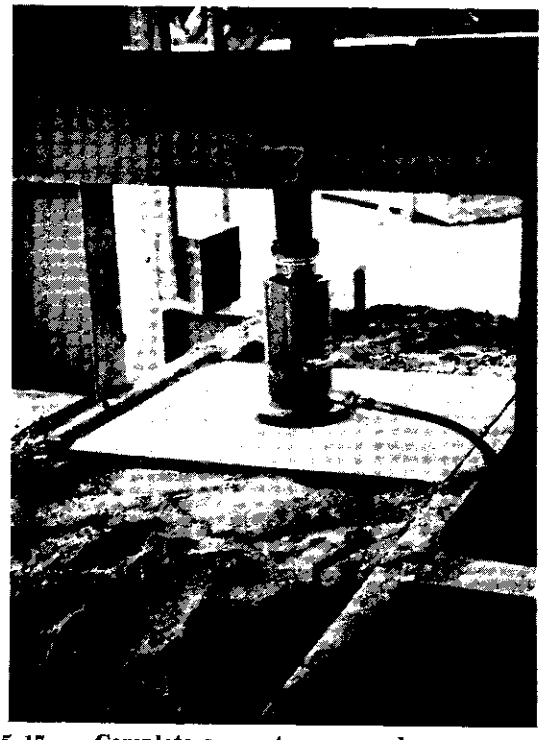


Fig. 5.15 — Sobre um berço de areia compactada, é colocado o tubo e em seguida a valeta é completada com areia.



5.17 — Completa-se o aterro com leve compactação, coloca-se a placa de aço e o macaco hidráulico.

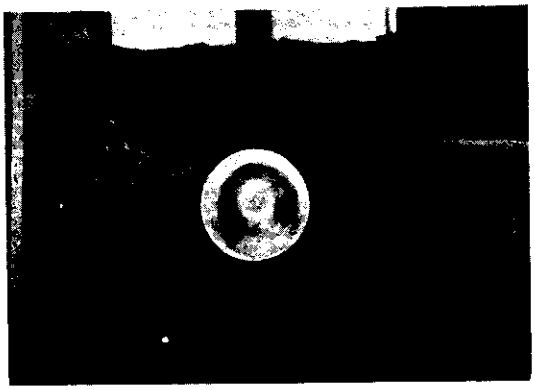


Fig. 5.18 — O tubo fica na posição de carga, e pelas extremidades pode-se observar a área que será carregada.

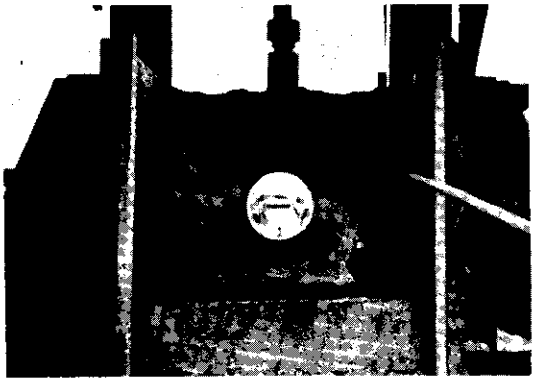


Fig. 5.19 — Para cada tonelada aplicada pelo macaco, mede-se a pressão na bolsa de borracha e a deformação diametral interna do tubo. Na figura pode-se observar o grande recalque que o carregamento produziu.

No gráfico da figura 5.20, pode-se observar a carga do macaco em toneladas, contra a porcentagem de ovalização do tubo.

O gráfico da figura 5.21, tem-se o mesmo gráfico, porém relacionando a pressão imediatamente acima do tubo, contra a mesma porcentagem de ovalização.

Das figuras 5.20 e 5.21, pode-se observar a correspondência entre a carga do macaco em Kg*/m², confirmando os cálculos que orientaram a construção do equipamento de ensaios.

A borracha colocada sobre o tubo, altera um pouco o ensaio e por isso essas medidas de pressão não foram realizadas com todos os ensaios.

Cada ensaio durava em média 4 horas, e cada vez a «vala» era carregada e descarregada completamente de solo, repetindo-se a condição prática onde se trabalha com solo amolgado.

5.4 — **Análise dos resultados:**

5.4.1 — Critério da resistência:

Analisando-se os resultados, baseados no critério da resistência dos materiais, encontramos muitas situações indeterminadas. A distribuição das cargas, a inter-relação tubo x solo envolvente, é abordada por critérios muito simplificados, pois na prática esses elementos variam enormemente, sendo praticamente impossível uma descrição teórica que pudesse explicar todas essas variações.

Para sermos mais claros, abordaremos alguns pontos básicos que norteiam o critério de dimensionamento dos alemães [10 e 11].

1 — O dimensionamento dos tubos é feito, utilizando-se os conceitos da resistncia dos materiais, como momento fletor, tensão admissível de flexão, estrapolando o que se conhece para tubos rígidos.

2 — O cálculo das cargas atuantes adota as hipóteses de tubo flexível e é baseado no sistema de assentamento de tubos [10] normalizado na Alemanha.

3 — A carga de terra calculada por esse método é pequena, pois é introduzido o conceito de carga média, que é a média aritmética da carga máxima (vala propriamente) e a carga sobre o tubo (vala ideal).

4 — A carga de roda é de cálculo simplificado e bastante objetivo [10].

5 — Ainda com relação à carga sobre o tubo, bem como sua distribuição as conclusões são voltadas para o cálculo baseado em formas rígidas, ou que se comportam aproximadamente como tal.

5.1 — O momento fletor máximo, bem como a maior tensão de flexão, verifica-se na geratriz superior do tubo.

5.2 — O valor acima mencionado é pequeno na face inferior do tubo.

5.3 — A pressão do tubo sobre o leito de terra é pequena.

5.4 — A máxima pressão horizontal da terra sobre o tubo é 0,5 da pressão vertical e pode chegar a 0,75 para alguns tipos de solos.

5.5 — As cargas de tráfego exercem menor influência nos tubos flexíveis do que nos tubos rígidos. É aconselhável utilizar-se como fator de impacto a umidade.

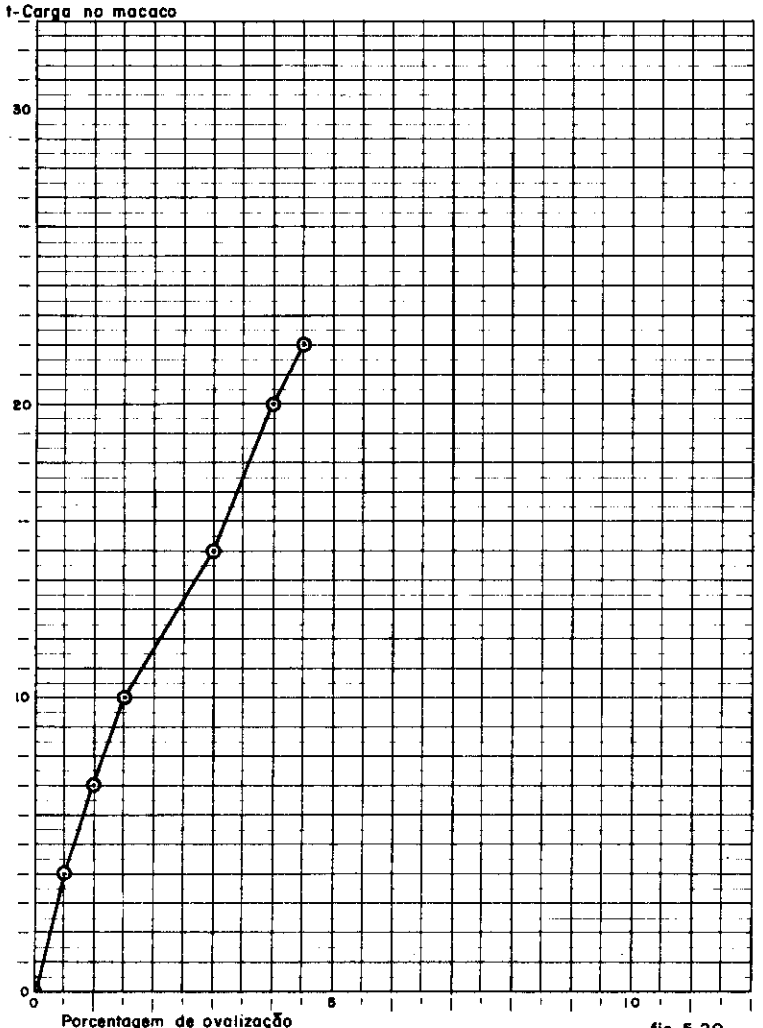


fig. 5.20

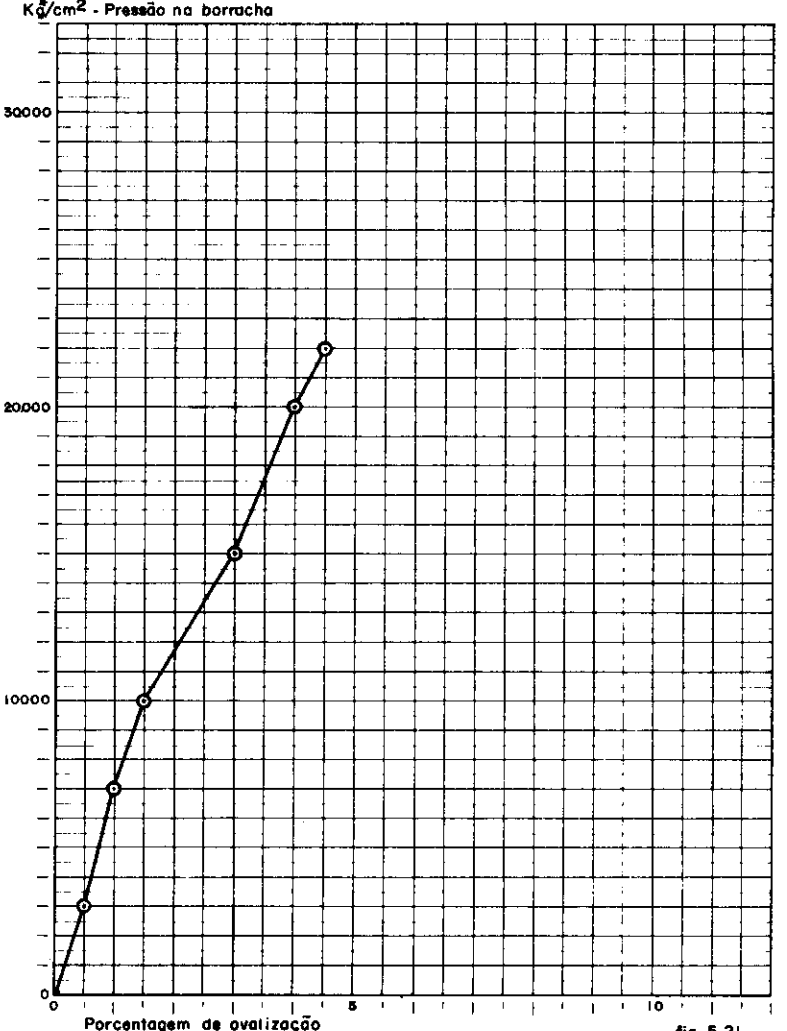


fig. 5.21

5 6 — Os valores das pressões sobre tubos flexíveis, não podem ser calculados utilizando-se fórmulas para tubos rígidos.

6 — A fórmula utilizada para o cálculo da espessura da parede dos tubos é a seguinte:

$$e = \frac{D \sqrt{0{,}171 \frac{q}{\sigma}}}{1 + \sqrt{3{,}171 \frac{q}{\sigma}}}$$

e	— espessura da parede	m
D	— diâmetro externo do tubo	m
q	— carga no tubo vertical	Kg^*/cm^2
σ	— tensão de flexão admissível	Kg^*/cm^2

Para tubos de PVC rígido, adota-se

$$\sigma = 100 \ Kg^*/cm^2$$

As dificuldades que encontramos ao seguir esse critério, podemos resumir como segue:

1 — O cálculo do momento fletor pouco ajuda para verificar o coeficiente de segurança do tubo assentado, pois nos 110 ensaios que realizamos, tubos que pelo cálculo estavam com tensão de flexão acima da ruptura, na realidade estavam bem longe do colapso. A falha do cálculo estava exatamente nas hipóteses da distribuição do carregamento.

2 — O critério de cálculo da carga atuante, é baseado num sistema de assentamento, o que particulariza o cálculo e redunda em discrepância para outros sistemas.

3 — A carga de terra calculada pelo critério da vala ideal e carga média é discrepante com as medidas que efetuamos. Isso se deve às razões já estabelecidas em 2.

4 — O cálculo da carga de roda é o mais objetivo possível. Pela sua simplicidade deve ser adotado sempre que possível.

5 — Os pontos relacionados verificam-se de forma relativa, porém a pressão horizontal pode variar com muito mais freqüência do que exposto e acarreta tensões bastante diferentes no tubo. O fator de impacto 1 pode ser adotado com segurança.

Quanto ao 5.6, julgamos que deveria ser mais radical, ou seja, o próprio cálculo da distribuição de pressão sobre tubos flexíveis é ineficiente, pois é extremamente variável com o tipo de assentamento, o que torna o critério de resistência pouco significativo.

6 — A fórmula utilizada para o cálculo é simplificada demais pois não leva em consideração, com bastante precisão, o envolvimento do tubo. A referida fórmula poderia ser utilizada para um único tipo de envolvimento, que deveria ser repetido sempre com extrema precisão o que não é muito prático.

Em resumo julgamos que o cálculo das cargas atuantes sub dimensiona os esforços e o cálculo da espessura ao contrário super dimensiona o material, estabelecendo uma compensação a favor da sgurança, para os tubos assentados pelo método normalizado.

Devido a essas considerações não entramos em maiores detalhes nessa análise, preferindo dar maior ênfase à determinação deformações do tubo do que propriamente às tensões e suas variações e distribuições. Baseamo-nos no colapso, que é por excesso de ovalização, sem ruptura do tubo, daí a pouca importância que demos em se conhecer as tensões do material.

5.4.2. — Critério da flambagem:

O sistema francês [12] de dimensionamento dos tubos apresenta algumas particularidades importantes, e analisamos alguns resultados, baseados nesse critério.

Os pontos básicos importantes desse critério podem ser relacionados:

1 — Admitindo-se uma distribuição hidrostática de pressão sobre os tubos, não havendo ocorrência de momentos fletores, o colapso só pode ser analisado pelo critério de flambagem.

2 — A pressão hidrostática crítica de um tubo pode ser expressa aproximadamente pela fórmula:

$$P_c = 2 \frac{e}{D} \sqrt{\frac{E \ e \ b}{3}} \qquad (1)$$

Onde:

P_c	— pressão crítica	Kg^*/cm^2
e	— espessura da parede	cm
D	— diâmetro externo do tubo	
E	— módulo de elasticidade do material	Kg^*/cm^2
	para PVC rígido E = 30.000	Kg^*/cm^2

b — interação material — solo Kg*/cm²

$$b' = b + \frac{\gamma\, h}{10^4} \qquad (2)$$

h — profundidade da vala m

γ — peso específico do solo Kg*/m³

3 — Os valores que se verificam para «b» na prática são:

min: b = 0 Kg*/cm²

máx: b = 5 Kg*/cm² (solo seco)

4 — Os valores extremos adotados para «b» no cálculo são:

min: b = 0,8 Kg*/cm² (argila)

máx: b = 4,0 Kg*/cm² (areia)

5 — Os tubos de PVC rígido devem ser ensaiados à pressão hidrostática externa e as pressões nominais de ensaio, para cada série, estão relacionadas abaixo:

Série de tubos (franceses)	Pressão nominal de ensaio P_e (hidrostática externa) Kg*/cm²
4.000	0,4
9.000	0,9
12.000	1,2

6 — A pressão crítica de ensaio é maior que a pressão crítica, e pode ser calculada pela expressão:

$$P_o = \left(\frac{8}{3}\right)\left(\frac{e}{D}\right)^3 E \qquad (3)$$

ou em primeira aproximação

$$P_o \sim 0{,}065 \left(\frac{e}{D}\right)^3 \qquad 10^{-6} \qquad (4)$$

7 — Define-se uma constante K, admensional que relaciona a pressão crítica do tubo, (P_c) com a pressão nominal de ensaio

$$K = \frac{P_c}{P_e} = \frac{\text{Pressão crítica do Tubo}}{\text{Pressão nominal de Ensaio}} \qquad (5)$$

8 — A pressão hidrostática de segurança do tubo, obtém-se a partir a pressão crítica, dividida por um coeficiente de segurança. Aconselha-se para tubos de esgoto S = 3

$$P_s = \frac{P_c}{S} = \frac{P_c}{3} \qquad (6)$$

P_s — pressão hidrostática de segurança.

Procuramos relacionar os resultados que obtivemos dos ensaios, com esse critério de cálculo e para tanto utilizamos certos parâmetros como seguem:

A relação diâmetro externo pela espessura da parede é um parâmetro importante para se comparar desempenho de tubos:

$$a = \frac{D}{e} \qquad (7)$$

As séries francessas de tubos tem as seguintes relações $\frac{D}{e}$

Séries	Relação $a = \frac{D}{e}$
4.000	50
9.000	41
12.000	34

Utlizando o parâmetro «a», modificamos a expressão (1)

$$P_c = \frac{2}{a}\sqrt{\frac{E\, e\, b}{3}}$$

lembrando que a pressão de segurança para esgoto é 3 vezes menor temos:

$$P_s = \frac{P_c}{3} = \frac{2}{3\,a}\sqrt{\frac{E\, e\, b}{3}}$$

fazendo:

$$F_{(a)} = \frac{2}{3\,a}\sqrt{\frac{E}{3}}$$

temos:

$$P_s = F_{(a)} \cdot \sqrt{b} \cdot \sqrt{e}$$

tabelamos — $F_{(a)}$ Para efeito de cálculo fizemos E = 30.000 Kgf/cm²

Valores de a	30	40	50	60	70	80	90
$F_{(a)}$	2,22	1,66	1,33	1,11	0,95	0,83	0,74

$\sqrt{e}$ onde e em cm

Valores de e	0,21	0,25	0,28	0,30	0,35	0,40	0,42	0,50
$\sqrt{e}$	0,46	0,50	0,53	0,55	0,59	0,63	0,65	0,71

TABELA 5.22

	30	40	50	60	70	80	90	e
areia	2	2	2	2	2	2	2	mm
argila	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	
0,46	2,04 0,91	1,53 0,68	1,23 0,55	1,02 0,45	0,87 0,39	0,76 0,34	0,68 0,30	2,1
0,50	2,22 0,99	1,66 0,74	1,33 0,59	1,11 0,49	0,95 0,42	0,83 0,37	0,74 0,33	2,5
0,53	2,35 1,05	1,76 0,79	1,41 0,63	1,18 0,52	1,01 0,45	0,88 0,39	0,78 0,35	2,8
0,55	2,44 1,09	1,83 0,82	1,47 0,65	1,22 0,54	1,05 0,47	0,91 0,41	0,81 0,36	3,0
0,59	2,62 1,17	1,96 0,88	1,57 0,70	1,31 0,58	1,12 0,49	0,98 0,44	0,87 0,39	3,5
0,63	2,80 1,25	2,09 0,94	1,67 0,75	1,40 0,62	1,20 0,53	1,05 0,47	0,93 0,42	4,0
0,65	2,89 1,29	2,16 0,95	1,73 0,77	1,44 0,64	1,23 0,55	1,08 0,48	0,96 0,43	4,2
0,71	3,16 1,41	2,36 1,06	1,89 0,84	1,58 0,71	1,35 0,60	1,18 0,53	1,05 0,47	5,0

b

areia 4 = 2

argila 0,8 = 0,895

Baseados na tabela 5.22 traçamos as curvas de mesma relação «a» ,contra a pressão de segurança (P_s) e a espessura da parede (e).

Na figura 5.22 estão as curvas com o tubo envolvido em areia (b = 4).

Na figura 5.23 estão as curvas com o tubo envolvido em argila (b = 0,8).

Nessas curvas lançamos alguns pontos, relativos a tubos franceses das séries 12.000, 9.000 e 4.000, e também pontos relativos ao nosso dimensionamento, para efeito de comparação:

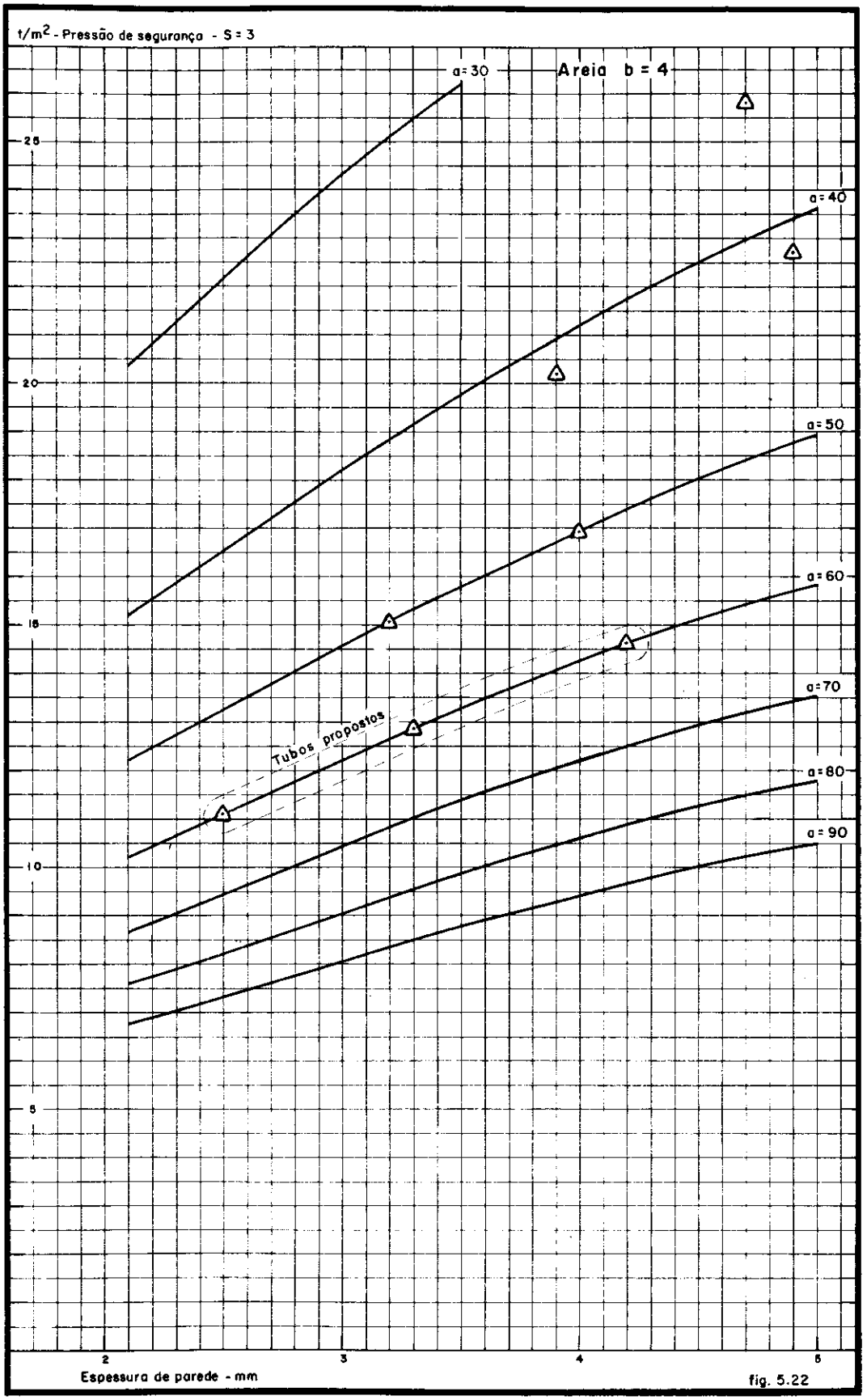
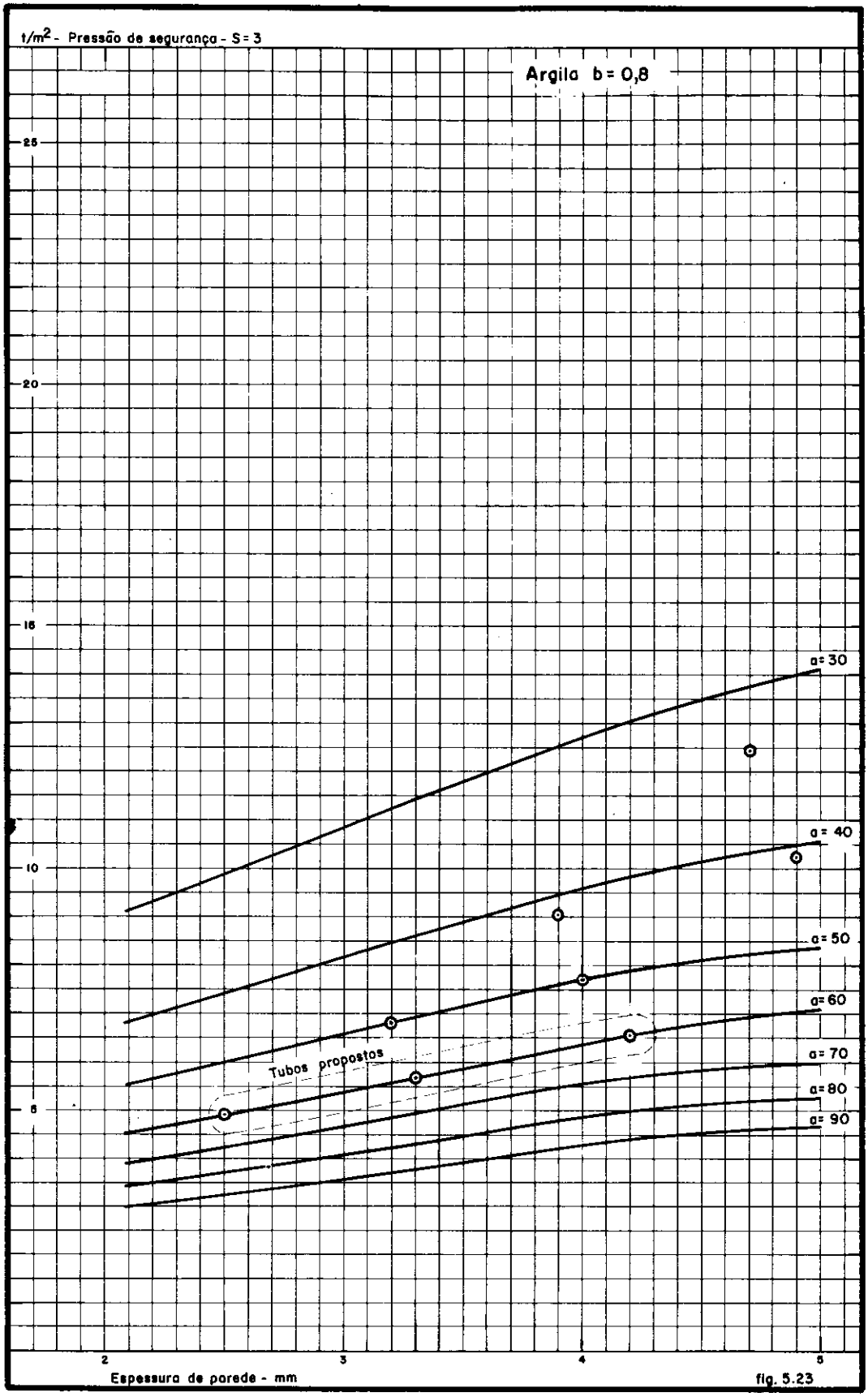

t/m2 - Pressão de segurança - S = 3
Areia b = 4
a = 30
a = 40
a = 50
a = 60
a = 70
a = 80
a = 90
Tubos propostos
25
20
15
10
5
2
3
4
5
Espessura de parede - mm

fig. 5.22


t/m2 - Pressão de segurança - S = 3
Argila b = 0,8
25
20
15
10
5
a = 30
a = 40
a = 50
a = 60
a = 70
a = 80
a = 90
Tubos propostos
2
3
4
5
Espessura de parede - mm
fig. 5.23

T U B O S

Série 12.000 a = 34	160 mm x 4,7 mm
Série 9.000 a = 41	160 mm x 3,9 mm 200 mm x 4,9 mm
Série 4.000 a = 50	160 mm x 3,2 mm 200 mm x 4,0 mm
Tubos propostos a = 60	150 mm x 2,5 mm 200 mm x 3,3 mm 250 mm x 4,2 mm

Pelos ensaios pudemos verificar que cargas de 6.000 Kg*/m², sobre tubos de relação D/e variando de 40 a 60, quando envolvidos em argila, apresentam deformações diametrais da ordem de 5%.

Pela figura 5.23, observa-se que a carga de 6.000 Kg*/m² está próxima da pressão de segurança. Deve-se lembrar que com deformação de 5% o tubo tem mais chance de entrar em colapso do que quando está perfeitamente circular, daí a nossa dúvida quanto a realmente o coeficiente de segurança para essa faixa seja 3. Alguns ensaios (vide 5.4.3) mostraram tubos com D/e da ordem de 40 que apresentaram deformações maiores que 5% para cargas de 6.000 Kg*/m². Com D/e da ordem de 60 ou 70 as deformações chegaram a 10%.

Julgamos muito mais seguro ficar com deformações abaixo de 5%, porém trabalhando com tubos sempre envolvidos em areia, para cargas dessa ordem (6.000 Kg*/m²).

Mesmo com uma relação D/e = 60, na figura C pode-se observar a maior segurança dos tubos, que propomos, sempre envolvidos em areia. Mesmo tubos com D/e = 34 quando envolvidos com argila, ficam abaixo daquela segurança.

O caminho que tomamos é o de relação D/e da ordem de 60, porém, estabelecendo-se o assentamento com envolvimento de areia, para carregamentos excessivos.

No capítulo seguinte verificaremos que cargas de 6.000 Kg*/m² na geratriz superior do tubo representam situações prática bastante extremas e a favor da segurança.

A dúvida que lançamos com relação a esse critério de dimensionamento é que ele encoraja a utilização de tubos de PVC com relações D/e da ordem de 30 a 40, envolvidos em argila, para grandes carregamentos. Julgamos mais prudente trabalhar com relações D/e maiores, porém para grandes carregamentos restringir o uso dos tubos ao envolvimento de areia. Essa proposição pode ser observada na figura 5.24.

5.4.3 — Critério da deformação:

Os tubos de PVC rígido quando enterrados e submetidos à cargas de solo e cargas de roda, sofrem uma deformação diametral, que chamaremos algumas vezes de ovalização.

Essa deformação é tanto maior quanto maior for a carga sobre o tubo e também quanto pior for o envolvimento lateral e inferior do tubo.

Tubos flexíveis são os tubos que admitem deformações maiores que 3% sem ruptura. Tubos rígidos são tubos que não permitem deformações maiores que 0,1% sem trincas (conceitos baseados na ASTM e AWWA).

Tubos de PVC rígido são tubos classificados como flexíveis e admitem deformações até maiores que 5%, sem qualquer dano estrutural.

Essas deformações diametrais também praticamente não interferem na área livre de escoamento, conforme pode-se obsrvar na figura 5.25 e tabela correspondente [13].

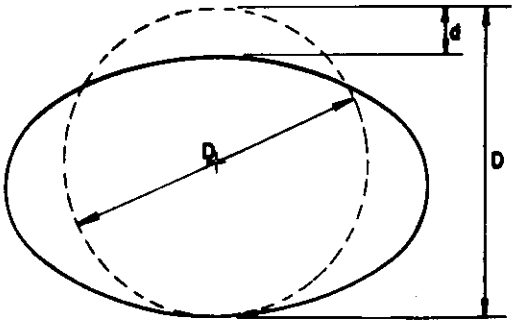


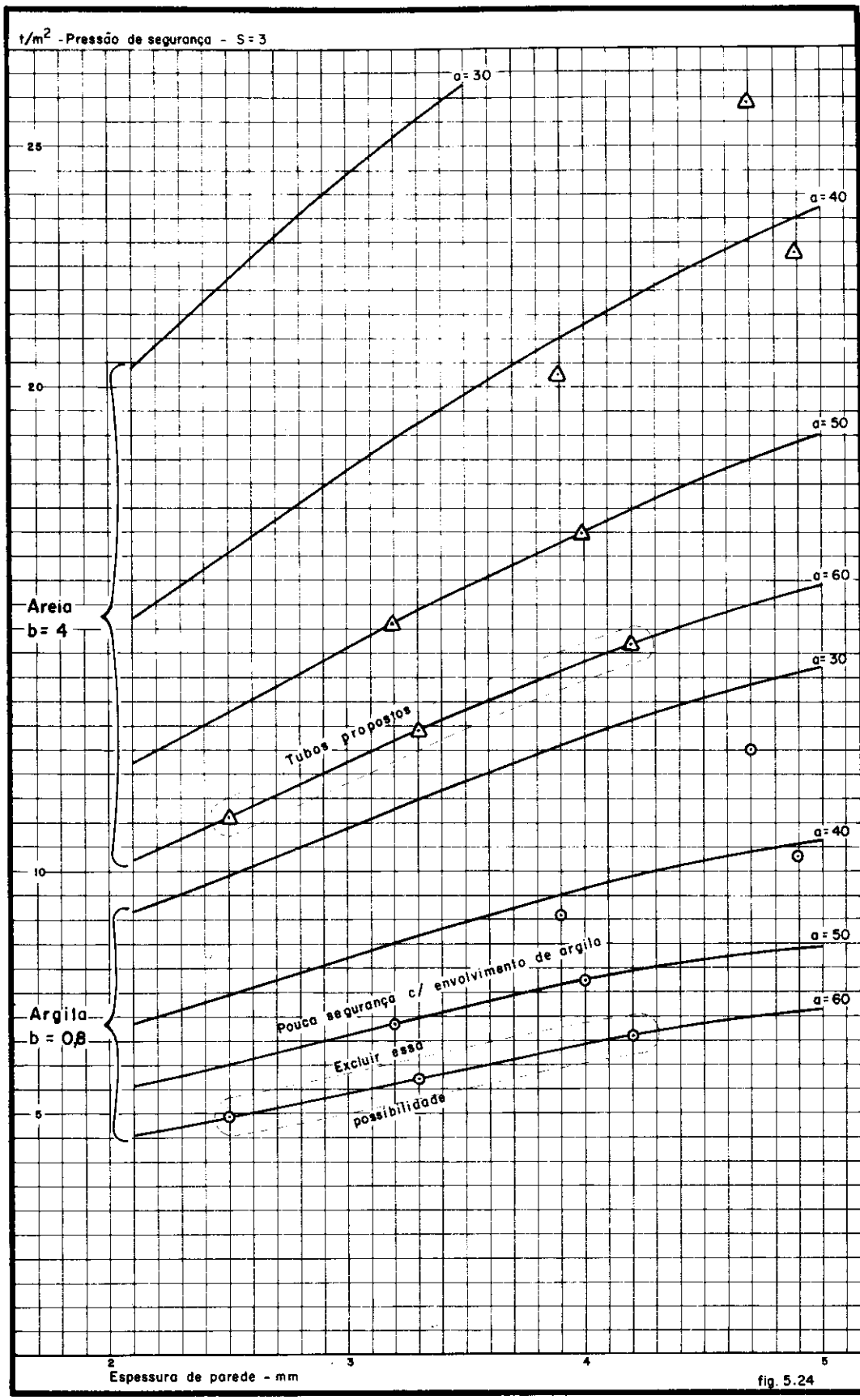
fig. 5.25

TABELA 5.25

Porcentagem de deformação diametral	Coeficiente de redução da área
δ %	K —
1	0,999
5	0,997
6	0,996
10	0,990
15	0,977

$$\delta = \frac{d}{D} \times 100 \ (\%)$$

Com uma porcentagem de ovalização de 15% opera uma redução de apenas 2,3% na área da secção. Nos casos práticos a ovalização não deve superar 5%.


t/m² - Pressão de segurança - S = 3
a = 30
a = 40
a = 50
a = 60
a = 30
a = 40
a = 50
a = 60
Areia
b = 4
Argila
b = 0,8
Tubos propostos
Pouca segurança c/ envolvimento de argila
Excluir essa
possibilidade
25
20
10
5
2
3
4
5
Espessura de parede - mm
fig. 5.24

Geralmente tubos de PVC para esgoto, quando enterrados ficam em condição de trincheira, e o cálculo do carregamento de solo, bem como da sua porcentagem de deformação diametral, podem ser tratados pelas teorias de Marston e Spangler [14].

5.4.3.1 — Carga de terra:

O cálculo da carga de terra sobre tubos de PVC rígido, para esgoto, utiliza a expressão [15]:

$$W_t = C_t \gamma D l \qquad (1)$$

Onde:

W_t — carga de terra por metro de tubo — Kg*/m

γ — peso específico do solo sobre o tubo — Kg*/m³

D — diâmetro externo do tubo — m

l — largura da vala na geratriz superior do tubo — m

C_t — Coeficiente de carga para tubos em valas (condição de trincheira)

O coeficiente C_t depende da relação

$$\frac{h}{l} = \frac{\text{profundidade da vala sobre o tubo}}{\text{largura da vala na geratriz superior do tubo}}$$

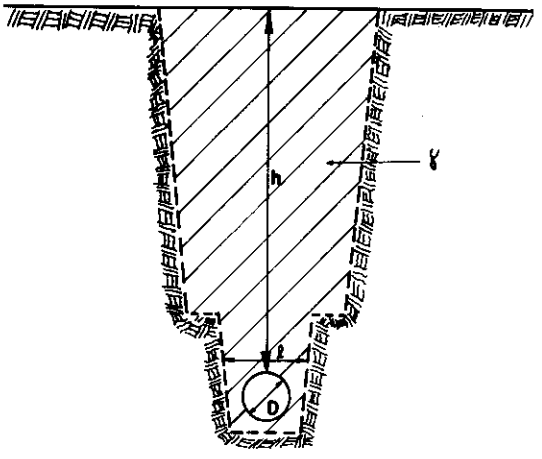


fig. 5.26

O resultado é apresentado em Kg*/m, porém, pode-se obter a carga por metro quadrado de área, imediatamente acima do tubo:

$$P_t = \frac{W_t}{D} \qquad (2)$$

Assim teremos:

$$P_t = C_t \gamma l \qquad (3)$$

Onde:

P_t — pressão do solo imediatamente acima do tubo — Kg*/m²

O coeficiente de carga C_t, depende do tipo de solo, de reaterro da vala e pode ser obtido do gráfico da figura 5.27, entrando-se com a relação h/l.

5.4.3.2 — Carga de roda:

O cálculo da carga de roda, sobre tubos de PVC rígido para esgoto, pode ser feito por diversos critérios. Sabe-se que o efeito de impacto dessas cargas é bastante reduzido para tubos de PVC rígido, sendo aconselhável a utilização do fator de impacto igual a unidade.

Na maioria dos casos os tubos de esgoto ficam em profundidades tais que as cargas de roda tem magnitude reduzida quando comparada com as cargas de terra [16].

Julgamos que o critério alemão para o cálculo de tais cargas é o mais objetivo e simplificado, e devido à pouca importância dessas cargas (com tubos de PVC em profundidades normais de redes de esgoto) deve ser recomendado.

Em situações particulares de pouca profundidade de vala (menos de 1,00 m) cada caso deve ser analisado separadamente, e não aconselhamos esse critério.

O cálculo da pressão imediatamente acima do tubo, devido à carga de roda, é feito pela expressão:

$$P_r = F \phi C_r \qquad (4)$$

P_r — pressão devido à carga de roda — Kg*/m²

F — força máxima por roda — Kg*

ϕ — fator de impacto para PVC rígido — 1

C_r — coeficiente de carga de roda em função da profundidade do dorso do tubo (h) — 1/m²

A norma alemã recomenda os seguintes valores para o coeficiente de carga de roda, em função da profundidade da vala acima do tubo (h).

TABELA 5.28

h (m)	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Cr ($1/m^2$)	0,75	0,55	0,32	0,25	0,21	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07

5.4.3.3 — Carga total:

A pressão total imediatamente acima da geratriz do tubo de PVC rígido, é a soma da pressão devido a terra com a pressão devido a carga da roda.

$$P = P_t + P_r \ (Kgf/m^2) \qquad (5)$$

Para se conhecer a carga total sobre o tubo, por unidade de comprimento de linha, utiliza-se a expressão abaixo:

$$W = (P_t + P_r)\ D \ (Kgf/m) \qquad (6)$$

Onde: D — diâmetro externo de tubo

5.4.3.4 — Deformação:

O cálculo da deformação vertical do tubo é feito pela fórmula de Spangler:

$$d = \frac{W\ L\ K\ r^3}{E\ I + 0{,}061\ E'\ r^3} \qquad (7)$$

d — deformação vertical no tubo — m

L — fator de deformação ao longo do tempo — —

K — constante de acamamento — —

W — carga total sobre o tubo por unidade de comprimento — Kgf/m

r — raio médio do tubo — m

E — módulo de elasticidade do material do tubo — Kgf/m^2

I — momento de inércia da secção longitudinal da parede do tubo, por unidade de comprimento — m^3

E' — módulo de reação horizontal do solo de envolvimento do tubo — Kgf/m^2

A fórmula de Spangler foi desenvolvida para o cálculo da deformação horizontal do tubo. Para efeito de cálculo admite-se que a deformação horizontal é igual à deformação vertical.

A deformação vertical aumenta com o passar do tempo. Para levar isso em consideração adota-se o fator L. A experiência demonstra que o fator L não é maior que 2. Para tubos de PVC rígido a literatura internacional adota o valor 1,5 [15, 17, 18].

O tipo de berço dado ao tubo é levado em consideração pelo fator K, que é a constante de acamamento. Aconselha-se para tubos de PVC rígido o valor 0,10.

o raio médio do tubo, é definido por:

$$r = \frac{D - e}{2} \ (m) \qquad (8)$$

Onde:

D — diâmetro externo do tubo — m

e — espessura da parede do tubo — m

O módulo de elasticidade do PVC rígido é:

$$3 \times 10^8 \ Kgf/m^2$$

O momento de inércia I, pode ser calculado pela expressão:

$$I = \frac{e^3}{12} \ (m^3) \qquad (9)$$

Onde: e — espessura da parede do tubo — m

O módulo de reação horizontal do solo que envolve o tubo (E') é função do tipo do solo e suas condições de compactação.

É comum adotarem-se os seguintes valores para E':

TABELA 5.29

	Sigla	E' Kgf/m^2
A — Solo em excelente condição de compactação	I	49×10^4
B — Solo em condição de compactação mediana	II	35×10^4
C — Solo em condição de compactação ruim	III	21×10^4
D — Solo sem condição de compactação ou sem compactação	IV	14×10^4

É importante que se frize o termo «condição de compactação», ao invés de compactação simplesmente. Existem solos que mesmo bem compactados, apresentam valores de E' muito baixo, depois de um certo tempo, ou após uma chuva, isso não é devido à mão de obra de compactação, porém às características do solo (tipo, teor de umidade, etc.). Julgamos perigoso associar os números da tabela acima à qualidade da mão de obra de compactação, sem levar em consideração o tipo de solo e o seu estado.

5.4.3.5 — Hipóteses de Carregamento

Para analisar os resultados dos ensaios, segundo o critério da deformação, fizemos hipóteses de carregamento, que seriam ao nosso ver situações práticas extremas. Nessas situações extremas calculamos os valores da pressão total obre o tubo.

Hipótese 0 (zero)

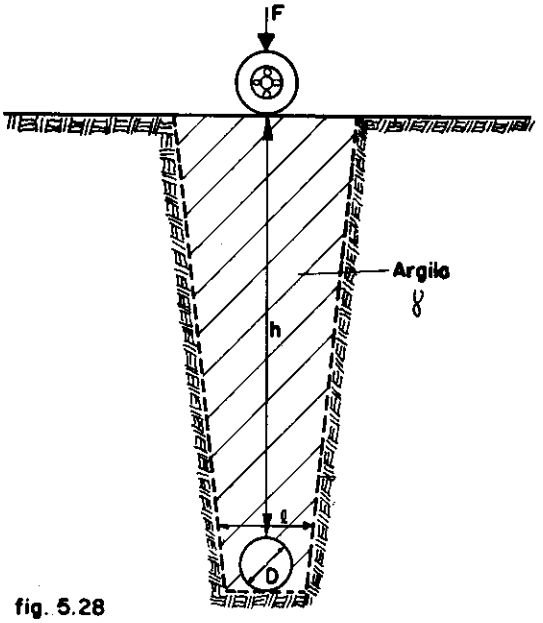


fig. 5.28

h = 6,00 m
l = 0,80 m
γ = 2.100 Kgf/m³
F = 10 t (carga de roda)

Para essas condições calcularemos o valor da pressão total sobre o tubo para exemplificar o que foi dito até agora.

Pressão devido ao solo

$$\text{relação } \frac{h}{l} = \frac{6{,}00}{0{,}80} = 7{,}5$$

Pelo gráfico da figura 5.27, com 7,5 e para argila temos:

$$C_t = 3{,}3$$

portanto de (3) temos:

$$Pt = C_t \, \gamma \, l = 3{,}3 \times 2.100 \times 0{,}80$$

$$P_t = 5.550 \text{ Kgf/m}^2$$

Pressão devido à roda

Pela tabela 5.28 com h = 6,00 m temos:

Coeficiente de carga devido à roda

$$C_r = 0{,}07/\text{m}^2$$

Pela expressão (4) temos:

$$P_r = F \, \phi \, C_r = 10.000 \times 1 \times 0{,}07$$

$$P_r = 700 \text{ Kgf/m}^2$$

Pressão total

$$P = 5.550 + 700$$

$$P = 6.250 \text{ Kgf/m}^2$$

Hipótese 1 (um)

h = 6,00 m
l = 0,80 m
γ = 2.100 Kgf/m³
F = 5 t

Para essas condições P = 5.900 Kgf/m².

Hipótese 2 (dois)

h = 5,00 m
l = 0,80 m
γ = 2.100 Kgf/m³
F = 10 t

Para essas condições P = 6.110 Kgf/m².

Hipótese 3 (três)

h = 6,00 m
l = 0,60 m
γ = 2.100 Kgf/m³
F = 10 t

Diagrama de cálculo de carga de terra em condição de trincheira (para tubos flexíveis)

① - Materiais granulares sem coesão (valor mínimo) $\gamma = 1{,}7\ t/m^3$
② - Pedregulho e areia (valor máximo) $\gamma = 1{,}9\ t/m^3$
③ - Solo orgânico saturado (valor máximo) $\gamma = 2{,}0\ t/m^3$
④ - Argila (valor máximo) $\gamma = 2{,}1\ t/m^3$
⑤ - Argila saturada (valor máximo) $\gamma = 2{,}2\ t/m^3$

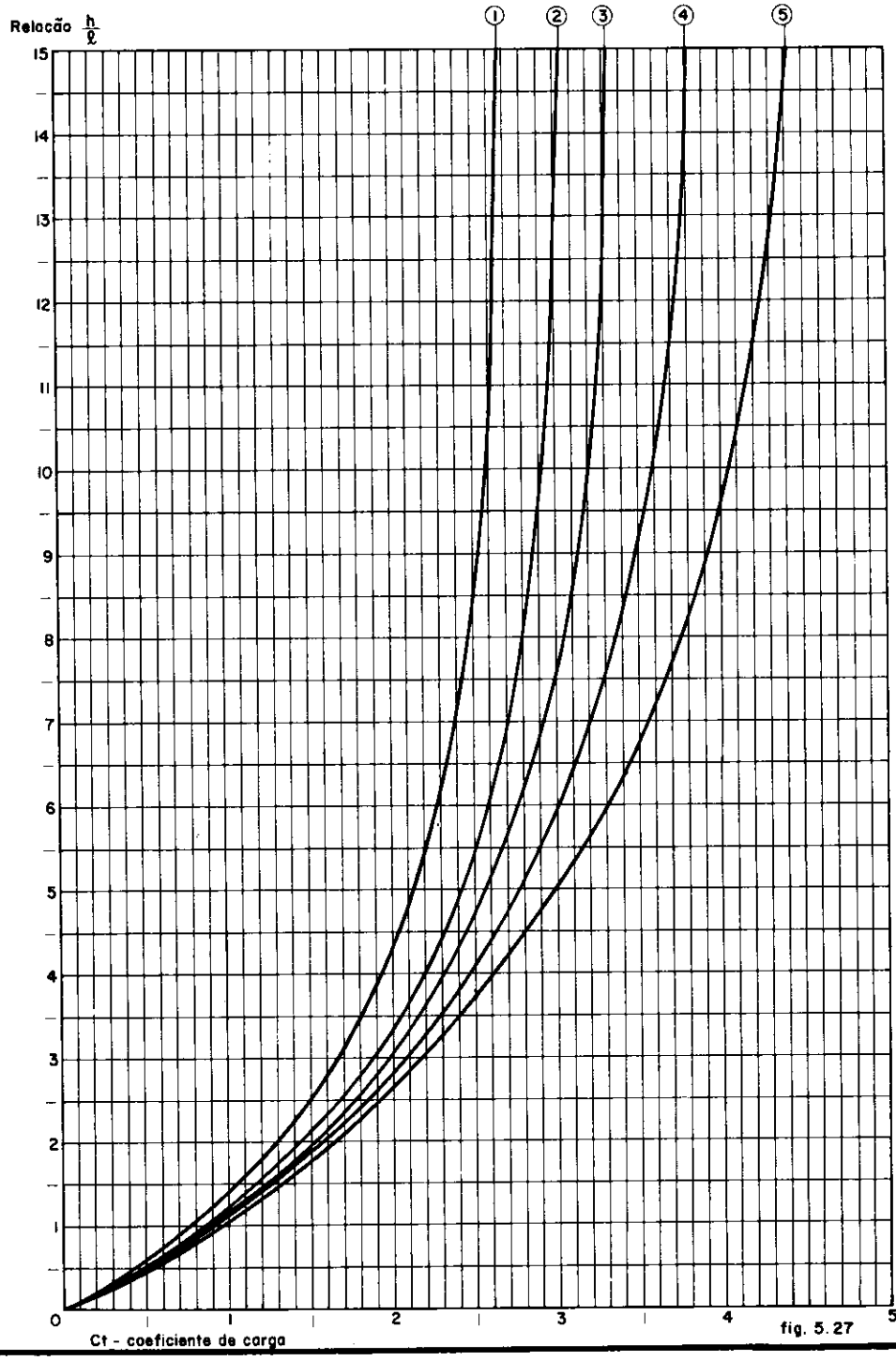


fig. 5.27

Para essas condições $P = 5.240$ Kgf/m².

Hipótese 4 (quatro)

$h = 5{,}00$ m
$l = 0{,}60$ m
$\gamma = 2.100$ Kgf/m³
$F = 10$ t

Para essas condições $P = 5.060$ Kgf/m².

Hipótese 5 (cinco)

$h = 5{,}00$ m
$l = 0{,}60$ m
$\gamma = 2.100$ Kgf/m³
$F = 5$ t

Para essas condições $P = 4.610$ Kgf/m².

Hipótese 6 (seis)

$h = 1{,}5$ m
$l = 0{,}80$ m
$\gamma = 2.100$ Kgf/m³
$F = 10$ t

Para essas condições $P = 5.720$ Kgf/m².

Com essas sete hipóteses, notamos que em situações práticas, carregamentos entre 4.600 Kgf/m² e 6.250 Kgf/m², representam limites máximos admissíveis bastante razoáveis [19].

5.4.3.6 — Verificação das deformações:

Baseados nos carregamentos definidos no item anterior, verificamos as deformações ocorridas nos tubos que ensaiamos.

Para facilitar essas comparações, adaptamos a fórmula de Sangler como segue:

$$d = \frac{W\ L\ K\ r^3}{E\ I + 0{,}061\ E'\ r^3} \qquad (7)$$

Sabemos que

$$r = \frac{D - e}{2} \qquad (8)$$

Fazendo

$$a = \frac{D}{e} \quad \text{(relação já utilizada)}$$

Temos

$$r = \frac{D\ (a - 1)}{2\ a} \qquad (10)$$

Sabemos que

$$W = P\ D$$

Então utilizando (10) temos:

$$W\ L\ K\ r^3 = P\ D\ L\ K \left[\frac{D\ (a - 1)}{2\ a}\right]^3 =$$

$$= P\ L\ K\ \frac{(a - 1)^3}{8\ a^3}\ D^4$$

Fazendo

$$A = \frac{P\ L\ K\ (a - 1)^3}{8\ a^3}$$

O numerador de (7) fica $A\ D^4$.

Por outro lado

$$E\ I = E\ \frac{e^3}{12} = \frac{E\ D^3}{12\ a^3} = \frac{E}{12\ a^3}\ D^3$$

Fazendo

$$B = \frac{E}{12\ a^3}$$

uma parcela do numerador de (6) fica $B\ D^3$.

A expressão (6) pode ser escrita pois

$$d = \frac{A\ D^4}{B\ D^3 + C\ D^3} = \frac{A\ D}{B + C} \qquad (11)$$

Seja

$$\delta = \frac{d}{D}$$

deformação relativa do tubo, que multiplicada por 100 resulta na deformação porcentual (porcentagem de ovalização).

Teremos pois

$$\delta = \frac{A}{B + C} \qquad (12)$$

Devemos observar que

$$\delta = \delta\ (L\ K\ P\ E'\ a)$$

Ou seja, δ é função de a, porém não é função do diâmetro D. Nota-se pois a importância da relação $a = D/e$ na análise dos resultados.

Substituindo em (12) as expressões teremos, simplificando

$$\delta = \frac{3\,L\,K\,P}{\dfrac{2\,E}{(a-1)^3} + 0{,}183\,E'} \qquad (13)$$

Tabelamos a expressão (13) para

1.º P = 4 500 e 6 250 Kgf/m²

2.º Valores de a, de 31, 41, 51, 61, 71, 81 e 91

3.º Valores de E' de 49, 35, 21 e 14 × 10^3 Kgf/m²

e com essas tabelas construimos os gráficos das figuras 5.29 e 5 30.

Adotamos:

L = 1,5

K = 0,10

E = 3 × 10^8 Kgf/m²

Na horizontal lançamos a relação D/e = a, ou seja, para um mesmo diâmetro a espessura da parede será menor à medida que nos deslocamos para a direita.

Na vertical estão valores porcentuais da deformação diametral. Deve-se lembrar que o número 5% é o valor comumente adotado como máximo admissível em redes de esgoto. Por outro lado, deformações da ordem de 20% significam o colapso do tubo.

As curvas I, II, III e IV, são os estados de compactação constantes na tabela 5.29.

A figura 5.29 é relativa à pressão de 4.600 Kgf/m² e a figura 5.30 é relativa à 6.250 Kgf/m².

Na figura 5.29, para a pressão de 4.600 Kgf/m², lançamos as deformações porcentuais alcançadas pelos tubos de DN 150 mm, DN 200 mm e HN 180 mm, conforme relação da tabela 5.1. Cada curva, Pressão x Deformação, foi interpolada e para a pressão de 4.600 Kgf/m², mediu-se a deformação δ'_1. O valor que lançamos no gráfico foi $\delta = 1{,}5\ \delta'_1$, ou seja, considerando que o fator L = 1,5. Com isso obtivemos uma nuvem de pontos que passamos a analisar.

Os tubos envolvidos com argila (sigla O ou ●) compactada ou não, tiveram deformações ora reduzidas, ora elevadas e alguns chegaram a superar a marca dos 10%, ou seja, muito próximos do colapso (20%).

Mesmo tubos com relação D/e entre 40 e 50 apresentam deformações excessivas em alguns casos, com esse tipo de solo.

Os tubos envolvidos com areia (assentamento em areia △, envolvimento lateral e inferior +, base total de areia □) apresentam deformações bastante reduzidas, mesmo para relações D/e da ordem de 70 e 80. Pode-se notar que nenhum ponto superou a marca dos 5%, mesmo os tubos de espessura de parede bastante reduzida.

Na figura 5.30 onde a pressão é mais elevada (6.250 Kgf/m²) essas observações ficam mais gritantes e já podemos observar muitos tubos que sofreram colapso, quando o envolvimento é argila.

Relações da ordem de 40 a 50 não dão total segurança aos tubos como se espera, para envolvimentos com argila. Essa segurança depende da condição de compactação do solo e mesmo com essa preocupação em mente alguns tubos que o nosso operador assentou sofreram achatamentos excessivos.

Por outro lado com envolvimento de areia, sem a menor preocupação de compactação, praticamente nenhum ponto superou os 5%, mesmo os tubos de relação D/e da ordem de 80.

As figuras 5.31 e 5.32, foram construidas para os tubos de DN 250 mm, DN 300, DN 350 mm, DN 400, DN 450 e HN 300 mm.

Nelas podemos observar os mesmos pontos básicos que abordamos para as figuras 5.29 e 5.30: relação D/e excessiva não soluciona o problema de segurança, o envolvimento lateral e inferior com areia, mesmo precário, estabelece ótima segurança para os tubos.

É muito mais sguro estabelecer-se um berço e envolvimento lateral de areia (2), ou uma base de areia (4), mesmo em condições precárias de compactação, do que proceder-se à compactação de solos no fundo da vala e trabalhar-se com grandes espessuras de parede para os tubos.

Com relação à análise econômica da questão, resta-nos saber se é mais econômico aumentar a espessura da parede dos tubos, do que efetuar um envolvimento de areia, em tubos de espessuras menores portanto de menor custo.

Estabelecemos uma comparação entre tubos de D/e = 30 e 60. Os tubos de relação 30, podem ser assentados sem o envolvimento de areia, com relativa segurança. Os tubos de relação 60, devem ser assentados com envolvimento de areia e ficam com boa segurança. A comparação prende-se aos DN 150 mm, 200 mm, 200 mm e 250 mm, que são os diâmetros mais usados.

Adotamos para o cálculo de custo do tubo de PVC rígido o valor de Cr$ 5,00/Kg (US$ 0,838/Kg — julho-1972) que é o custo médio desses tubos no Brasil.

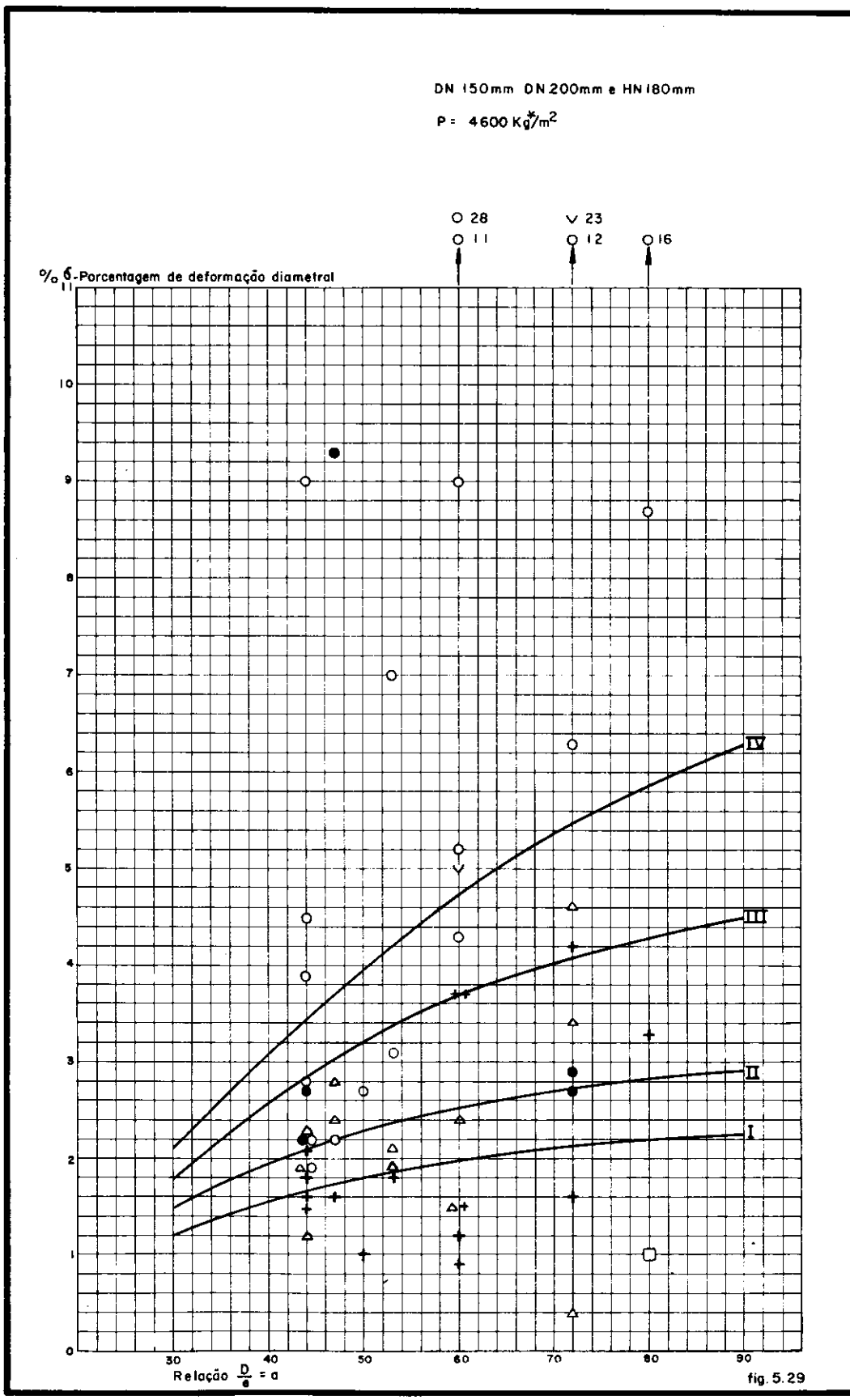

DN 150mm DN 200mm e HN 180mm
P = 4600 Kg*/m²
28
11
23
12
16
% δ-Porcentagem de deformação diametral
IV
III
II
I
Relação D/e = a

fig. 5.29

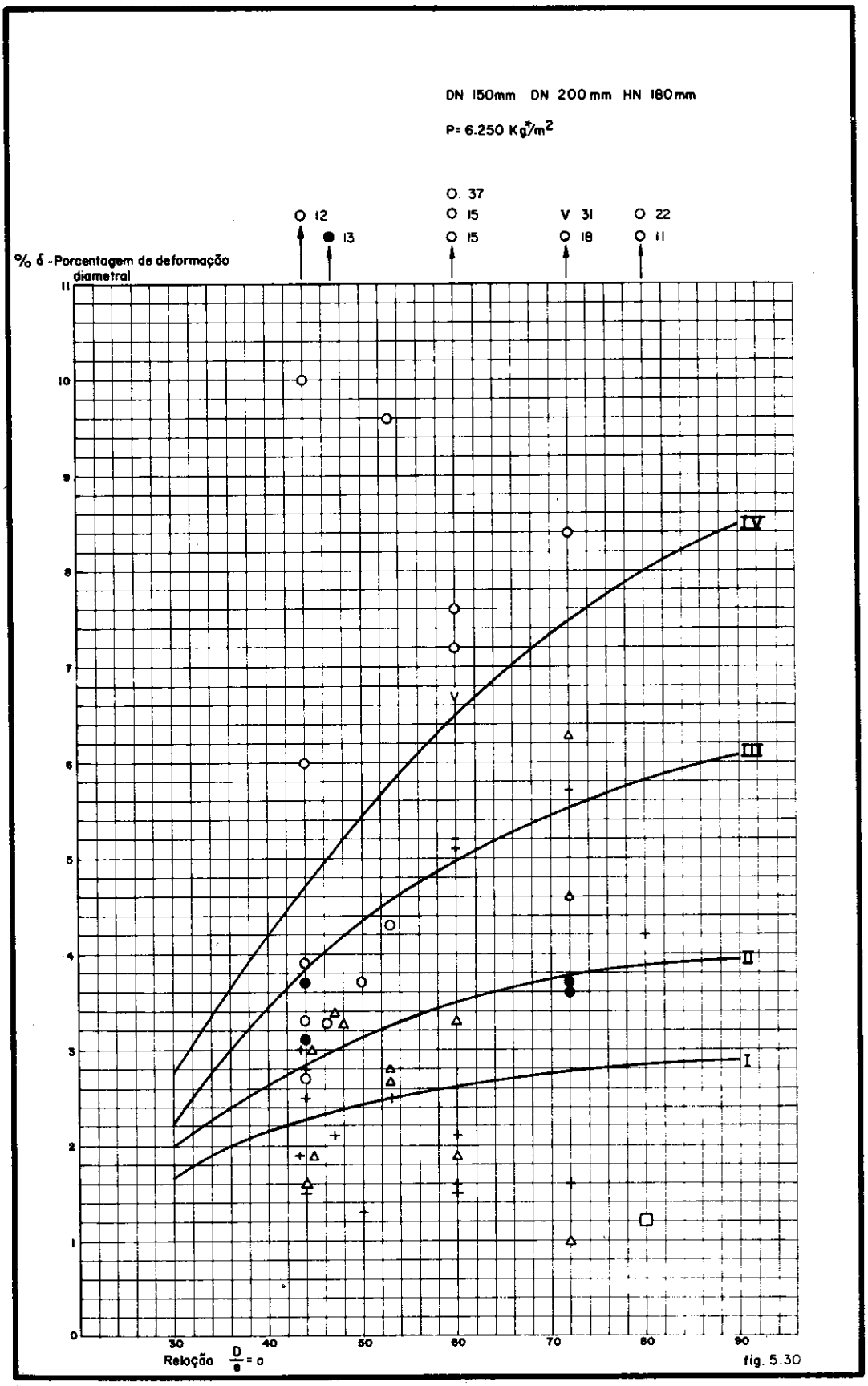
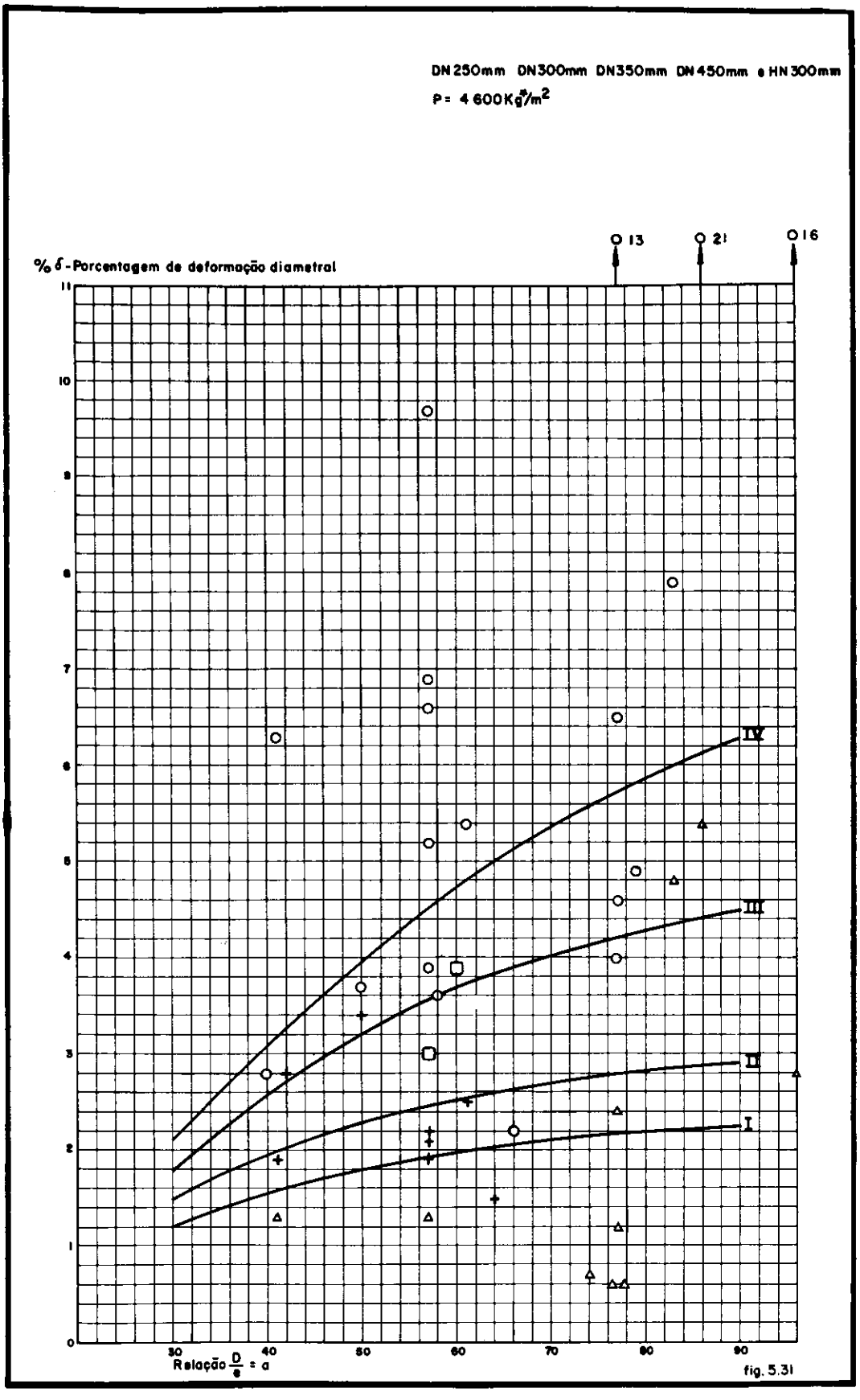

DN 150mm DN 200 mm HN 180mm
P= 6.250 Kg*/m2
O. 37
O 12
O 15
V 31
O 22
● 13
O 15
O 18
O 11
% δ -Porcentagem de deformação diametral
IV
III
II
I
V
Relação D/e = a

fig. 5.30


DN 250mm DN300mm DN350mm DN 450mm e HN 300mm
P = 4 600 Kg*/m²
% δ - Porcentagem de deformação diametral
13
21
16
IV
III
II
I
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
30
40
50
60
70
80
90
Relação D/e = a
fig. 5.31

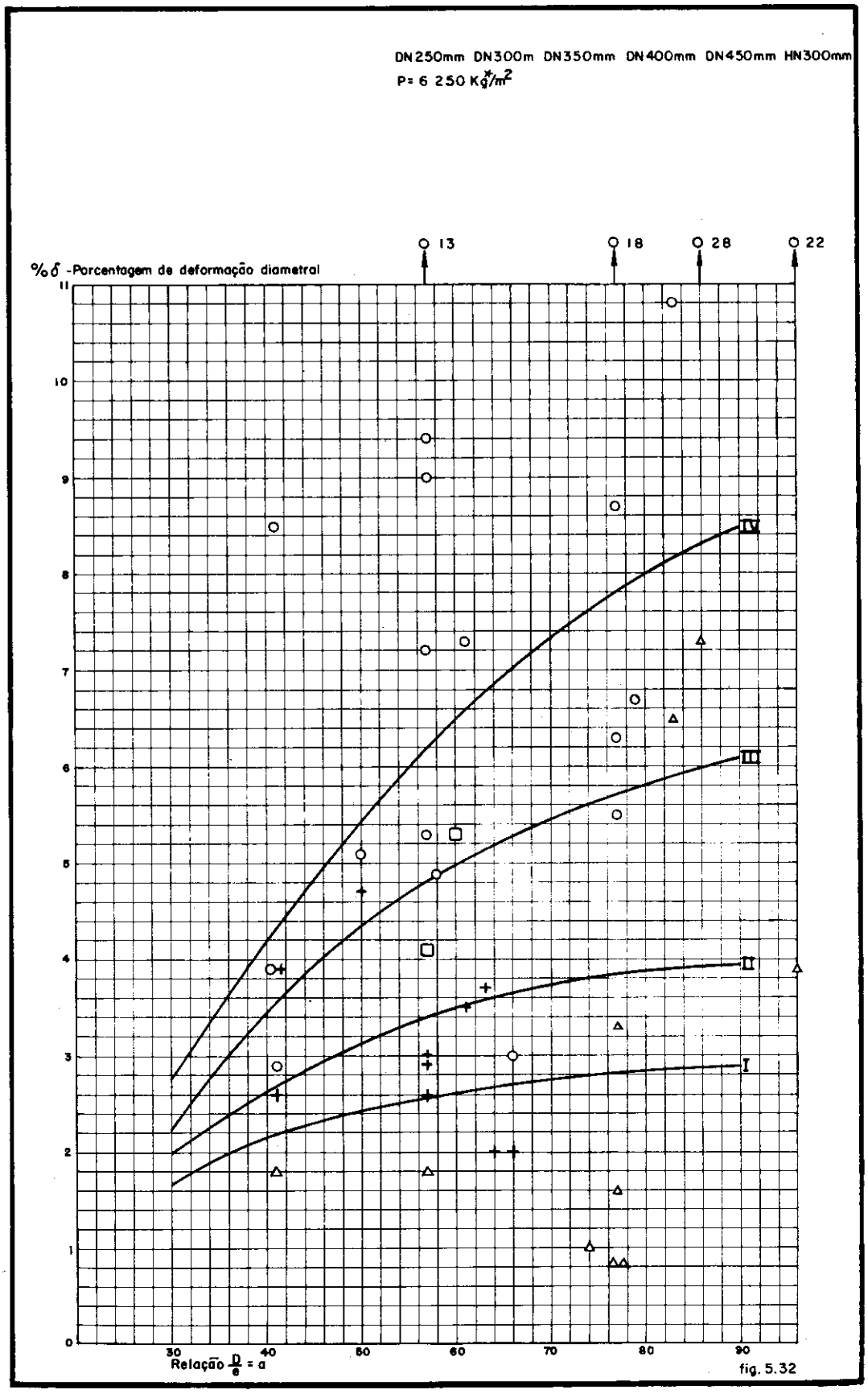

DN250mm DN300m DN350mm DN400mm DN450mm HN300mm
P= 6 250 Kg*/m²
13
18
28
22
%δ -Porcentagem de deformação diametral
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
30
40
50
60
70
80
90
Relação D/e = a
IV
III
II
I

fig. 5.32

TABELA 5.30

DN	Peso por metro		Custo por metro		Consumo de areia	Custo areia	Custo areia + tubo
	D/e = 30	D/e = 60	D/e = 30	D/e = 60	médio	médio	D/e = 60
mm	Kg/m	Kg/m	Cr$/m	Cr$/m	m^3/m	Cr$/m	Cr$/m
150	3,326	1,692	16,63	8,46	0,083	1,66	10,12
200	5,857	2,978	29,28	14,89	0,146	2,92	17,81
250	9,204	4,736	46,02	23,68	0,214	4,28	27,96

Para a areia foi adotado o custo de Cr$ 20,00/m^3 (US$ 3,360/m^3 — julho-1972) que é um valor médio para a maioria dos materiais granulares, areia fina, média, grossa, pó de pedra ou pedra britada.

O gráfico da figura 5.33 permite observar com mais objetividade os resultados.

Facilmente chega-se a conclusão que o envolvimento inferior e lateral de areia, além de ser uma ótima solução técnica com grande segurança é também uma solução econômica, onde o controle da compactação é difícil e exige muita fiscalização.

Com esse critério, justificamos a adoção de um dimensionamento de tubos baseados na relação D/e = 60, acrescido de recomendações simples para o assentamento.

Nos capítulos seguintes propomos textos bases da Especificação dos tubos e os Métodos de Ensaios, bem como uma Norma Técnica de Assentamento, baseada nesses conceitos.

Acreditamos que essas propostas são as que se adaptam à realidade de campo brasileira, como nação em fase de desenvolvimento: enterramos pouca matéria prima (PVC), utilizamos mão de obra pouco especializada, não exigimos muito da fiscalização e temos uma rede com boa segurança e durabilidade.

5.5 — Observações e Bibliografia:

(1) Relatório sobre o Comportamento de Tubos de PVC em Obras de Esgoto na Cidade de Curitiba - Paraná — Rogério P. Muniz — Junho, 1971.

(2) Apropriação de Tempos na Execução de Sub Coletor de Esgoto Sanitário com Tubos Tigre de PVC Rígido, Junta Soldada — 28-29 de Abril, 1970 — Eng.º Roberto Paulo Ignatios e Eng.º Wilson Passeto — Cia. Hansen Industrial — Departamento de Água e Esgoto de Campinas.

(3) Certificado Oficial n.º 38.526 — Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco — Eng.º Elidio Bastos e Eng.º Angelo José Costa.

(4) Construção de Redes de Esgotos Sanitários — FESB-CETESB, 1970.

(5) Projeto de Sistemas de Esgotos Sanitários — FESB-CETESB, 1971.

(6) Resistência à Abrasão de Tubos Plásticos — Itaquareia — Indústria Extrativa de Minérios Ltda. — Itaquaquecetuba, São Paulo.

(7) Armosig, Afcodur, Lucoflex, Afcosanit, Lucosanit.

(8) Tubi Gresintex.

(9) Solicitações sobre Túneis e Condutas Enterradas — Cálculo de Canos de Esgoto para Luanda — Laboratório Nacional de Engenharia Civil — Lisboa — Fevereiro, 1968.

(10) Berechnungsbrundlagen für Edverlegte PVC — Entwasserun Gsleitungen — H. Howe — Rohre Rohrleitungsbau Rohrleitungstrnsport — August, 1966.

(11) Design Criteria for Bured Flexible Pipes — Johann Scheiblauer — Journal «Strasse und Autobahn» — N.º 5, 1967.

(12) Pression des Terres sur Tubes PVC Minges — J. Chaplain — La Technique de L'eau — N.º 243.

(13) Critérios de Diseño para Abastecimento de Água Potable Empleando Tuberia de PVC — México, 1971.

(14) Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts — Official Publication.

14.1 — The Theory of Exernal Loads on Closed Conduits in the Letest Experiments — Anson Marston — February — 19 — 1930, N.º 38.

14.2 — Loads on Pipe in Wide Ditches — W. J. Schlick — Abril — 6 — 1932. N.º 45.

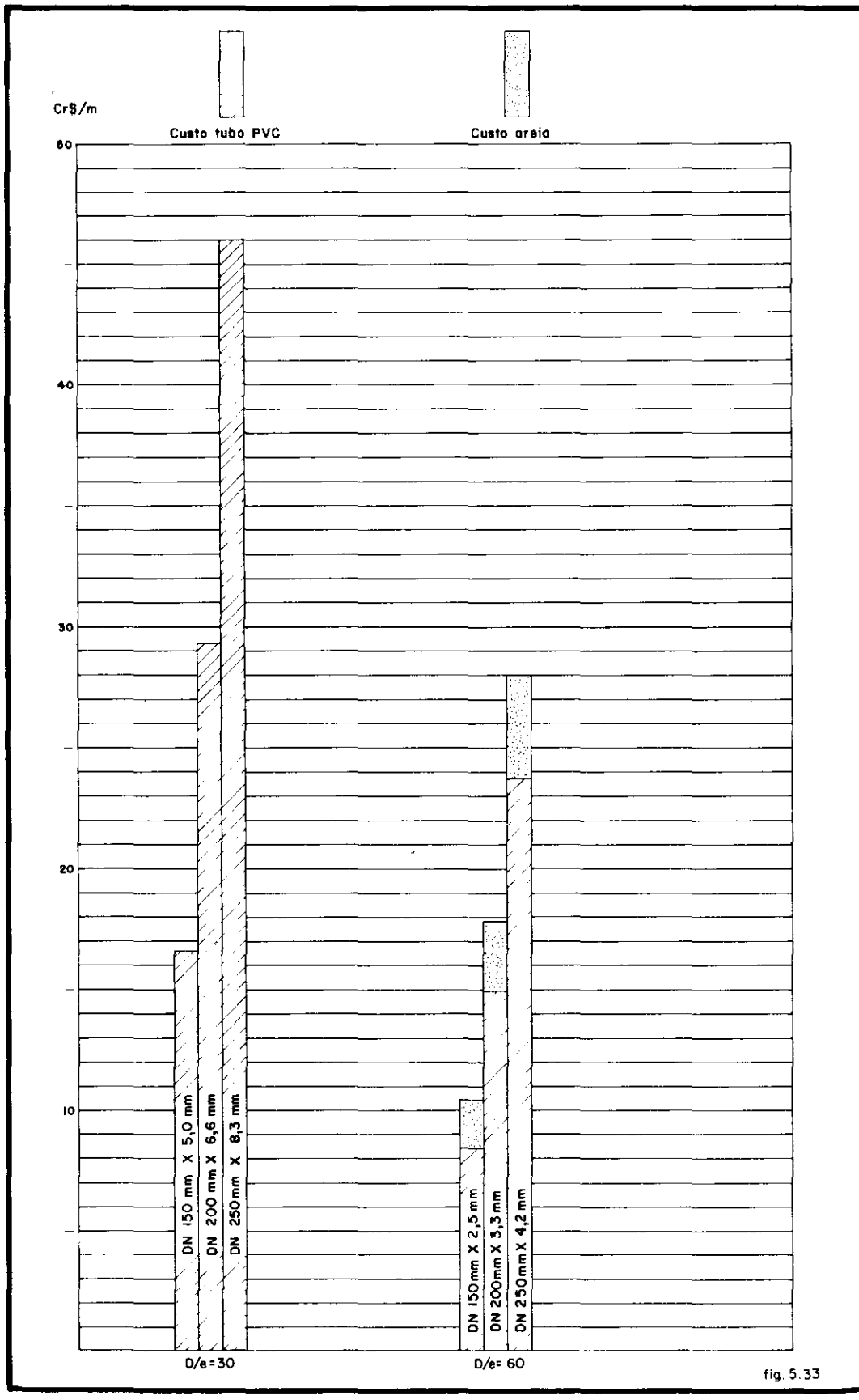

Cr$/m
Custo tubo PVC
Custo areia
60
40
30
20
10
DN 150 mm X 5,0 mm
DN 200 mm X 6,6 mm
DN 250mm X 8,3 mm
DN 150mm X 2,5 mm
DN 200mm X 3,3 mm
DN 250mm X 4,2 mm
D/e=30
D/e= 60

fig. 5.33

14.3 — The Theory of Loads on Pipes in Ditches, and Tests of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe — A. Marston and A. O. Anderson — February — 1913, N.º 5.

14.4 — The Structural Design of Flexible Pipe Culverts — M. G. Spangler — December — 1941, N.º 30.

14.5 — The Supporting Strength of Rigid Pipe Culverts — M. G. Spangler — February, 1933.

(15) Technical Manual for PVC Sawers and Drains Wavinsewer — Wavin Pipes Limited — Co. Dublin.

(16) Large Diameter Rigid PVC Pipe — Sekisui Chemical Company, Ltd. — February, 1969.

(17) Field Testing of Plastic and Plastic — Clad Pipes — Carl E. Selander and Richard A. Simonds — Journal — AWWA — July, 1971.

(18) Expansive — Soil Effect on Buried Pipe — Curtis M. Clark — Journal — AWWA — July, 1971.

(19) Para a hipótese de carga cinco (5) calculamos as cargas por metro em tubos cerâmicos e definimos os tipos de assentamento, utilizando o método dos fatores de carga, já bastante conhecido. Devemos lembrar que a hipótese 5 foi a que resultou as cargas mais baixas (4.600 Kgf/m²).

Com a largura da vala de 0,60 m somente poder-se-á assentar tubos cerâmicos de DN 150 mm, DN 200 mm e DN 250 mm.

Para as condições da hipótese 5 a carga por metro de tubulação será de 2.780 Kgf/m.

DN	Carga mínima de ruptura	Coeficiente de segurança	Fator de carga aproximado	Sistema de assentamento recomendado
—	EB-5	1,5	—	—
mm	Kgf/m	Kgf/m		
150	1.400	930	3,0	Envolvimento total em concreto
200	1.500	1.000	2,7	
250	1.600	1.060	2,6	

Essa tabela permite uma comparação entre os tubos cerâmicos e os de PVC rígido, quanto ao desempenho mecânico.

Nos ensaios comparativos MB e PVC que realizamos (vide tabela 5.1) pudemos constatar que a ruptura das manilhas vinha bem antes do colapso dos tubos de PVC rígido.

(20) Vistorias em Tubulações Coletoras de Esgotos — Estados de São Paulo e Goiás — Eng.º José Fernando T. Osório.

6 — ESPECIFICAÇÃO DOS TUBOS E CONEXÕES

Baseados nos resultados a que chegamos até agora, apresentamos uma Proposta de Especificação Brasileira para Tubos de PVC Rígido de Secção Circular Coletores de Esgotos Prediais e Despejos Industriais, composta dos seguintes capítulos:

Proposta de Especificação

1 — Objetivo
2 — Condições Gerais
3 — Inspeção Geral
4 — Formação de Amostras
5 — Ensaios
6 — Condições Específicas
7 — Aceitação e Rejeição

Métodos de Ensaio

1 — Estanqueidade
P-MB-519 — Ruptura por pressão interna
P-MB-534 — Estabilidade Dimensional

2 — Resistência ao Achatamento

Obs.: Estamos apresentando, simultaneamente, estes textos base à Associação Brasileira Normas Técnica para a devida apreciação.

Agosto de 1972

Dept.º de Produtos da

CIA. HANSEN INDUSTRIAL

Proposta de Especificação Brasileira

TUBOS DE PVC RIGIDO DE SECÇÃO CIRCULAR COLETORES DE ESGOTOS PREDIAIS E DESPEJOS INDUSTRIAIS
P-EB
Projeto de Especificação

1 — Objetivo

1.1 — Esta especificação tem por objetivo fixar as características mínimas exigidas para o recebimento de tubos e conexões de PVC rígido, coletores de esgotos prediais e despejos industriais, para e execução de redes coletoras enterradas.

TABELA I

Tubos de PVC rígido de secção circular

Coletores de esgotos prediais e despejos industriais

Diâmetro nominal DN mm	Diâmetro externo DE mm	Tolerância no diâmetro externo médio — mm	Espessura mínima da parede — mm	Tolerância na espessura da parede — mm	Peso por metro aproximado — Kg/m
150	150,0	+ 0,4	2,5	+ 0,3	1,695
200	200,0	+ 0,4	3,3	+ 0,3	2,970
250	250,0	+ 0,4	4,2	+ 0,3	4,740
300	300,0	+ 0,5	5,0	+ 0,4	6,770
350	350,0	+ 0,5	5,8	+ 0,4	9,100
400	400,0	+ 0,5	6,7	+ 0,4	12,095
450	450,0	+ 0,6	7,5	+ 0,5	15,235
500	500,0	+ 0,6	8,3	+ 0,5	18,795

1.2 — Esta especificação é inspirada no P-EB-608, Especificação Brasileira de Tubos e Conexões de PVC rígido para Esgoto e Ventilação, nos aspectos gerais, e utiliza para esta especificação para os tubos e conexões dos ramais coletores prediais.

1.3 — Esta especificação é aplicável somente aos tubos coletores de despejos industriais, cuja temperatura não exceda 40°C.

2 — **Condições Gerais**

2.1 — Os tubos e as conexões de PVC rígido, deverão ser fabricados de cloreto de polivinila, não plastificado, com adição de ingredientes, a critério do fabricante, e processo que assegure a obtenção de um produto que preencha as condições desta Especificação.

2.2 — Os tubos de PVC rígido serão fabricados nos diâmetros nominais de 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 mm, sendo caracterizados pelas espessuras de parede e respectivos pesos por metro, constantes na tabela I.

2.3 — Os tubos e conexões terão juntas dos seguintes tipos:

2.3.1 — Junta soldada.

2.3.2 — Junta elástica.

2.4 — A junta soldada deve apresentar as seguintes características:

2.4.1 — O comprimento mínimo de soldagem para os tubos deve ser a metade do diâmetro externo correspondente.

2.4.2 — O comprimento mínimo de soldagem para as conexões deve ser:

2.4.2.1. — Quando injetadas 20 mm.

2.4.2.2 — Quando obtidas de tubos 0,25 do diâmetro externo correspondente.

2.4.3 — O diâmetro interno da bolsa deve estar de acordo com a tabela II.

TABELA II

Diâmetro nominal	Diâmetro interno da bolsa	Tolerância
DN	D_1	—
mm	mm	mm
150	150,0	+ 0,4
200	200,0	+ 0,4
250	250,0	+ 0,4
300	300,0	+ 0,5
350	350,0	+ 0,5
400	400,0	+ 0,5
450	450,0	+ 0.6
500	500,0	+ 0,6

2.4.4 — A ponta do tubo deve ser chanfrada e a bolsa deve ter pequena conicidade, para facilitar o encaixe na operação de soldagem.

2.4.5 — A junta assim formada deve satisfazer a condição específica do 6.1 (estanqueidade por pressão interna).

2.5 — A junta elástica formada de uma bolsa dotada de um sulco, dentro do qual se aloja um anel de borracha de perfil adequado, deve apresentar as seguintes características mínimas:

2.5.1 — A profundidade total da bolsa deve ser no mínimo:

2.5.1.1 — Para os tubos, 0,5 do diâmetro externo correspondente.

2.5.1.2 — Para as conexões, 0,25 do diâmetro externo correspondente.

2.5.2 — A ponta de um tubo convenientemente chanfrada, deve se encaixar sem dificuldade na bolsa acima definida, mediante o uso de um lubrificante adequado.

2.5.3 — A junta assim formada deve satisfazer à condição especificada do 6.1 (estanqueidade à pressão interna).

2.6 — Os tubos e as conexões de PVC rígido, deverão apresentar as superfície externa e interna isentas de irrgularidades, saliências, reentrâncias e não devem ter bolhas e vazios. São permitidas estrias não substanciais e pequenas variações de espessura de parede, desde que estejam dentro das tolerâncias.

2.7 — Tubos da mesma partida e do mesmo diâmetro, deverão ter cor uniforme, permitindo-se, entretanto, variações de nuance devidas a naturais diferenças de cor da matéria prima.

2.8 — Os tubos e as conexões deverão trazer de forma bem visível e indelével:

2.8.1 — Coletor de Esgoto.

2.8.2 — Marca do Fabricante.

2.8.3 — Diâmetro Nominal.

2.9 — A unidade de compra de tubos é o tubo ou o metro linear de comprimento útil. A unidade de compra das conexões e anéis é a peça.

2.10 — Os comprimentos nominais úteis para os tubos deverão ser: 5,00 e 6,00 m, com tolerâncias de + 1% e − 0,5%.

§ único: dependendo de prévio acordo entre fabricante e comprador, os tubos poderão ser fornecidos em comprimentos diferentes dos acima especificados.

2.11 — Para cada diâmetro nominal de tubos, será admitido o fornecimento de 5% do total com comprimento — 0,10 m e 10% do total em comprimentos de 4,50 e 5,50 m.

2.12 — Conexões.

2.12.1 — As conexões deverão ser com bolsas, conforme especificação 2.4 e 2.5.

2.12.2 — As conexões poderão ser injetadas ou obtidas de tubos por processo de soldagem.

2.12.3 — A espessura mínima da parede das conexões, deve obedecer a tabela III, correspondente a cada diâmetro.

TABELA III

Diâmetro nominal	Espessura mínima da parede
DN	e
mm	mm
150	2,5
200	3,3
250	4,2
300	5,0
350	5,8
400	6,7
450	7,5
500	8,3

2.12.4 — O selim deve ser dotado de dispositivo que exerça a pressão necessária sobre o tubo, durante todo o tempo de soldagem.

§ único: A soldagem do selim sobre o tubo, deve ser executada segundo as recomendações do fabricante e deve satisfazer a condição específica 6.1 estanqueidade à pressão interna).

3 — Inspeção Geral

3.1 — Efetuando o fornecimento ou no decorrer deste, cabe ao comprador:

3.1 — Efetuado o fornecimento ou no dena fábrica se foram obedecidas as condições exigidas nos itens: 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 e 2.12.

3.1.2 — Rejeitar os tubos e as conexões que não satisfizerem essas exigências.

4 — **Formação de Amostras**

4.1 — Deverão ser formados lotes de tubos de 600 m de comprimento útil ou 100 tubos do mesmo diâmetro. De cada lote deverá ser retirado um tubo, que será considerado a amostra do lote correspondente.

4.2 — Deverão ser cortados na região da bolsa e da ponta dois pedaços, de comprimento igual ao dobro do diâmetro, cada um. Tais segmentos, depois de unidos, segundo a especificação do tipo de junta, constituirão o corpo de prova para o teste de estanqueidade do tubo e respectiva junta do 5.1.

4.3 — Do trecho restante deverão ser cortados os corpos de prova para os testes de ruptura por pressão interna do 5.2, estabilidade dimensional do 5.3 e teste de achatamento do 5.4.

4.4 — Deverão ser formados lotes de conexões de 100 peças, de mesmo diâmetro. De cada lote deverá ser retirada uma conexão, que será considerada a amostra.

4.5 — Nas conexões retiradas por amostragem deverão ser executadas todas as juntas, conforme recomendação do fabricante. A peça assim formada constitui o corpo de prova do teste de estanqueidade do 5.1.

5 — **Ensaios**

5.1 — Estanqueidade.

5.1.1 — Os corpos de prova deverão ser ensaiados à estanqueidade por pressão interna de 2,0 Kgf/cm², de acordo com o Método P-MB-1.

5.2 — Ruptura por pressão interna.

5.2.1 — Os corpos de prova deverão ser levados à ruptura por pressão interna, de acordo com o Método P-MB-519.

5.3 — Estabilidade Dimensional.

5.3.1 — Os corpos de prova deverão ser ensaiados de acordo com o Método P-MB-514.

5.4 — Resistência ao achatamento.

5.4.1 — Os corpos de prova deverão ser ensaiados de acordo com o Método P-MB-2.

6 — **Condições Específicas**

6.1 — Estanqueidade.

6.1.1 — Os corpos de prova ensaiados de acordo com o 5.1.1, não devem apresentar sinais de fuga ou exudação de água e de alterações apreciáveis, à vista desarmada no diâmetro externo.

6.2 — Ruptura por pressão interna.

6.2.1 — Os corpos de prova ensaiados segundo o 5.2.1, não devem romper com pressão menor que 14,0 Kgf/cm².

6.3 — Estabilidade Dimensional.

6.3.1 — Os corpos de prova ensaiados segundo o 5.3, não deverão ter variações longitudinais maiores que 5% e não apresentar à simples vista, fissuras, bolha ou escamas.

6.4 — Resistência ao achatamento.

6.4.1 — Os corpos de prova ensaiados de acordo com o do 5.4.1 deverão sofrer achatamento total (100%) sem estilhaçamento, bem como permanecerem isentos de fissuras longitudinais na região da dobra.

7 — **Aceitação e Rejeição**

7.1 — Quando um corpo de prova não satisfizer pelo menos uma das condições específicas 6, deverá ser colhida nova amostra.

7.2 — Caso a nova amostra também não satisfaça às condições 6, o lote deverá ser rejeitado.

7.3 — Uma vez que os tubos e as conexões obedeçam às condições impostas, devem ser considerados satisfatórios e consequentemente aceitos pelo comprador.

Dept.º de Produtos da

CIA. HANSEN INDUSTRIAL

Proposta de Norma Brasileira

TUBOS DE PVC RÍGIDO PARA ESGOTO
P-MB-1
Ensaio de Estanqueidade por Pressão Interna

1 — **Objetivo**

1.1 — Este método fixa o modo pelo qual deve ser feito o ensaio de estanqueidade por pressão interna em tubos de PVC rígido para esgoto, com água fria.

2 — **Aparelhagem**

2.1 — Deve-se utilizar um dispositivo de ensaio, automático ou manual, que satisfaça às seguintes condições:

2.1.1 — Permita que a pressão de água atinja com velocidade mínima de 2 Kgf/cm² por segundo, o valor indicado para cada tipo de corpo de prova.

2.1.2 — Seja dotado de manômetro suficientemente preciso e periodicamente aferido, de modo a permitir a medida da pressão interna especificada.

2.1.3 — Possua os órgãos acessórios à ligação das extremidades dos corpos de prova.

3 — Corpos de Prova

3.1 — Os corpos de prova deverão ser constituidos de ponta e bolsa de tubos ou conexões, acoplados segundo as especificações do fabricante.

4 — Procedimento

4.1 — O corpo de prova a ser ensaiado deve ser ligado, com auxílio de dispositivos, à máquina de ensaio.

4.2 — Procede-se ao seu enchimento com água e elimina-se o ar nele contido. Concluido o enchimento, o ensaio poderá ser iniciado.

4.3 — Aumenta-se a pressão no corpo de prova com a velocidade indicada no 2.1.1, até a pressão de ensaio.

4.4 — Uma vez atingida a pressão de ensaio, esta deve ser mantida durante 5 minutos.

5 — Resultados

5.1 — Para cada corpo de prova deve-se relacionar a pressão de ensaio, bem como se houve ou não estanqueidade.

Dept.º de Produtos da

CIA. HANSEN INDUSTRIAL

Proposta de Norma Brasileira

TUBOS DE PVC
P-MB-519

Ensaio de Ruptura por Pressão Interna

1 — Objetivo

1.1 — Este método fixa o modo pelo qual deve ser feito o ensaio de ruptura por pressão interna ,com água fria (± 20ºC) em tubos de PVC rígido.

2 — Aparelhagem

2.1 — O dispositivo com o qual se executa o ensaio pode ser de qualquer tipo, desde que satisfaça as seguintes condições:

a) Permitir que a pressão da água atinga com a velocidade mínima de 2 Kgf/cm² por segundo, o valor que determina a ruptura do tubo.

b) Possuir manômetro suficientemente preciso e periodicamente aferido de modo a permitir a medida da pressão interna que determina a ruptura.

c) Possuir órgãos acessórios, que permitam a conexão do corpo de prova, de maneira que este fique com uma extremidade livre e sujeito ao esforço axial determinado pela pressão.

3 — Amostra

3.1 — A amostra consistirá em seções de 250 mm + 2 di de comprimento.

4 — Ensaio

4.1 — O corpo de prova a ser ensaiado é ligado à máquina de ensaio.

4.2 — Procede-se ao enchimento do corpo de prova com água a 20ºC e a eliminação do ar nele contido.

4.3 — Aplica-se pressão com a velocidade indicada no item 2.1 até a ruptura do corpo de prova.

5 — Resultados

5.1 — O certificado deve consignar pressões de ensaio individuais.

Dept.º de Produtos da

CIA. HANSEN INDUSTRIAL

Proposta de Norma Brasileira

TUBOS DE PVC
P-MB-534

Ensaio de Estabilidade Dimensional

1 — Objetivo

1.1 — Este método fixa o modo pelo qual deve ser feito o ensaio de estabilidade dimensional em tubos de PVC rígido.

2 — **Aparelsagem**

2.1 — Para realização deste ensaio é necessário dispor dos seguintes aparelhos e elementos:

a) Um banho termoestabilizado, capaz de manter a temperatura de ensaio a 140°C ± 2°C durante a duração do mesmo e em todos os pontos do meio calorífico, para o que é necessário estar provido de um sistema de agitação eficaz do meio líquido. A capacidade do banho deve ser tal que não ocorra praticamente nenhuma variação de temperatura ao submergir os corpos de prova. O sistema deve estar provido ainda de um dispositivo conveniente que permita suspender verticalmente os corpos de prova dentro do líquido. O líquido do banho deve ser estável à temperatura utilizada e não deve alterar o material do tubo. A glicerina, o etileno glicol e a vaselina líquida, isenta de hidrocarbonetos aromáticos, constituem meios líquidos adequados, podendo ser utilizados outros.

b) Um termômetro que permita leitura de 0,5°C.

3 — **Corpos de Prova**

3.1 — De cada tubo da amostra se corta uma seção de 30 cm. Os cortes devem ser perpendiculares ao eixo do tubo.

4 — **Ensaios**

4.1 — Traçam-se sobre cada corpo de prova, duas marcas circulares ao redor de duas seções perpendiculares ao eixo do tubo, distantes entre si 100 mm ± 0,25 mm. Para o ensaio em meio líquido uma das marcas deve estar a 10 mm de um dos bordos e cada corpo de prova deve levar uma marca do nível de imersão à aproximadamente 200 mm da marca mais extrema.

4.2 — Regula-se o banho a 140°C ± 2°C.

4.3 — Introduzem-se os corpos de prova no meio calorífico e se mantém nele o tempo indicado na tabela abaixo segundo a espessura da parede do tubo, começando a contar o tempo a partir do momento em que se estabelecer a temperatura de ensaio.

Espessura de parede (e)	Tempo (t)
mm	min.
$e \leq 8$	15
$e > 8$	30

4.4 — Retiram-se os corpos de prova e se deixam esfriar à temperatura ambiente durante pelo menos duas horas.

4.5 — Mede-se, com aprox. de 0,25 mm a distância entre marcas. A medição deve ser feita em 4 geratrizes equidistantes e constitui a média das 4 medições.

5 — **Expressão dos Resultados**

5.1 — Calcula-se a variação dimensional em % da distância original entre as marcas, mediante a fórmula:

$$v = \frac{d_o - d_1}{d_o} \; 100$$

sendo:

v — a variação dimensional em % (esta pode ser positiva ou negativa)

d_o — a distância inicial entre marcas em milímetros.

d_1 — a distância final entre marcas, obtida como média de 4 medições sobre geratrizes equidistantes, em milímetros.

Dept.° de Produtos da

CIA. HANSEN INDUSTRIAL

Proposta de Norma Brasileira

TUBOS DE PVC RIGIDO PARA ESGOTO
P-MB-2

Ensaio de Resistência ao Achatamento

1 — **Objetivo**

1.1 — Este método fixa o modo pelo qual deve ser feito o ensaio de achatamento, à temperatura de ± 20°C, de tubos de PVC rígido para esgoto.

2 — **Aparelhagem**

2.1 — Deve-se utilizar uma prensa hidráulica de pratos paralelos, automática ou manual, que satisfaça as seguintes condições:

a) permitir o completo achatamento das amostras de tubos, com velocidade média de achatamento de aproximadamente 10 cm/min.

b) Dispositivo que permita efetuar leituras da distância entre os pratos paralelos da prensa.

c) Possuir órgãos acessórios, quer permitam a colocação da amostra e a proteção do operador contra eventuais estilhaços.

3 — **Corpos de Prova**

3.1 — Os corpos de prova deverão ser secções de tubo, com comprimento igual ao diâmetro externo.

4 — **Procedimento**

4.1 — O corpo de prova deve estar com temperatura em torno de 20°C, devendo, pois, permanecer imerso em água a 20°C ± 1°C durante, no mínimo, 15 minutos, antes do ensaio.

4.2 — Coloca-se o corpo de prova na prensa e procede-se seu achatamento, com a velocidade indicada no item 2.1.

4.3 — No caso de haver ruptura, deve ser lida a distância entre os pratos, para se estabelecer a máxima porcentagem de achatamento conseguida.

5 — **Resultados**

5.1 — O certificado deve consignar as máximas porcentagens de achatamento individuais, conseguidas sem ruptura e fissuramento na região da dobra.

7 — NORMA DE INSTALAÇÃO

Como vimos, são necessárias diversas disposições construtivas para que os tubos de PVC rígido para esgoto tenham perfeito desempenho. Mesmo um rigor excessivo na Especificação dos Tubos, não garante a qualidade da obra, se esta não for executada corretamente. Procurando atender a este fator, apresentamos aqui uma Proposta de Norma Brasileira para Execução de Redes Coletoras Enterradas de Esgotos Prediais e Despejos Industriais, com tubos e conexões de PVC rígido, composta dos seguintes capítulos:

Proposta de Norma

1 — Objetivo e Campo de Aplicação

2 — Definições

3 — Condições Gerais

4 — Condições Específicas

Obs.: Estamos apresentando, simultaneamente, este texto base à Associação Brasileira de Normas Técnicas, para a devida apreciação.

Agosto de 1972

Dept.° de Produtos da

CIA. HANSEN INDUSTRIAL

Proposta de Norma Brasileira

EXECUÇÃO DE REDES COLETORAS ENTERRADAS DE ESGOTOS PREDIAIS E DESPEJOS INDUSTRIAIS COM TUBOS E CONEXÕES DE PVC RÍGIDO
P-NB

Projeto de Norma

1 — **Objetivo e Campo de Aplicação**

1.1 — **Esta Norma fixa as condições mínimas de como devem ser instalados os tubos de** PVC rígido segundo a EB-... coletores de esgoto, em redes enterradas.

1.2 — **Esta Norma se aplica às redes públicas** de esgotos domésticos e despejos industriais, cuja temperatura não supere 40°C.

1.3 — Estão incluídas nesta Norma os subcoletores, coletores, interceptores e emissários, que trabalham com vazão livre, em situações normais de uso.

1.4 — Estão excluídos desta Norma, os emissários à pressão, a tubulações externas, os sifões invertidos e outras instalações especiais.

2 — **Definições**

2.1 — Para os fins desta Norma, serão adotadas as terminologias TB-3 e TB-16, assim como as seguintes definições:

2.2 — Carga de Roda (Kgf) — força vertical exercida pela roda de veículos, sobre o solo, ou sobre seu revestimento.

2.3 — Carga de Terra (Kgf) — força vertical exercida pelo solo.

2.4 — Deformação Diametral (m) — deformação suportada por um tubo no sentido do diâmetro, quando é comprimido e achatado.

3 — **Condições Gerais**

3.1 — Serviços de topografia e marcação de vala.

3.1.1 — A faixa de terreno que receberá a linha de esgotos, deverá ser estaqueada de 20,00 em 20,00 m, devendo ser assinalados todos os pontos notáveis, tais como, poços de visita, cru-

zamento com outras tubulações ou galerias, inserções importantes, etc.

3.1.2 — A largura da vala deverá ser a menor possível, porém nunca inferior a 60 cm para tubos até 250 mm de diâmetro nominal. Para tubos maiores, este mínimo deverá ser igual ao dobro do diâmetro do tubo a ser assentado. Esta recomendação é válida para valas de até 2,00 m de profundidade; acima de 2,00 m de largura poderá ser acrescida de 10 cm a cada metro a mais de escavação.

3.1.3 — A largura da vala no nível de assentamento dos tubos, deverá obedecer às recomendações do 3.4.

3.2 — Escavação da vala.

3.2.1 — No início da escavação da vala, quer por processo manual ou mecânico, é conveniente afastar o entulho resultante da quebra do pavimento ou eventual revestimento do solo, das bordas da vala ,evitando-se com isso seu uso indevido no assentamento dos tubos.

3.2.2 — As escavações em rocha decomposta, pedras soltas e rocha viva, deverão ser feitas abaixo do nível inferior da tubulação, para que seja possível a execução de um leito de areia, de no mínimo 15 cm.

3.2.3 — A escavação deve obedecer os preceitos da boa técnica, devendo-se utilizar escoramentos sempre que sejam necessários.

3.3 — Cargas nos tubos de PVC rígido.

3.3.1 — Para o cálculo de carga de roda e carga de terra, sobre os tubos de PVC rígido, para esgotos, deve-se utilizar somente critérios estabelecidos para tubos flexíveis.

3.3.2 — Os tubos assentados conforme as recomendações do 3.4, devem ser considerados em completa condição de trincheira.

3.3.3 — A pressão total (P) exercida na superfície imediatamente acima do tubo deve ser considerada como sendo a soma da pressão devido à terra (P_t), com a pressão devido à cargas de roda (P_r). Outras pressões e esforços poderão eventualmente ser consideradas, em casos especiais.

$$P = P_t + P_r \ (Kgf/m^2) \qquad (1)$$

3.3.4 — A pressão devido à terra (P_t) pode ser calculada pela expressão (2), em função do tipo de solo, largura da vala e profundidade do dorso do tubo, referidos na figura I.

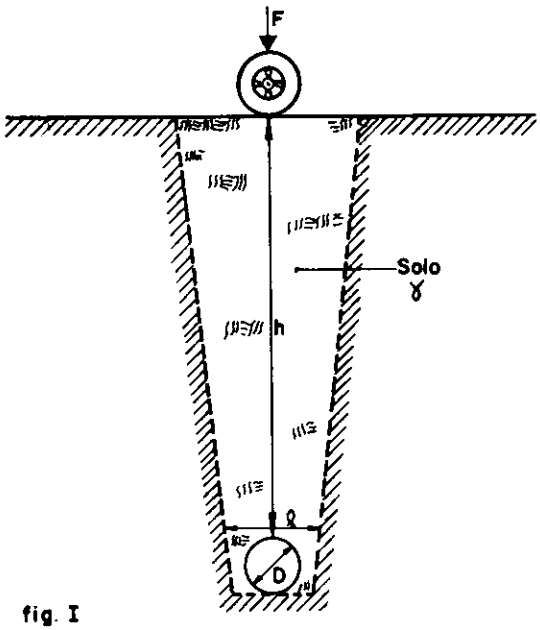


fig. I

$$P_t = C_t \ \gamma \ l \ (Kgf/m^2) \qquad (2)$$

C_t	— coeficiente de carga de terra	—
γ	— peso específico do solo que completa a vala	Kgf/m^3
l	— largura da vala imediatamente acima do tubo	m

3.3.5 — O coeficiente de carga de terra (C_t) pode ser obtido no gráfico da figura II em função do tipo de solo e da relação profundidade do dorso do tubo sobre a largura da vala (h/l).

3.3.6 — A pressão devido à carga de roda (P_r), pode ser calculada pela expressão (3), em função da carga de roda (F), fator de impacto (ϕ) e de carga de roda (C_r)

$$P_r = F \ \phi \ C_r \ (Kgf/m^2) \qquad (3)$$

F	— carga de roda	Kgf
ϕ	— fator de impactor	—
C_r	— coeficiente de carga de roda	$1/m^2$

3.3.7 — O coeficiente de carga de roda (C_r) é função da profundidade do dorso do tubo, e pode ser obtido da tabela I.

3.3.8 — O fator de impacto da carga de roda (ϕ), pode ser considerado nos casos normais, igual a 1. Em casos particulares e a critério do projetista, poderão ser adotados valores acima de 1, porém nunca superiores a 2.

Diagrama de cálculo de carga de terra em condição de trincheira (para tubos flexíveis)

① - Materiais granulares sem coesão (valor mínimo) $\gamma = 1{,}7\ t/m^3$
② - Pedregulho e areia (valor máximo) $\gamma = 1{,}9\ t/m^3$
③ - Solo orgânico saturado (valor máximo) $\gamma = 2{,}0\ t/m^3$
④ - Argila (valor máximo) $\gamma = 2{,}1\ t/m^3$
⑤ - Argila saturada (valor máximo) $\gamma = 2{,}2\ t/m^3$

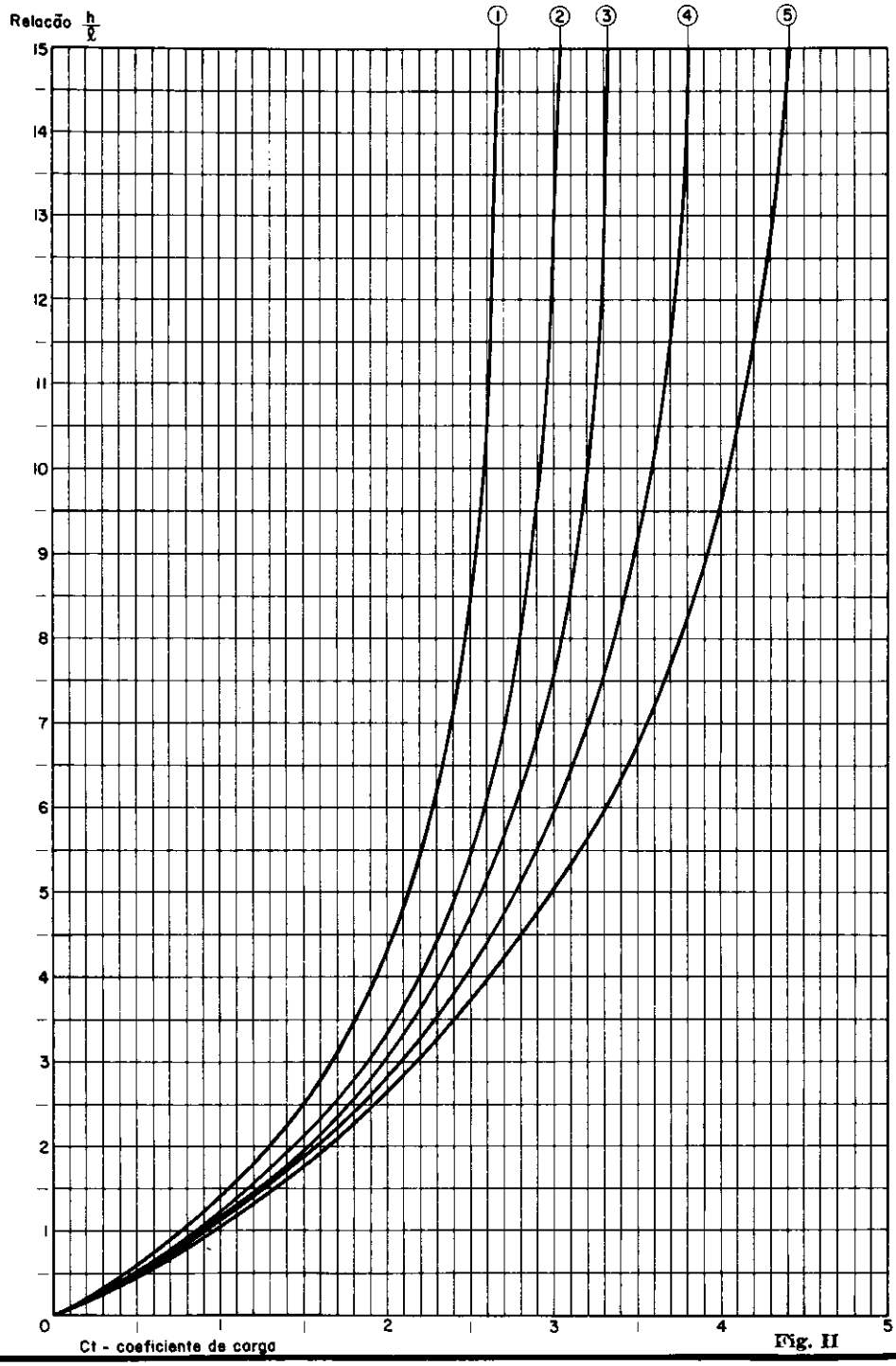


Fig. II

TABELA I

h (m)	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
C_r (1/m²)	0,75	0,55	0,32	0,25	0,21	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07

3.4 — Assentamento dos tubos.

3.4.1 — Os tubos de PVC rígido, deverão ser assentados no fundo da vala, de forma a não sofrerem deformações diametrais excessivas. Dependendo do tipo de solo, da pressão total sobre o tubo, das condições de reaterro, deve-se optar por um dos quatro tipos de assentamento, 3.4.2, 3.4.3, 3.4.4 e 3.4.5.

3.4.2 — Berço de terra: No fundo da vala, antes de se atingir a cota de fundo, deve-se proceder a escavação de um berço no terreno indeformado, conforme a figura III.

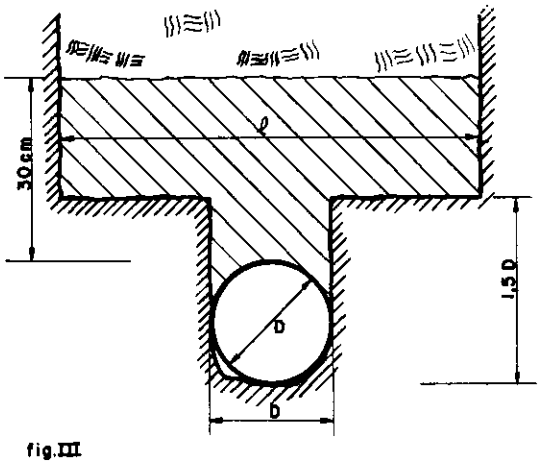


fig. III

3.4.3 — Envolvimento parcial de areia: No fundo da vala, antes de se atingir a cota de fundo, deve-se proceder a escavação de uma pequena valeta, no terreno indeformado, onde o tubo deverá ser assentado, com envolvimento lateral e inferior de areia, conforme a figura IV.

3.4.4 — Base total de areia: Quando não for possível a execução da valeta de fundo, o tubo deverá ser assentado com envolvimento lateral e inferior de areia, que atinge todo o fundo da vala, conforme a figura V.

3.4.5 — Envolvimento total de areia: Quando o terreno no nível do assentamento não tiver condições mecânicas mínimas, o tubo deve ser totalmente envolvido em areia, conforme a figura VI.

3.5 — Reaterro das valas.

3.5.1 — O material de envolvimento dos tubos não deve ser lançado diretamente sobre eles, quando a vala for muito profunda; deve-se ter atenção para que com esse material não venham pedras ou entulhos, que possam danificar os tubos.

3.5.2 — Em qualquer tipo de assentamento empregado, sobre os tubos deverá ser executado um recobrimento de material selecionado, isento de pedras e entulhos, de no mínimo 30 cm.

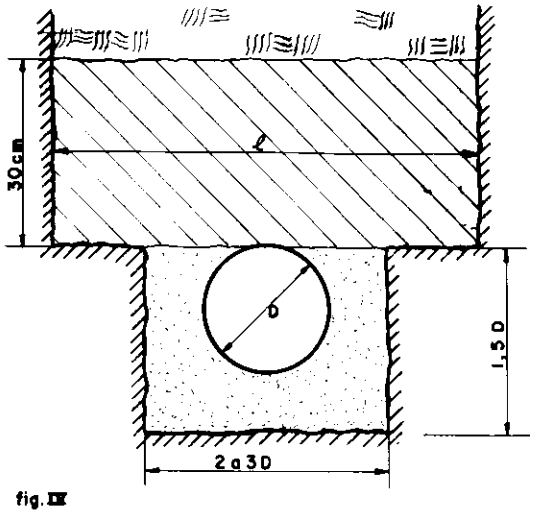


fig. IV

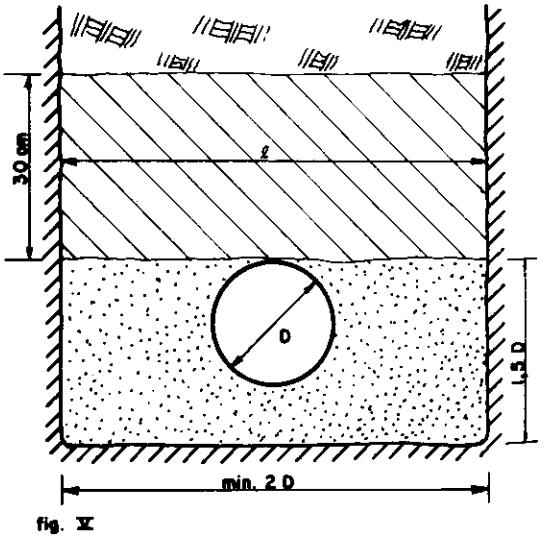


fig. V

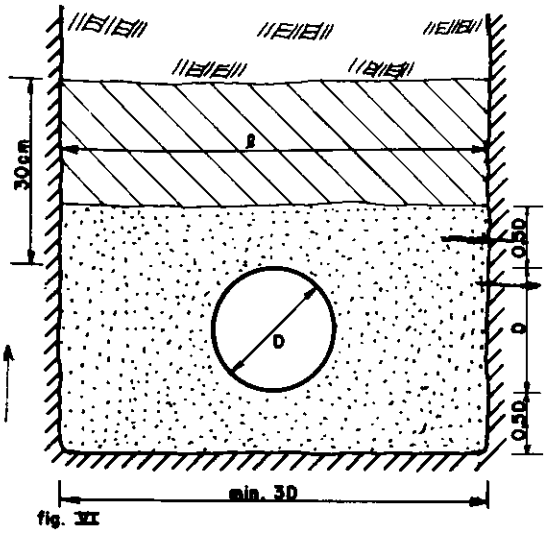


fig. VI

3.5.3 — O restante do material da vala, deve ser lançado em camadas sucessivas e compactadas, de tal forma a se procurar obter o mesmo estado do terreno, das laterais da vala.

3.6 — Execução das juntas dos tubos.

3.6.1 — As juntas de ponta e bolsa para soldar, dos tubos de PVC rígido para esgoto, deverão ser executadas de acordo com a seqüência:

a) Limpar a ponta e a bolsa dos tubos, utilizando-se uma estopa branca, apropriada.

b) Lixar a ponta e a bolsa a serem soldadas, at' retirar todo o brilho das superfícies.

c) Limpar as superfícies a serem soldadas com solução limpadora, apropriada, aconselhando-se metil.

d) As superfícies assim tratadas, devem receber o adesivo especial para PVC rígido, uniformemente distribuido, evitando excessos.

e) Procede-se ao encaixe da junta, devendo a ponta atingir o fundo da bolsa, e deve-se remover o excesso de adesivo.

3.7 — A instalação do selim.

3.7.1 — Os selins utilizados nesses tipos de tubos devem ser instalados conforme especificação do fabricante, dando-se preferência aos do tipo soldável, que já são dotados de elemento de fixação e que exerce a pressão necessária para a soldagem.

3.7.2 — O tubo coletor deve ser furado no tamanho exato, utilizando-se uma furadeira e uma serra triangular. Na abertura desse furo, não se deve utilizar talhadeira ou outro tipo de instrumento de percursão.

3.7.3 — O preparo das superfícies e a execução da soldagem devem obedecer a seqüência do 3.6.

3.7.4 — Após a colocação do selim, o trecho escavado deve ser reposto, devendo-se envolver o coletor e o respectivo selim com areia compactada.

3.7.5 — O coletor predial não deve provocar esforços excessivos sobre o selim e o coletor. Não é aconselhável a colocação de uma inspeção imediatamente acima do selim, o que poderá transmitir cargas de roda diretamente sobre o coletor.

3.8 — A utilização de conexões.

3.8.1 — A utilização de curvas, junções 45° e tês 90°, fica condicionada às particularidades do projeto, onde seus usos são permitidos.

3.8.2 — Essas conexões só devem ser utilizadas em trechos enterrados e totalmente envolvidos em concreto.

3.8.3 — A execução das juntas nessas conexões deve ser semelhante a 3.6.

3.8.4 — As juntas não devem ser submetidas a esforços de tração e as forças nas conexões, devidas às mudanças de direção do fluxo de água, devem ser absorvidas pelo envolvimento de concreto, que funciona como bloco de acoragem.

3.9 — Inspeções e poços de visita.

3.9.1 — Os tubos ou conexões, quando atravessam as paredes das caixas de inspeção e de poços de visita, deverão ser tratados adequadamente para que se consiga uma boa aderência com o cimento e se estabeleça uma vedação satisfatória. É aconselhável tratar-se a parede externa do tubo com o adesivo da junta soldada, juntamente com areia seca. Pode-se usar também tinta betuminosa ou mesmo uma junta de borracha apropriada.

3.9.2 — Nas caixas de inspeção onde a linha atravessa aérea, é conveniente uma acoragem de leito contínuo dos tubos.

3.9.3 — As canaletas de fundo dos poços de visita, deverão ser dotadas de declividade tal que compense a diferença de rugosidade entre

a superfície dos tubos e a das canaletas. No caso despejos industriais, essas canaletas devem ser revestidas com material da mesma resistência química dos tubos de PVC rígido.

4 — Condições Específicas

4 1 — As valas, que não puderem obedecer o mínimo de duas vezes o diâmetro (3 1 2), quando o solo for lodo ou tabatinga (3 4 5), deverão contar com outras disposições construtivas para o assentamento dos tubos, ou então, deverão ser utilizados nesse tipo de obra, tubos com corrugação ou mais espessura de parede, de tal forma a poderem sustentar sozinhos a carga de terra, sem apoio do envolvimento lateral.

4 2 — Quando se utilizar processo mecânico de escavação deve-se preferir os tipos de assentamento intitulados, base total de areia ou envolvmiento total de areia. Neste tipo de escavação é importante a observação do item 4 1.

4 3 — O assentamento de tubos com berço de terra só é permitido para o DN 150 mm e quando são satisfeitas as seguintes condições:

4.3.1 — A pressão total (P) exercida na superfície imediatamente acima do tubo calculada segundo os critérios do item 3.3, não deve ser maior que 2.500 Kgf/m².

4 3 2 — O fundo da vala deve ser constituido de um dos seguintes tipos de solo: areia, argila ou argila rija.

4.3.3 — Durante a execução da valeta, as bordas devem permanecer indeformadas quando pisadas pelos operadores.

4.4 — O assentamento de tubos, com envolvimento parcial de areia, segundo o item 3.4.3, é recomendado quando:

4.4.1 — A pressão total (P) exercida na superfície imediatamente acima do tubo, calculada segundo os critérios do item 3.3, não for superior a 5.000 Kgf/m².

4.4.2 — O fundo da vala for constituido de um dos seguintes tipos de solo: areia, argila, piçarra, argila rija, pedregulhos, moledo e rocha viva.

4 5 — O assentamento de tubos com base total de areia, segundo o item 3 4.4, é recomendado quando:

4 5 1 — O solo no fundo da vala não permitir a abertura da valeta, segundo o item 4 4, sem deformações.

4 5 2 — A pressão total (P) na superfície imediatamente acima do tubo, não superar 5.000 Kgf/m².

4 5 3 — O fundo da vala for constituido de um dos seguintes tipos de solo: argila saturada e tabatinga.

4 6 — O assentamento de tubos com envolvimento total de areia, segundo o item 3 4 5, é recomendado quando:

4 6 1 — O solo de reaterro contém muitas pedras, ou é facilmente penetrável por pedras.

4 6 2 — A pressão total (P) na superfície imediatamente acima do tubo não superar 5.000 Kgf/m².

4 6 3 — O fundo da vala for constituido de argila saturada, tabatinga, lodo ou rocha viva.

4 7 — Quando o material do fundo da vala, não for capaz de suportar a carga do reaterro, de no máximo 5.000 Kgf/m², dever-se-á executar um base de cascalho ou de concreto, convenientemente estaqueada. Os tubos sobre tais bases, deverão ser assentados obrigatoriamente com envolvimento total de areia, conforme o item 3.4.5.

4.8 — Quando o material do fundo da vala for areia, o assentamento pode ser feito por qualquer processo.

4 9 — Em substituição à areia, nos tipos de assentamentos tratados nos itens 3 4, pode-se utilizar, solo areia, solo cimento, pó de pedra ou pedra britada, dependendo a escolha de fatores econômicos.

4.10 — O reaterro e a compactação mecanizada, só deve ser empregado se o processo garantir as exigências dos itens 3.5.1 e 3.5.2.