NELSON BEVILACQUA

**MATERIAIS DE TUBULAÇÕES UTILIZADAS EM
SISTEMAS DE COLETA E TRANSPORTE DE
ESGOTOS SANITÁRIOS. ESTUDO DE CASO DA ÁREA
NORTE DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

**SÃO PAULO
2006**

NELSON BEVILACQUA

**MATERIAIS DE TUBULAÇÕES UTILIZADAS EM
SISTEMAS DE COLETA E TRANSPORTE DE
ESGOTOS SANITÁRIOS. ESTUDO DE CASO DA ÁREA
NORTE DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Hidráulica e Sanitária

Orientador:
Prof. Dr. MILTON TOMOYUKI TSUTIYA

**SÃO PAULO
2006**

Aos meus pais Nelson e Neuza pela formação, dedicação e apoio em todos os momentos de minha vida, à minha esposa Érika pelo apoio, compreensão e incentivo e aos meus filhos Yasmin e Gustavo pela alegria que trouxeram à minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desse trabalho e, em especial:

Aos meus pais, Nelson e Neuza, pela formação, dedicação, apoio e incentivo, sem os quais esse trabalho não seria possível;

À minha esposa, Érika, pela paciência, compreensão, e incentivo durante a elaboração deste trabalho;

Aos meus filhos Yasmin e Gustavo, que nasceram durante esse trabalho e vieram alegrar minha vida com a sua presença;

Ao meu cunhado Hermes pela sua imensa prestatividade e incansável ajuda;

Aos meus sogros, Júlio e Marie, minhas irmãs Rozana e Solange, meus cunhados Francisco e Armando, meus sobrinhos, Pietro, Lucas e Bruna pelo apoio e incentivo;

Ao meu orientador, professor Milton Tsutiya, que com toda dedicação e presteza me conduziu nesta jornada;

Ao professor Roque Passos Pivelli, pela orientação inicial, compreensão, apoio e incentivo;

Aos professores Wanderley da Silva Paganini e Lívio Abraços pelas valiosas informações fornecidas.

Aos companheiros da Sabesp, Mário Gomes Filho, Guilherme Machado Paixão, José Júlio Pereira Fernandes e Mário Alba Braghiroli por terem permitido, apoiado e incentivado a realização deste passo importante em minha carreira;

Aos Sabespianos Paulo da Silva, César Ridolpho, Jurandir Benedito, Agustín Garcia, Paulo Guilhem, Eloy Corral, Gilberto Sinatolli, Roberto Takahashi, Waldyr Nogueira, Luiz Paulo Madureira, José Faria, Sylvio Zonaro, Arnaldo Cruz, Francisco Tatit, Sonia Maria M. de S. Lima, Héinton José Paiva, Nelson Massahiro, Marco Aurélio Calderoni e todos colegas da Sabesp que dedicaram parte seu precioso tempo fornecendo informações que muito contribuíram para a elaboração desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da USP, em especial à Iara, pela presteza, paciência e profissionalismo que nos atendeu durante estes três anos;

Aos meus colegas de trabalho, pelo incentivo, encorajamento e apoio;

Aos meus amigos, Eduardo Bronzatti Morelli, Sônia Diniz, Leandro Nunes, Silene Baptistelli e Paula Vilela pela ajuda e companheirismo no decorrer do curso;

Às empresas: G-Tec e Construcap, pelo fornecimento de dados valiosos utilizados nessa pesquisa.

RESUMO

Este trabalho descreve os diversos materiais que podem ser utilizados nas tubulações de sistemas de esgotos sanitários, apresenta suas principais características, a hidráulica das tubulações, principais fabricantes, aspectos construtivos, operação e manutenção e comentam-se as normas técnicas referentes a esses materiais. Os dados apresentados foram obtidos através de pesquisa na área norte de São Paulo cujo sistema é operado pela Sabesp, consultando-se as unidades funcionais de projeto, apoio técnico, operação, manutenção e obras da Sabesp. Destaca-se a preferência pelo uso das tubulações de PVC para a implantação e manutenção das ligações prediais e redes coletoras devido às vantagens de sua aplicação, tais como: facilidade de transporte e manuseio, maior produtividade, menos problemas operacionais, praticidade e segurança. Para coletores de maiores diâmetros e interceptores há preferência pelos tubos de PRFV, PVC e PEAD e pelo sistema de tubo de concreto cravado. Na escolha do melhor material a ser utilizado, deve-se considerar além das características dos esgotos, a resistência, a disponibilidade, a facilidade de transporte, e custos desse material. Deve-se, também se levar em conta, o método aplicado na construção e as condições locais da obra. Como principais conclusões, destaca-se a viabilidade econômica da utilização do PVC em relação ao tubo cerâmico nas obras de redes e ligações, e a tendência da utilização de PRFV e PEAD na implantação de novos coletores com diâmetro de 300 a 500mm. Recomenda-se a utilização de juntas elásticas nas tubulações cerâmicas e a especificação do tipo de material precedida de estudos amplos de viabilidade que considerem a sua vida útil, praticidade de aplicação, custos, aspectos ambientais, operação, manutenção, segurança e rapidez na implantação da obra.

ABSTRACT

This dissertation describes the various materials used in sanitary sewer systems, presents their main characteristics, pipeline hydraulics and manufacturers. It also features construction, operational and maintenance aspects for the different materials as well as the technical regulations concerning these materials. Data were collected in the Northern area of São Paulo, whose sewer system is operated by Sabesp, through research in the following functional units: project, technical support, operations, maintenance and construction. This study highlights the operation area's preference for PVC pipes for building and maintenance of sewage connections and sewers because its advantages such as: ease of transportation and handling, greater productivity, less operational problems, practicality and safety. For large diameter trunk sewers and interceptors, FRP (Fiberglass reinforced plastic), PVC (Polyvinyl chloride) and PE (Polyethylene) pipes and Jacking Pipe system are usually the choice. In the selection of the best material, one should consider the wastewater characteristics and the material resistance, availability, ease of transportation and cost. The construction methods and local conditions should also be taken into account in this process. In conclusion, this study stresses the economical viability of PVC pipes over ceramical pipes in sewers and connections, the tendency to use FRP and PE in new 300 – to 500- mm- diameter trunk sewers and recommendation for the use of elastic joints with ceramical pipes. Lastly, the specification of the type of material to be used should be preceded by broad viability studies that consider its required life, practicality, cost, environmental aspects, operational and maintenance aspects and safety in the building process.

SUMÁRIO

	Página
1 – SUMÁRIO EXECUTIVO.....	01
2 – INTRODUÇÃO.....	03
3 – OBJETIVOS.....	05
4 – REVISÃO DA LITERATURA.....	06
4.1 –Introdução.....	06
4.2 –Principais características dos materiais.....	09
4.2.1 - Aço.....	09
4.2.2 - PVC.....	16
4.2.3 - Polietileno.....	19
4.2.4- Concreto.....	20
4.2.5 - Ferro fundido.....	25
4.2.6 - Cerâmica.....	36
4.2.7 - Plásticos em geral.....	39
4.2.8 - Fibrocimento.....	42
4.3 - Hidráulica das tubulações.....	42
4.3.1 – Condutos livres.....	42
4.3.2 – Condutos forçados.....	44
4.4 - Fabricantes de materiais.....	49
4.4.1 – Cerâmica.....	49
4.4.2 – PVC.....	51
4.4.3 – Ferro fundido dúctil.....	53
4.4.4 – Concreto.....	54
4.4.5 – Polietileno de Alta Densidade - PEAD.....	56
4.4.6 – Poliéster reforçado com Fibras de Vidro - PRFV.....	57
4.5 - Aspectos construtivos.....	59
4.5.1 – Escavação.....	59
4.5.2 – Escoramento.....	59

4.5.3 – Assentamento.....	64
4.5.4 – Aterro e recobrimento de valas cavas e poços.....	72
4.5.5 – Métodos não destrutivos.....	74
4.6 – Operação e manutenção das tubulações.....	82
4.6.1 – Cadastro do sistema.....	82
4.6.2 – Projeto de coletores.....	82
4.6.3 – Construção de coletores.....	82
4.6.4 – Inspeções periódicas.....	82
4.6.5 – Registro de ocorrências.....	83
4.6.6 – Educação sanitária.....	83
4.6.7 – Infiltração nas tubulações de esgoto.....	84
4.6.8 – Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgotos sanitários.....	86
4.6.9 – Equipamentos para a manutenção das tubulações de esgotos.....	87
4.6.9.1 - Máquina de cabos helicoidais para ramais prediais – “Flexi – cleaner”.....	87
4.6.9.2 – Mini – hidrojateamento – “Mini – jet”.....	88
4.6.9.3 – Hidrojateamento de alta pressão – “Sewer – jet”.....	89
4.6.9.4 – Máquina de varetas giratórias para coletores – “Sewer roder”.....	90
4.6.9.5 – Equipamento combinado de limpeza por hidrojateamento e sucção por alto vácuo – “ Vac- all”.....	90
4.7 – Corrosão nas tubulações	91
4.8 – Normas da ABNT e da Sabesp.....	95
4.8.1 – Normas da ABNT.....	95
4.8.2 – Normas da Sabesp.....	99
5 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	101
5.1 – Escolha da área de pesquisa.....	101
5.2 - Sistema de esgotos da área de pesquisa.....	104
5.2.1- Vila Maria.....	104
5.2.2 – Pirituba.....	114
5.2.3– Franco da Rocha.....	120
5.2.4 – Bragança Paulista.....	122
5.2.5 – Coletores tronco e interceptores.....	125

5.3- Levantamentos de informações.....	127
6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	128
6.1 - Redes coletoras.....	128
6.1.1- Vila Maria.....	128
6.1.2 – Pirituba.....	132
6.1.3– Bragança Paulista.....	134
6.1.4 – Franco da Rocha.....	135
6.2 - Ligações prediais.....	137
6.2.1- Vila Maria.....	137
6.2.2 – Pirituba.....	138
6.2.3– Bragança Paulista.....	138
6.2.4 – Franco da Rocha.....	139
6.3 – Linhas de Recalque.....	139
6.3.1- Vila Maria.....	139
6.3.2 – Pirituba.....	140
6.3.3– Bragança Paulista.....	140
6.3.4 – Franco da Rocha.....	140
6.4 - Coletores Tronco e Interceptores.....	140
6.5 – Diâmetro nominal, externo e interno das tubulações.....	145
6.5.1 – PVC.....	147
6.5.2 – Cerâmica.....	148
6.5.3 – Ferro fundido.....	150
6.5.4 – Concreto.....	151
6.5.5 – Considerações gerais.....	153
6.6 – Custos das tubulações de esgotos.....	154
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	162
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1– Tubulação de aço.....	9
Figura 2– Junta elástica.....	12
Figura 3– Junta soldada.....	12
Figura 4– Junta flangeada.....	13
Figura 5– Conexões e peças especiais de aço.....	14
Figura 6– Tubo de aço com revestimento de polietileno.....	15
Figura 7– Tubos de PVC.....	18
Figura 8– Tubos de PEAD.....	19
Figura 9– Execução de junta pelo método de solda de topo.....	20
Figura 10– Conexões de PEAD.....	20
Figura 11– Tubos de concreto.....	21
Figura 12– Junta elástica dos tubos de concreto.....	24
Figura 13– Revestimento interno de plástico encravado.....	25
Figura 14– Assentamento de tubo de ferro fundido dúctil.....	27

Figura 15– Revestimento interno do tubo de ferro fundido dúctil.....	30
Figura 16– Junta de chumbo.....	31
Figura 17– Junta elástica.....	32
Figura 18– Junta de flanges.....	33
Figura 19– Junta mecânica.....	33
Figura 20– Junta travada.....	34
Figura 21– Conexões para tubulações de esgotos sob pressão.....	35
Figura 22– Junta Dresser.....	35
Figura 23– Junta Gibault.....	36
Figura 24– Tubo cerâmico de junta rígida e semi-rígida.....	37
Figura 25– Tubo cerâmico de junta elástica.....	38
Figura 26– Tubos e peças cerâmicas.....	39
Figura 27– Tubos e peças de PRFV.....	41
Figura 28– Pontaleteamento.....	60
Figura 29– Escoramento descontínuo.....	61
Figura 30– Escoramento contínuo.....	62

Figura 31– Escoramento especial.....	63
Figura 32– Escoramento metálico - madeira.....	64
Figura 33– Assentamento simples.....	65
Figura 34– Preparação do fundo da vala para o assentamento de tubo cerâmico.....	66
Figura 35– Colocação da estopa de vedação na ponta do tubo cerâmico.....	66
Figura 36– Encaixe e alinhamento da ponta na bolsa do tubo cerâmico.....	67
Figura 37– Preparação do cachimbo no tubo cerâmico.....	67
Figura 38– Enchimento do cachimbo de barro com asfalto.....	68
Figura 39– Resfriamento do asfalto após o preenchimento do cachimbo.....	68
Figura 40– Remoção da corda alcatroada.....	69
Figura 41– Junta deslocada da tubulação cerâmica, em operação.....	69
Figura 42– Assentamento com lastro.....	70
Figura 43– Assentamento com lastro, laje e berço.....	70
Figura 44– Assentamento com lastro, laje, berço e estacas.....	71
Figura 45– Interceptor construído pelo método mini-shield.....	75
Figura 46– Shield utilizado na escavação do túnel.....	76

Figura 47–	Projeção de concreto sobre tela de aço.....	77
Figura 48–	Túnel NATM acabado.....	77
Figura 49–	Montagem de chapas em aço corrugado.....	78
Figura 50–	Concretagem das chapas de aço corrugado.....	78
Figura 51-	Equipamento para a perfuração direcional.....	79
Figura 52–	Poço de serviço para a cravação dos tubos.....	80
Figura 53–	Cravação dos tubos de concreto.....	81
Figura 54-	Shield utilizado na cravação dos tubos.....	81
Figura 55–	Flexi – cleaner.....	88
Figura 56–	Mini – jet.....	89
Figura 57–	Sewer – jet.....	89
Figura 58–	Sewer – roder.....	90
Figura 59–	Vac-all.....	91
Figura 60-	Corrosão de tubo de esgoto causado por sulfeto de hidrogênio.....	92
Figura 61-	Representação esquemática de desenvolvimento típico de corrosão em tubo de concreto armado.....	92
Figura 62-	Municípios da área norte de São Paulo operada pela Sabesp.....	102

Figura 63– Arco de serra utilizado para o corte dos tubos de PVC.....	108
Figura 64– Cortador de tubos de ferro fundido dúctil.....	109
Figura 65– Ferramenta para o corte de tubos cerâmicos.....	110
Figura 66– Selim cerâmico.....	110
Figura 67– Adaptador para a transição de material, cerâmico/PVC.....	111
Figura 68– Selim de PVC.....	111
Figura 69– Curvas de PVC.....	112
Figura 70– Tê cerâmico.....	112
Figura 71- Curva cerâmica de 45°	113
Figura 72– Curva cerâmica de 90°	113
Figura 73– Luvas de PVC.....	114
Figura 74– “Flex cleaner”: equipamento utilizado para a desobstrução de ramal de esgoto.....	117
Figura 75– A esquerda o “sewer roder” (conhecido popularmente como caminhão vareta) e a direita, o “sewer jet”: equipamentos utilizados na desobstrução de redes coletoras.....	118
Figura 76– Armazenamento dos tubos cerâmicos.....	118
Figura 77– Armazenamento dos tubos de PVC.....	119

Figura 78– Tubos de PRFV	126
Figura 79– Facilidade no transporte dos tubos de PVC.....	129
Figura 80– Assentamento do tubo de PVC em locais com grande número de interferências.....	129
Figura 81– Tubos de PEAD utilizados nos coletores da região de Vila Maria.	142
Figura 82– Anel segmentado danificado.....	144
Figura 83– Tubo de concreto utilizado na obra de recuperação do coletor tronco.....	145
Figura 84– Obra do coletor tronco executado com tubo de concreto cravado.	145
Figura 85– Preços referenciais dos materiais das tubulações.....	154
Figura 86– Preços referenciais – PVC e cerâmica.....	155
Figura 87– Preços reais de PVC e cerâmica.....	155
Figura 88– Comparação dos preços reais e referenciais de PVC e cerâmica....	156
Figura 89– Preços referenciais do assentamento das tubulações.....	158
Figura 90– Preços referenciais do assentamento das tubulações cerâmicas e de PVC.....	158
Figura 91– Preços referenciais do assentamento e materiais das tubulações...	159

Figura 92– Preços reais de assentamento e materiais com contrato em andamento.....	160
Figura 93– Preços reais de obras de prolongamento de rede coletora de esgotos.....	161

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Valores do coeficiente de Manning.....	43
Tabela 2 – Materiais utilizados nas linhas de recalque.....	45
Tabela 3 – Valor do coeficiente C de Hazen – Williams.....	46
Tabela 4 – Coeficiente de rugosidade (K), em mm, para a fórmula Universal.....	48
Tabela 5 – Profundidades mínimas de recobrimento.....	73
Tabela 6- Contribuições pluviais parasitárias.....	87
Tabela 7 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos da Vila Maria.....	105
Tabela 8– Características do ITI 8.....	106
Tabela 9 – Características do coletor tronco Cabuçu de Cima.....	106
Tabela 10 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos de Pirituba.....	115
Tabela 11 – Características do coletor tronco Ribeirão Vermelho e ITI 3.....	116
Tabela 12- Macrodados do município de Franco da Rocha.....	120
Tabela 13 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos de Franco da Rocha.....	121
Tabela 14 - Macrodados do município de Bragança Paulista.....	123

Tabela 15 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos do município de Bragança Paulista.....	123
Tabela 16 – Diâmetros das tubulações de PVC.....	147
Tabela 17 – Diâmetros e vazões das tubulações de PVC.....	148
Tabela 18 – Dimensões dos tubos cerâmicos conforme a NBR 5645.....	148
Tabela 19 – Diâmetros das tubulações cerâmicas.....	149
Tabela 20 – Diâmetros e vazões das tubulações cerâmicas.....	149
Tabela 21 – Dimensões e tolerâncias das tubulações de FoFo.....	150
Tabela 22 – Diâmetros das tubulações de FoFo.....	150
Tabela 23 – Diâmetros e vazões das tubulações de FoFo.....	151
Tabela 24 – Diâmetros das tubulações de concreto.....	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTC	Associação Brasileira de Tubos de Concreto
a.C.	Antes de Cristo
Acertubos	Associação Latino Americana dos Fabricantes dos Tubos Cerâmicos
Al	Alumínio
BDI	Benefícios e despesas indiretas
cm	centímetro
°C	Grau Celsius
Cetesb	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
DC	Desobstrução de coletor
DD	Desobstrução de ramal domiciliar
DEFOFO	Diâmetro equivalente ao dos tubos de ferro fundido
DN	Diâmetro nominal
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FRP	Fiberglass reinforced plastic
FoFo	Ferro fundido
IORC	Índice de obstrução de redes coletoras
IORD	Índice de obstrução de ramal predial
ITI	Interceptor Tietê
kg	quilograma

L	Litro
L/s	Litro por segundo
m	Metro
mm	Milímetro
m ³	Metro cúbico
Mg	Magnésio
NATM	New Australian Tunnelling Method
NBR	Norma Brasileira
NTS	Norma Técnica Sabesp
Pa	Pascal
PBA	Ponta bolsa com anel de borracha
PE	Polyethylene
PEAD	Polietileno de alta densidade
PI	Poço de inspeção
PN	Pressão nominal
PRFV	Poliéster reforçado com fibras de vidro
PV	Poço de visita
PVC	Cloreto de polivilina
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
TI	Taxa de contribuição de infiltração
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Velocidade média do escoamento
R_H	Raio hidráulico
I	Declividade da linha de energia
C	Coeficiente de Chézy
n	Coeficiente de rugosidade de Manning
Q	Vazão
D	Diâmetro
J	Perda de carga unitária
C	Coeficiente adimensional que depende da natureza das paredes dos tubos
h_f	Perda de carga
f	Coeficiente de atrito
L	Comprimento da tubulação
g	Aceleração da gravidade
K	Coeficiente de rugosidade

1 - SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente trabalho apresenta o estado da arte onde foram pesquisados dados referentes aos diversos materiais utilizados nas tubulações de sistemas de esgotos sanitários, tais como: características do material, aspectos hidráulicos, métodos construtivos, aspectos de operação e manutenção, normas da ABNT e da Sabesp e consulta aos principais fabricantes.

Pesquisou-se unidades operacionais, comerciais, administrativas de projetos e obras da área de estudo. As áreas escolhidas por meio de análise operacional do sistema, aspectos demográficos e sociais da região norte de São Paulo operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) foram Vila Maria, Pirituba, Bragança Paulista e Franco da Rocha.

Os resultados obtidos demonstram a crescente preferência pela utilização dos tubos de PVC para a execução de redes coletoras e ligações prediais. Diversos problemas operacionais são detectados devido à infiltração causada nas juntas cerâmicas, que na maioria das vezes é executada inadequadamente com a mistura de solo-cimento conhecida popularmente como tabatinga.

As linhas de recalque são todas executadas em ferro fundido dúctil e apenas na região da Vila Maria foram detectados problemas de corrosão do revestimento interno da tubulação.

Os coletores e interceptores são em sua maioria executados em concreto, destacando-se o método não destrutivo, Jacking Pipe, que está sendo largamente utilizado na segunda etapa do programa de despoluição do rio Tietê.

Novos materiais estão sendo utilizados na área norte de São Paulo operada pela Sabesp, como o PEAD e o PRFV. A experiência operacional da utilização desses materiais vem demonstrando uma forte aceitação dos mesmos e a ampliação de sua aplicação.

Na manutenção de coletores destaca-se o uso dos tubos de PRFV, cuja preferência deve-se a sua facilidade de manuseio e transporte.

Apresentam-se, através de gráficos comparativos, os custos de aquisição e assentamento de diferentes materiais das tubulações utilizadas em sistemas de esgotos.

Este trabalho concluiu que, a utilização dos tubos de PVC em obras de ligações prediais e redes coletoras de esgotos é mais viável economicamente que a tubulação cerâmica.

2 - INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos, em que os homens começaram a se agrupar em cidades, a coleta e o afastamento dos esgotos sanitários passaram a ser uma grande preocupação. Os materiais utilizados para essa finalidade foram evoluindo concomitantemente com o crescimento das cidades.

Em 3750 a.C. foram construídas com pedras as galerias de esgotos em Nipur (Índia) e na Babilônia. Em 3100 a.C. já se tem notícia do emprego de manilhas cerâmicas e em 2000 a.C. foi utilizado no Palácio de Minos, em Knossos, manilhas cerâmicas de ponta e bolsa com 0,70m de comprimento. A Cloaca Máxima de Roma, conhecida como o primeiro sistema de esgoto planejado e implantado no mundo, foi construída com pedras arrumadas em 514 a.C., apresentando uma extensão de 740m e diâmetro equivalente de 4,30m (FERNANDES, 1997).

No século XIX na Inglaterra iniciou-se a utilização dos tubos de ferro fundido e nos Estados Unidos (Nova Iorque), tem-se a informação das primeiras instalações de tubos de concreto para esgotos sanitários. No século XX, em 1953, inicia na Inglaterra a fabricação dos tubos de PVC (NUVOLARI, 2003).

No Brasil, a primeira implantação da rede de esgotos foi iniciada na cidade do Rio de Janeiro em 1857 e concluída em 1864. Desde então, o Rio de Janeiro se tornou a quinta cidade do mundo com sistema de esgotos sanitários, compreendendo redes coletoras e instalações de tratamento. Posteriormente à construção do sistema de esgotos do Rio de Janeiro, foram construídos os sistemas de esgotos de Recife, em 1873 e São Paulo, em 1876 (AZEVEDO NETTO, 1959 apud CHAMA NETO, 2004).

O sistema de esgoto sanitário é composto de ligações prediais, rede coletora, coletores tronco, interceptores, estações elevatórias e estações de tratamento. Este trabalho, apresenta os materiais das unidades lineares que compõe os sistemas de

esgotos, ou seja, as redes coletoras e seus ramais prediais, os coletores tronco, os interceptores e linhas de recalque das estações elevatórias.

Os principais materiais que vêm sendo utilizados em sistemas de coleta e transporte de esgotos são os tubos de cerâmica, plástico, concreto e ferro fundido dúctil. Nas redes coletoras, observa-se uma tendência de substituir o material cerâmico pelo PVC, principalmente devido a sua praticidade de instalação, manuseio e redução de manutenção. Nos coletores e interceptores, novos materiais como a fibra de vidro, o PEAD e o concreto de alta resistência para a cravação estão sendo empregados, e nas linhas de recalque, há uma predominância da utilização do ferro fundido dúctil.

Para a escolha dos tipos de materiais das tubulações de esgotos há necessidade de estudos técnicos e econômicos que relacionem custos dos materiais, hidráulica das tubulações, custos de construção, interferências existentes, facilidade no transporte, manuseio, estocagem, tipo de solo, profundidade do assentamento, disponibilidade e periodicidade de manutenção.

3 - OBJETIVOS

Os objetivos principais deste trabalho são:

- Identificar os principais materiais utilizados em sistemas de esgotos sanitários;
- Apresentar dados de implantação, operação, manutenção e custos de aquisição e assentamento dos diferentes materiais das tubulações do sistema de esgotos da área norte de São Paulo operada pela Sabesp, destacando as suas vantagens e desvantagens;
- Análise crítica da aplicação dos materiais das tubulações na área de pesquisa;
- Propor a utilização dos materiais mais adequados para as tubulações de coleta e transporte de esgotos.

4 - REVISÃO DA LITERATURA

4.1 - Introdução

A revisão bibliográfica dessa dissertação apresenta as principais características dos materiais de tubulações utilizadas no sistema de coleta e afastamento de esgotos. São apresentados dados de hidráulica das tubulações, ressaltando-se a influência do tipo de material expressa através dos coeficientes de rugosidade. Pesquisou-se os principais fabricantes, aspectos construtivos, operação e manutenção com ênfase na corrosão sofrida por essas tubulações. Esta revisão apresenta, também, a pesquisa realizada em normas técnicas da ABNT e da Sabesp relacionadas aos materiais das tubulações de esgotos.

• Definições

As partes que constituem os sistemas de esgotos sanitários são (Adaptado de TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999):

- Ligação predial

Trecho de tubulação compreendido entre a caixa de inspeção de ligação e o coletor público de esgoto.

- Rede coletora

É o conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios.

- Coletor tronco

O coletor tronco é o coletor principal de uma bacia de drenagem, que recebe a contribuição dos coletores secundários, conduzindo seus efluentes a um interceptor ou emissário.

- Interceptor

São canalizações que recebem coletores ao longo do seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas.

- Emissários

São canalizações destinadas a conduzir os esgotos a um destino conveniente (estação de tratamento e/ou lançamento) sem receber contribuições em marcha.

- Sifão Invertido

São obras destinadas à transposição de obstáculos pela tubulação de esgoto, funcionando sob pressão.

- Estação elevatória

É o conjunto de instalações destinadas a transferir os esgotos de uma cota mais baixa para outra mais alta.

- Estação de tratamento de esgotos

É o conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes do seu lançamento no corpo receptor.

As unidades que compõem o sistema de esgotos são constituídas por tubulações que podem ser fabricadas com diferentes materiais, tais como: cerâmica, cloreto de polivilina (PVC), ferro fundido (FoFo), concreto, polietileno de alta densidade (PEAD), poliéster reforçado com fibras de vidro (PRFV) e aço.

• **Escolha do material das tubulações**

Os principais fatores que devem ser observados para a escolha do material a ser utilizado nas tubulações de esgotos são:

- Características dos esgotos;
- Resistência à abrasão e ao ataque químico;
- Resistência a cargas externas;

- Facilidade de transporte;
- Disponibilidade de diâmetros necessários;
- Custo do material;
- Custo de assentamento;
- Custo de transporte;
- Métodos aplicados na construção;
- Condições locais.

Para Sanks et al (1998), os principais fatores a serem considerados para a seleção da tubulação são:

- Propriedades do fluido: propriedades corrosivas ou de formação de resíduo.
- Condições de serviço: pressão (incluindo picos e transientes), atmosfera corrosiva para tubulação exposta, carga do solo, capacidade de suporte e recalque, cargas externas e potencial corrosivo para tubulação enterrada.
- Disponibilidade: tamanhos, espessuras e conexões disponíveis.
- Propriedades do tubo: força estática e fadiga, resistência à corrosão, resistência à fricção de fluido do tubo ou revestimento interno.
- Economia: vida útil, manutenção, custo (fabricação e frete ao local) e custo dos reparos.

A escolha dos materiais para tubulações de esgoto depende da natureza e do grau de corrosividade da corrente líquida. Na maioria dos casos, satisfazem os tubos de PVC e barro vidrado para os diâmetros médios, e concreto armado para os diâmetros grandes. Em casos especiais pode ser necessário o emprego de tubos de ferro fundido dúctil com revestimentos internos de plásticos, borrachas, etc. (TELLES, 1987).

Alta resistência, rigidez, grande variedade de tamanhos, espessuras e de conexões disponíveis, tornam os tubos de aço ou ferro fundido dúctil as melhores escolhas para a tubulação utilizada em linhas de recalque de estações elevatórias. As propriedades destes dois materiais são similares e na maioria das situações é o preço o fator determinante na escolha. (SANKS et al., 1998).

4.2 – Principais características dos materiais

4.2.1 - Aço

Os tubos de aço são recomendados nos casos onde ocorrem esforços elevados sobre a linha, como em travessias diretas de grandes vãos, cruzamentos subaquáticos ou ainda quando se deseja uma tubulação com pequeno peso, de absoluta estanquidade e com grande resistência a pressões de ruptura. Devido à sua grande flexibilidade os tubos de aço resistem aos efeitos de choques, deslocamentos e pressões externas. (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

A Figura 1 apresenta a utilização da tubulação de aço em obras de saneamento.

Figura 1– Tubulação de aço. Fonte: (CATÁLOGO ALVENIUS, 2005).

A tubulação de aço geralmente é competitiva em comparação à tubulação de ferro fundido dúctil quando se trata de grandes diâmetros e pressões elevadas, sendo que

suas principais vantagens são: vazamentos quase inexistentes quando soldadas; baixa fragilidade; alta resistência às pressões internas e externas; e disponíveis para vários diâmetros e tipos de juntas. Como desvantagem destacam-se: maior cuidado com o transporte e armazenamento; cuidados com a dilatação térmica; dimensionamento adequado quanto ao colapso das paredes dos tubos; pouca resistência à corrosão externa, necessitando de revestimentos especiais e proteção catódica (TSUTIYA, 2004).

Segundo Sanks et al. (1998) as principais vantagens do tubo de aço incluem alta resistência, capacidade de defletir sem quebrar, facilidade de instalação, resistência a choque, peso mais leve que o ferro fundido dúctil, facilidade de fabricação, disponibilidade de configurações especiais por soldagem, variedade de tamanhos, e facilidade de modificação no campo.

Os tubos de aço são disponíveis no mercado, com ponta e bolsa, contendo junta elástica ou soldados, rebitados, sem costura e corrugados. No Brasil, os tubos de aço utilizados em saneamento básico são fabricados em diâmetros entre 150mm a 2500mm, sendo que pelas suas características, sua aplicação se torna mais vantajosa nas tubulações com diâmetros maiores que 800mm. Esse tipo de material é utilizado principalmente em adutoras de sistemas de abastecimento de água.

• **Fabricação**

A fabricação dos tubos de aço consiste na dobra das chapas de aço e na soldagem destas, de forma retilínea ou helicoidal. Para a obtenção de um tubo de qualidade, a resistência da chapa deverá estar entre 35 e 54 kgf/mm² e um teor de carbono máximo de 0,35%, pois, quanto maior for a quantidade de carbono no aço maior será sua resistência de carbono, porém, a soldabilidade do aço ficará prejudicada com o acréscimo de carbono (ALAMBERT, 1997).

- **Dilatação térmica**

As tubulações de aço podem sofrer os efeitos da dilatação térmica, principalmente quando expostas ao sol. Essas tubulações devem ser pintadas para a redução da absorção de calor e devem ser utilizadas juntas de expansão ou dilatação para a absorção desses efeitos (ALAMBERT, 1997).

- **Manuseio**

Os tubos de aço devem ser manuseados com grande cuidado, pois apresentam facilidade de deformação em sua montagem.

- **Transporte e Armazenamento**

Os tubos devem ser colocados em pilhas, não muito altas, sobre berços de madeira acomodados entre eles, protegidos com material não abrasivo, sendo que suas pontas devem ser escoradas para que não sofram ovalizações. O revestimento desses tubos não deverá ser danificado durante o seu manuseio.

- **Juntas**

- Junta elástica

Utilizadas nas tubulações ponta e bolsa (Figura 2) com diâmetros variando de 150mm a 600mm. Esse tipo de junta dispensa mão-de-obra especializada, pois apresenta facilidade na montagem e permite deflexões máximas de 4,5° mantendo sua estanqueidade, além disso, dispensa a necessidade do uso da areia na execução da envoltória para o seu assentamento.

Figura 2– Junta elástica. Fonte: (CATÁLOGO CONFAB, 1994).

- Junta soldada

É o tipo de junta mais utilizada nas tubulações de aço, sendo realizada através de solda de topo (Figura 3). Pode-se destacar como vantagem desse tipo de junta, a grande resistência mecânica, estanqueidade perfeita, dispensa manutenção e facilidade de aplicação de revestimentos, e como desvantagens, a necessidade de mão-de-obra especializada, a impossibilidade de desmontagem e a necessidade de execução de ancoragens.

Figura 3– Junta soldada. Fonte: (ALAMBERT, 1994).

- Junta flangeada

Os flanges são soldados na própria tubulação (Figura 4). Esse tipo de junta é utilizado principalmente em estações elevatórias, nas tubulações de sucção e no barrilete, sendo de fácil montagem e desmontagem e dispensam blocos de ancoragem (TSUTIYA, 2004).

Figura 4– Junta flangeada. Fonte: (CATÁLOGO ALVENIUS, 2005).

- Juntas especiais

Essas juntas especiais podem ser do tipo Dresser, Gibault, de expansão, luvas Alvenius, etc.

• Conexões e peças especiais

As diversas conexões e peças especiais de aço carbono (Figura5) costumam ser feitas no próprio canteiro de obra, devido a grande versatilidade do aço.

Nos casos das tubulações com ponta e bolsa com junta elástica, podem ser encontradas conexões próprias com variações de diâmetros de 150 a 600mm nas classes de pressões de PN-10, PN-16, PN25, com revestimentos nas mesmas especificações dos tubos.

Figura 5– Conexões e peças especiais de aço. Fonte: (CATÁLOGO ALVENIUS, 2005).

• Revestimentos

Os tubos de aço apresentam pouca resistência à corrosão, necessitando sempre de revestimentos especiais, tais como, esmalte de betume de carvão, coaltar epóxi (aplicados internamente e externamente), alumínio fenólico (aplicado externamente), argamassa de cimento (aplicado internamente) e proteção catódica que fornece uma proteção eletroquímica da superfície da tubulação.

Conforme Confab (2002) apud Tsutiya (2004) os principais revestimentos externos utilizados nas tubulações de aço são:

- FBE (Fusion Bonded Epoxy): constituído por pintura em pó a base de resina epoxy, e sua aplicação forma um filme contínuo aderido à superfície metálica, proporcionando alta resistência química à corrosão e ao deslocamento catódico;
- Polietileno tripla camada: revestimento composto por primer epoxy, adesivo e polietileno/propileno, formando uma barreira protetora entre a superfície do tubo e o ambiente, garantindo alta eficiência contra a corrosão e o deslocamento catódico;
- Poliuretano tar: sua principal característica é a alta resistência à abrasão e ao impacto;

- Primer epoxy com alumínio fenólico: o primer epoxy confere ao tubo uma barreira química contra a corrosão, o alumínio fenólico proporciona excelente impermeabilidade, alta reflexão à luz e resistência térmica.

Para as tubulações de aço aéreas utiliza-se como revestimento externo o primer epoxy com alumínio fenólico. Para tubulações enterradas utiliza-se FBE/ polietileno tripla camada/poliuretano e para peças especiais utiliza-se o poliuretano tar. Como revestimento interno, tem sido utilizado o coalter epoxy (CONFAB, 2002 apud TSUTIYA, 2004).

A Figura 6 apresenta tubulação de aço revestida de polietileno.

Figura 6 – Tubo de aço com revestimento de polietileno. Fonte: (CATÁLOGO ALVENIUS, 2005).

• Proteção catódica

A corrosão do tubo de ferro e do aço é uma reação eletroquímica. A proteção catódica consiste em introduzir uma corrente contínua controlada para se opor à corrente natural destrutiva. Um método alternativo é enterrar ânodos para “sacrifício” que também revertam a corrente. A proteção catódica de tubos de ferro e aço são comumente usados em solos agressivos ou onde hajam fugas de correntes eletrolíticas. As fugas de corrente podem ocorrer próximas a linhas de transmissão de eletricidade enterradas e próximas a outras tubulações equipadas com sistemas de

proteção catódica. A maioria das tubulações de petróleo e gás tem proteção catódica de corrente impressa. Qualquer metal ferroso na vizinhança torna-se um ânodo, perde matéria e eventualmente corrói a não ser que ele também seja protegido. Necessidades mínimas de voltagem são determinadas pela experiência e estudos de campo de condições ambientais tais como, umidade, composição química e resistividade do solo (SANKS et al., 1998).

Os “ânodos de sacrifício”, são peças de metais altamente anódicos (Mg, Zn, Al), enterrados no solo, com espaçamento definido e ligados eletricamente ao tubo. Na pilha galvânica que se forma, os ânodos de sacrifício são consumidos, devendo ser substituídos ao fim de um certo tempo, ficando o tubo protegido (TELLES, 1987).

4.2.2 – PVC

Os tubos de PVC são altamente resistentes à corrosão e são bastante utilizados em redes coletoras. Em regiões com lençol freático acima dos coletores de esgoto (regiões litorâneas) constitui como principal alternativa de utilização (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

As vantagens citadas por Passeto (1972) na utilização das tubulações de PVC são:

- Tubos mais longos, lisos, leves, flexíveis e completamente estanques;
- Grande resistência química;
- Não sofrem perda por quebra;
- Ligações dos coletores prediais são mais simples;
- Maior velocidade na obra;
- Aproveitamento de mão-de-obra local.

Nos EUA, tanto no serviço de água quanto de esgoto, o PVC é o plástico mais comumente usado. É quase inerte quando exposto à maioria dos ácidos, álcalis, combustíveis e corrosivos, mas é atacado por cetonas (e outros solventes) às vezes encontradas no esgoto industrial. Tem uma alta proporção força-peso e é durável e

resistente, mas não tem a rigidez necessária para operar exposto, sendo que a maioria dos tipos de tubos de PVC não deve ser exposta à luz solar direta, e são suscetíveis a flutuação, em condições de alto lençol freático (SANKS et al., 1998).

• Composição

O cloreto de polivilina (PVC) é um material termoplástico, ou seja, com a elevação da temperatura o material se deforma antes de sofrer decomposição química, possibilitando que seja moldado.

A resina de PVC é a matéria-prima básica empregada na fabricação de tubos e conexões de PVC rígidos, tendo na sua composição a adição de elementos estabilizantes, anti-oxidante, lubrificantes e pigmentos. Esses elementos dão à resina de PVC as propriedades necessárias para resistir as ações da luz solar, pressões internas e externas e variações de temperatura.

• Fabricação

Os tubos de PVC são fabricados através de dois processos: por injeção, que é um processo descontínuo, pelo qual são fabricadas as conexões ou por extrusão, que é um processo contínuo, onde são fabricados os tubos. As bolsas são abertas por um sistema pneumático, através do aquecimento e moldagem de suas pontas.

Os tipos de tubos de PVC utilizados nos sistemas de esgotos são: O PBA (Ponta Bolsa com Anel de Borracha) e o DEFOFO (Diâmetro equivalente ao dos tubos de ferro fundido)

• Resistência

Os tubos de PVC atendem aos requisitos de resistência ao ataque de ácido sulfúrico, nas concentrações encontradas nos coletores de esgoto (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

Apesar dos tubos de PVC apresentarem uma elevada resistência química, deve-se levar em conta que esse material consiste na mistura homogênea de resinas e aditivos diversos, tais como, estabilizantes, lubrificantes, pigmentos e plastificantes, sendo que cada componente presente na formulação do composto apresenta um comportamento diferente diante de cada reagente químico. Portanto, a resistência química do PVC deve levar em conta a particularidade de cada formulação (RODOLFO JR.; NUNES; PESSAN, 2002).

- **Transporte e armazenamento**

Como os tubos de PVC são extremamente leves quando comparados aos outros materiais há uma grande facilidade de seu manuseio, devendo-se sempre tomar os devidos cuidados para não danificá-los.

Para evitar a danificação, os tubos de PVC devem ser transportados empilhados com as pontas alternadas com as bolsas. As camadas sucessivas devem ser separadas por meio de ripas para compensar o maior diâmetro das bolsas (ALAMBERT, 1997).

Para o armazenamento dos tubos de PVC deve-se escolher lugares cobertos, evitando-se a incidência de raios solares.

A Figura 7 apresenta as tubulações de PVC armazenadas em local coberto.

Figura 7– Armazenamento de tubos de PVC. Fonte: (CATÁLOGO ASPERBRAS, 2005).

4.2.3 – Polietileno

Os tubos de polietileno apresentam as seguintes vantagens: alta resistência ao impacto, maior flexibilidade, baixa rugosidade, menor número de juntas, alta resistência à corrosão e agentes químicos, manuseio e instalação mais fáceis e rápidos.

Os tubos de polietileno de alta densidade (Figura 8) são largamente utilizados em ligações prediais de água. Em sistemas de esgoto são utilizados em coletores e emissários submarinos.

Figura 8– Tubos de PEAD. Fonte: (CATÁLOGO KANAFLEX, 2005).

- **Composição**

O polietileno é um termoplástico obtido pela polimerização do etileno na presença de catalizadores. Quando a polimerização ocorre à baixa pressão, obtém-se o Polietileno de Alta Densidade- PEAD.

- **Juntas**

As juntas utilizadas nas tubulações de PEAD são realizadas pelos seguintes métodos: solda de topo (Figura 9), solda por extrusão, solda soquete, solda de sela e juntas mecânicas (juntas flangeadas, de encaixe e de rosca).

Figura 9– Execução de junta pelo método de solda de topo. Fonte: (CATÁLOGO TIGRE, 2005).

• Conexões e peças especiais

Para manutenção e uniões com outros materiais, normalmente são utilizadas peças especiais, tais como: luva de correr, transição PEAD x PVC (ponta e bolsa), transição PEAD x FoFo (ponta x flange e bolsa x flange), transição PEAD x aço (flange x flange), luva bipartida de FoFo e torniquete. A Figura 10 apresenta algumas conexões de PEAD.

Figura 10– Conexões de PEAD. Fonte: (CATÁLOGO TIGRE, 2005).

4.2.4 – Concreto

Os tubos de concreto no sistema de esgotos sanitários são normalmente utilizados em emissários, interceptores e coletores tronco, com diâmetros maiores que 400mm e funcionando como conduto livre.

No Brasil, os tubos de concreto simples são fabricados com diâmetros variando entre 200mm e 600mm, e os tubos de concreto armado, são fabricados com diâmetros de 200mm a 2000mm, atendendo a norma da ABNT NBR 8890/2003 – Tubos de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários – requisitos e métodos de ensaio.

Para diâmetros maiores que 500mm, os tubos de concreto são praticamente os únicos materiais utilizados no Brasil para esgoto. Para diâmetros maiores que 1000mm, os condutos de esgoto podem ser moldados no local ou construídos com métodos não destrutivos.

A Figura 11 apresenta tubos de concreto estocados no canteiro de obras.

Figura 11– Tubos de concreto. Fonte: (ABTC, 2002).

• Fabricação

A norma da ABNT NBR 8890/2003 recomenda que o concreto seja dosado conforme norma NBR 12655 e sofra adensamento, de acordo com o processo de fabricação e de maneira que os tubos atendam as exigências de resistência, absorção e permeabilidade especificadas. Para os tubos a serem utilizados em obras de esgotos sanitários é fixada uma relação água-cimento máxima de 0,45. A norma recomenda, ainda, o uso de cimentos resistente a sulfato, conforme a NBR 5737, o uso de

agregados e aço que atendam as normas brasileiras vigentes e a utilização de agregados com a dimensão máxima limitada ao valor entre 1/3 da espessura de parede do tubo e cobrimento mínimo (CHAMA NETO, 2004).

As armaduras devem obedecer ao cobrimento mínimo de 20mm para armadura interna e 15mm para armadura externa, para tubos de diâmetro nominal até 600mm. Para os tubos de diâmetro maiores que 600mm o cobrimento interno deve ser no mínimo 30mm, e externo mínimo de 20mm. O espaçamento entre espiras da armadura principal não deve ser maior que 150mm, inclusive entre a última espira e a extremidade do tubo (ponta) e na região da bolsa maior que 50mm (CHAMA NETO, 2004).

Na produção de tubos de concreto o processo de cura deve ser tecnicamente adequado, impedindo a perda de água nas primeiras idades, que podem resultar em retração e fissuração, comprometendo a vida útil das tubulações.

Em termos gerais, recomenda-se que os tubos de concreto atendam as seguintes condições específicas (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999):

- Tipos de cimento: Portland Pozolânico, Portland resistente ao ácido sulfúrico ou Portland de alto forno.
- Dosagem de concreto: consumo mínimo de cimento – 350kg/m^3 , relação água/cimento máxima - 0,50L/kg.
- Recobrimento em contato com o meio agressivo – 4cm
- Resistência características da compressão do concreto – $f_{ck} = 25,0\text{ MPa}$

Vêm sendo realizados estudos visando avaliar a utilização de novos materiais para a produção de tubos de concreto, que atualmente, são fabricados sem armação ou armados. Um exemplo de estudo desenvolvido é a utilização de tubos de concreto reforçados com fibras de aço. (CHAMA NETO, 2003).

De acordo com Chama Neto & Figueiredo (2003) há equivalência de desempenho do tubo com fibras de aço em relação aos tubos de concreto tipo A2, notadamente quando os tubos são solicitados a menores níveis de deformação e abertura de fissuras. Verificou-se ainda que a maior resistência mecânica da fibra facilita a obtenção de equivalência de desempenho quando da utilização de concretos de alta resistência.

- **Resistência**

Os tubos de concreto possuem uma alta resistência mecânica.

Deve ser dada atenção especial ao acabamento das superfícies internas e externas dos tubos, não devendo apresentar defeitos visuais, tais como fissuras e danos oriundos do manuseio e transporte, porque estes fatores afetam significativamente a durabilidade, permeabilidade e resistência dos tubos de concreto (CHAMA NETO, 2004).

- **Juntas**

As juntas dos tubos de concreto para a aplicação em esgoto sanitário devem ser do tipo elástica (Figura 12). Quando se tratar de tubos ponta e bolsa, após o encaixe, a ponta deve ficar centrada em relação à bolsa para que o anel de borracha não se desloque da sua posição normal.

Figura 12– Junta elástica dos tubos de concreto. Fonte: (ABTC, 2002).

• Revestimentos

Os revestimentos normalmente utilizados nos tubos de concreto são à base de resina epóxi, em substituição aos feitos à base de betume. As condições de controle de qualidade devem ser as mais rigorosas. Deve ser dada a atenção ao preparo da superfície, condições de adesão, espessura, resistência à abrasão e problemas de solventes, que têm levado à formação de bolhas e falta de adesão. Atualmente, se dispõe de epóxi sem solvente (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

Esses revestimentos internos necessitam de manutenção e deveriam ser usados somente onde a tubulação possa ser removida periodicamente para inspeção e onde a tubulação é grande o suficiente em diâmetro para permitir pintura no local. Alternativamente, o tubo pode ser revestido internamente por fixação de folhas de plástico, conforme apresentado na Figura 13. O tubo também pode ser encapado em plástico para protegê-lo de solos corrosivos, ricos em sulfatos ou ácidos (SANKS et al, 1998).

Figura 13– Revestimento interno de plástico encravado. Fonte: (TAKAHASHI, 1983).

Experiências têm mostrado que o revestimento deve ser perfeito para se ter sucesso. Não só o revestimento em si deve ser imune ao ataque, mas não deve permitir a difusão do ácido através da camada, atingindo o material subjacente. Isso pode acontecer nas juntas ou em pontos com falhas, mesmo efetuados na fábrica.

Conforme Tsutiya & Alem Sobrinho (1999) a tecnologia existente produz revestimentos aparentemente perfeitos para tubos, mas somente a experiência irá mostrar a efetividade em condições de alta corrosividade. Em 1973, foi feita aplicação de revestimento à base de epóxi para a recuperação do emissário da Vila Leopoldina, numa extensão de 8km. Com o televisionamento efetuado após 15 anos, notou-se o destacamento deste revestimento em alguns pontos.

4.2.5 – Ferro Fundido

De acordo com Twort, Ratnayaka e Brandt (2000) os tubos de ferro fundido, no final do século XIX, eram moldados em moldes de areia verticais. Muitos sistemas de

água ainda têm alguns desses tubos em uso. Suas paredes eram relativamente grossas e nem sempre possuíam espessura uniforme por desvio do molde do núcleo central.

Nos sistemas de esgotos, os tubos de ferro fundido são utilizados principalmente em linhas de recalque e emissários de recalque. Nos escoamentos livres, são utilizados em travessias aéreas, passagem sob rios, ou em situações em que há necessidade da tubulação suportar grandes cargas, como por exemplo, tubulações rasas, com menos de 1,00m de profundidade, sob leitos carroçáveis de alto tráfego .

Os tubos de ferro fundido são usados em serviços de baixa pressão, temperatura ambiente, e onde não ocorram grandes esforços mecânicos. Esses tubos têm boa resistência à corrosão, principalmente à corrosão pelo solo, e grande durabilidade (TELLES, 1987).

Existem dois tipos de tubos de ferro fundido: o cinzento e o dúctil, sendo que o ferro fundido cinzento não é mais fabricado, devido a sua elevada fragilidade e vulnerabilidade à corrosão, principalmente em terrenos agressivos. Como o ferro fundido cinzento foi amplamente utilizado no passado, ainda existem diversas tubulações com esse tipo de material.

A Figura 14 apresenta o assentamento de tubos de ferro fundido dúctil.

Figura 14— Assentamento de tubo de ferro fundido dúctil. Fonte: (CATÁLOGO SAINT-GOBAIN, 2005).

- **Composição**

O ferro fundido constitui-se basicamente de ferro e carbono, sendo que a proporção deste último na liga é que determina a variedade de ferro fundido.

- **Fabricação**

Os tubos de ferro fundido cinzento foram produzidos no Reino Unido nos anos 20. O ferro fundido era despejado em moldes cilíndricos que giravam à alta velocidade de modo que as paredes do tubos eram formadas pela força centrífuga. Após alguns momentos de rotação, o metal solidificava e o tubo contraía levemente de modo que poderia ser retirado do molde. Era então enviado para reaquecimento e resfriamento lento para reduzir estresses durante o resfriamento. Por esse processo, resultava um ferro mais denso e as paredes do tubo tinham espessura uniforme. Esses tubos foram utilizados em grande quantidade nos anos 30 a 60, e por isso, ainda são os tubos principais de distribuição de água em muitos países (TWORT; RATNAYAKA; BRANDT, 2000).

Os tubos de ferro fundido dúctil são normalmente produzidos por rotação centrífuga de ferro fundido em moldes de aço de alta qualidade. Conexões são produzidas despejando o metal em moldes de aço ou areia. Uma pequena quantidade de magnésio é adicionada para transformar as formas lamelares de carbono em uma forma esférica, logo aumentando a força tênsil e ductibilidade do ferro. O tubo resultante é mais forte e menos propenso à quebra que o tubo de ferro fundido cinzento (TWORT; RATNAYAKA; BRANDT, 2000).

• Resistência

Os tubos de ferro fundido dúctil apresentam grande resistência à corrosão, elevada resistência mecânica, resistência à ruptura pela pressão interna, aproximadamente três vezes maior do que a do ferro fundido cinzento e grande resistência às cargas externas e à ação de choques (ALAMBERT, 1997).

Quando comparado aos outros materiais, os tubos de ferro fundido são mais sensíveis à corrosão pelos esgotos ácidos ou em estado séptico, e por solos ácidos. Em condições desfavoráveis, devem ser previstos revestimentos internos e/ou externos.

• Revestimentos

Os tubos de ferro fundido dúctil são revestidos internamente com argamassa de cimento aplicada por centrifugação, e externamente recebem uma camada de zinco metálico puro, obtida pela fusão de um fio de zinco por arco elétrico, projetado por ar comprimido. Após a cura do cimento, uma camada de pintura betuminosa é aplicada sobre a camada de zinco (TSUTIYA, 2004).

Devido o revestimento interno de argamassa ser relativamente fino, alguns projetistas preferem especificar que o revestimento seja feito com dupla espessura (SANKS et al., 1998).

Considerando seu baixo custo, grande durabilidade e superfície lisa sustentada por longo período, o revestimento de argamassa tanto para tubos de ferro fundido dúctil como de aço, é o mais utilizado. Embora a argamassa seja geralmente muito durável, ela pode ser lentamente atacada por águas com baixa quantidade total de sólidos dissolvidos (< 40 mg/l), por águas ricas em sulfato, ou por águas subsaturadas em CaCO_3 . Para tais usos é necessário investigar cuidadosamente a durabilidade provável da argamassa e considerar o uso de outros revestimentos internos (SANKS et al., 1998).

Os revestimento plásticos são geralmente de cerca de 0,3mm de espessura, os revestimento interno de fibra de vidro são de cerca de 0,25mm de espessura. Em geral, o custo da argamassa é cerca de 20% do custo de outros revestimentos internos, tornando outros revestimentos anti-econômicos. Para aplicar revestimento interno de fibra de vidro ao tubo, há necessidade de uma temperatura de cerca de 760°C , e que a espessura original seja equivalente a Classe 54 para tubos de 150 a 500 mm, ou Classe 56, para tubo de 100 mm. Os fabricantes podem diferir quanto às especificações de espessura e devem ser consultados antes de se especificar um revestimento (SANKS et al, 1998).

A Figura 15 apresenta em detalhe o revestimento interno de argamassa de cimento aluminoso aplicada por centrifugação, extremamente compacto.

Figura 15– Revestimento interno do tubo de ferro fundido dúctil. Fonte: (CATÁLOGO SAINT-GOBAIN, 2005).

• Transporte e Armazenamento

Os tubos de FoFo devem ser calçados por meio de caibros nas partes inferiores, entre camadas de tubos e nas laterais e extremidades do caminhão. Os caminhões devem ser adaptados para esse tipo de carregamento de modo que seu comprimento útil garanta que nenhuma parte do tubo fique sem apoio.

No armazenamento dos tubos deve-se evitar choques, atritos ou contatos brutais nos tubos, de modo que não haja danificações nos revestimentos internos e externos das tubulações.

Deve-se ainda tomar os seguintes cuidados:

- Em pilhas de tubos nunca misturar tubulações de diferentes diâmetros;
- Utilização de espaçadores e calços de madeira de boa qualidade;
- Não estocagem de tubos durante longo tempo devido ao desgaste nos revestimentos, pelas ações do sol e das chuvas.

• Juntas

Os tipos de juntas das tubulações de tubos de FoFo são: junta de chumbo, junta elástica, junta de flanges, junta mecânica e junta travada.

- Junta de chumbo

São utilizadas exclusivamente nas tubulações de FoFo cinzento, que por não serem mais fabricados servem para casos de manutenção de tubulações existentes. Essa junta é executada no sistema de ligação ponta/ bolsa, com vedação feita em estopa e chumbo, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16– Junta de chumbo. Fonte: (CATÁLOGO BARBARÁ, 1994).

- Junta elástica

São utilizadas nas tubulações de FoFo dúctil, sendo constituída de um anel de borracha e o conjunto formado pela ponta de um tubo com a bolsa contígua de outro tubo ou conexão, conforme apresentado na Figura 17.

Por ser uma junta de montagem deslizante, sua estanqueidade é obtida pela compressão do anel de borracha entre a ponta de um tubo e a bolsa, evitando deslocamentos do anel de borracha.

Entre as vantagens da junta elástica, além da estanqueidade, pode-se citar: a mobilidade, pois permite dilatações e deflexões que facilitam os possíveis movimentos que possam ocorrer na tubulação durante a sua utilização; o isolamento elétrico, garantido nos tubos entre si, pelos anéis de borracha; e a facilidade na montagem que não exige mão-de-obra especializada.

Figura 17– Junta elástica. Fonte: (CATÁLOGO BARBARÁ, 1994).

- Junta de flanges

É composta por dois flanges entre os quais localiza-se uma junta de borracha utilizada para vedação, que é comprimida pelo aperto de parafusos com porcas, garantindo sua estanqueidade.

São pouco utilizadas nas tubulações de esgotos, sendo utilizadas em tubulações do sistema de água não enterradas sujeitas a eventuais desmontagens.

A junta de flanges, apresentada na Figura 18, apresenta as seguintes vantagens: facilidade de montagem e desmontagem, ocupação de espaço mínimo e ancoragem desnecessária (ALAMBERT, 1997).

Figura 18– Junta de flanges. Fonte: (CATÁLOGO BARBARÁ, 1994).

- Junta mecânica

É uma junta preparada para suportar altas pressões, superiores a 150 mca, podendo ser empregada em qualquer tipo de tubo, proporcionando maior firmeza entre os tubos e conexões, resistindo bem aos golpes de aríete.

A sua montagem é simples e rápida, ligando a bolsa de uma conexão e a ponta de um tubo ou de uma conexão. Oferece a possibilidade de desmontagem e reaproveitamento do material, no caso de modificação ou desativação da tubulação.

A junta mecânica é apresentada na Figura 19.

Figura 19– Junta mecânica. Fonte: (CATÁLOGO BARBARÁ, 1994).

- Junta travada

É uma junta elástica cuja função é neutralizar esforços dinâmicos que ocorrem nas tubulações, evitando a desconexão destas, através do travamento de suas bolsas, conforme apresentado na Figura 20 .

A principal vantagem desta junta é que ela dispensa a construção de blocos de ancoragem, sendo indicada para terrenos de baixa resistência, travessias, declividades acentuadas e em solos congestionados.

Figura 20– Junta travada. Fonte: (CATÁLOGO BARBARÁ, 1994).

• Conexões

As conexões fabricadas em ferro fundido dúctil, são de classe única, podendo ser utilizadas em tubos de qualquer classe de pressão, nas juntas elásticas, mecânicas, travadas e de flanges.

As conexões mais utilizadas em tubulações de esgotos são as curvas, têes, luvas e as reduções. A Figura 21 apresenta as principais conexões para as tubulações de esgotos sob pressão.

Figura 21– Conexões para tubulações de esgotos sob pressão. Fonte: (CATÁLOGO SAINT-GOBAIN, 2005).

• Peças especiais para tubulações de ferro fundido dúctil

Além das juntas anteriormente citadas existem peças que facilitam as montagens das tubulações de FoFo, podendo ser utilizadas também em outros tipos de tubulações. Essas peças absorvem movimentos de dilatação e de deflexão, servindo para reparos destas tubulações. Entre essas peças pode-se destacar as juntas Dresser (Figura 22) e as juntas Gibault (Figura 23).

Figura 22– Junta Dresser. Fonte: (CATÁLOGO BARBARÁ, 1994).

Figura 23– Junta Gibault. Fonte: (CATÁLOGO BARBARÁ, 1994).

4.2.6 – Cerâmica

Os homens primitivos endureciam argila para confeccionar objetos a fim de atender às suas necessidades. Foram descobertas em algumas escavações, na antiga cidade da Babilônia, manilhas cerâmicas utilizadas 250 anos a.C. Em meados de 1800, na Inglaterra, o progresso tecnológico revolucionou a fabricação de tubos cerâmicos (NINA, 1975).

Ultimamente a vitrificação dos tubos cerâmicos tem sido dispensada, estando prevista na norma da ABNT, NBR 5645 de 1983 “Tubo cerâmico para canalizações – Especificação”. Nos tubos não vitrificados, a norma exige menor valor no ensaio absorção de água. Como as bibliografias consultadas exaltam as qualidades dos tubos cerâmicos vitrificados, há necessidade de se acompanhar o comportamento dos tubos não vitrificados (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

• Juntas

As juntas utilizadas nas tubulações cerâmicas devem atender aos seguintes requisitos (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999): impermeabilidade, facilidades de execução, resistência aos ataques de agentes químicos e bacterianos, disponibilidade e menor custo.

Existem quatro tipos principais de juntas utilizadas nas tubulações cerâmicas:

- Junta de argamassa de cimento e areia

Preparada com cimento Portland e areia fina, no traço 1:3, em volume. Trata-se de uma junta rígida que necessita de cuidados especiais para a execução, devido à possibilidade de agressão dos esgotos e por permitir a penetração de raízes nas canalizações.

- Junta composta de betume

É uma junta semi-rígida. Para a sua execução, introduz-se o betume quente na junta após o estopeamento, ou seja, há introdução de um cordão de estopa entre a bolsa e ponta. Esse tipo de junta foi muito utilizado nos tubos cerâmicos. Atualmente sua utilização está praticamente extinta.

- Junta de solo – cimento (tabatinga)

É uma junta rígida preparada com solo de característica argilosa e cimento Portland. Esse tipo de junta é utilizado principalmente em locais com alto nível de lençol freático e áreas alagadas. A Figura 24 apresenta o tubo cerâmico de junta rígida e semi-rígida.

Figura 24– Tubo cerâmico de junta rígida e semi-rígida. Fonte: (CATÁLOGO ACERTUBOS, 2005).

- Junta elástica

A junta elástica utiliza um anel de borracha toroidal entre a bolsa e a ponta de um tubo ou conexão cerâmica, conforme apresentado na Figura 25.

Figura 25– Tubo cerâmico de junta elástica. Fonte: (CATÁLOGO ACERTUBOS, 2005).

- **Resistência, transporte e manuseio**

Os tubos cerâmicos, também chamados de “manilhas” apresentam excelente resistência à corrosão, não sendo atacados pelo ácido sulfúrico. Esses tubos são inertes em relação ao solo, à atmosfera e à maioria dos fluidos corrosivos. A sua resistência mecânica é baixa, com facilidade de quebra durante o manuseio ou transporte.

A Figura 26 apresenta tubulações e peças cerâmicas.

Figura 26– Tubos e peças cerâmicas.

4.2.7 – Plásticos em geral

Há uma grande variedade de materiais conhecidos pelo nome genérico de plástico. A característica química fundamental desses materiais é a existência de moléculas longas de hidrocarbonetos.

Os principais tipos de tubos plásticos utilizados no sistema de coleta e transporte de esgotos são o PVC, o polietileno de alta densidade e o poliéster armado com fios de vidro (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

De um modo geral os plásticos apresentam as seguintes vantagens (TELLES, 1987):

- Pouco peso, densidade variando entre 0,9 e 2,2;
- Alta resistência à corrosão;
- Facilidades de fabricação e de manuseio;
- Baixa condutividade térmica e elétrica;
- Cor própria e permanente que dispensa pintura;
- Alguns plásticos podem ser translúcidos, permitindo a observação visual da circulação dos fluidos pelos tubos.

Em compensação, as desvantagens são as seguintes:

- Baixa resistência ao calor, a maioria dos materiais plásticos não podem trabalhar em temperaturas superiores a 100°C;
- Baixa resistência mecânica; o limite de resistência à tração é da ordem de 20 a 100MPa ($\cong$ 2 a 10 kg/mm²) para a maioria dos plásticos. Alguns plásticos termoestáveis, laminados em camadas sucessivas de resina plástica e de fibras de vidro apresentam melhor resistência mecânica, embora sempre bem inferior ao aço-carbono;
- Pouca estabilidade dimensional, estando sujeitos a deformações por fluência em quaisquer temperaturas;
- Insegurança nas informações técnicas relativas a comportamento mecânico e a dados físicos e químicos. A margem de erro que se pode esperar nessas informações sobre materiais plásticos é bem maior do que nas relativas aos metais;
- Alto coeficiente de dilatação, até 15 vezes maior que o aço-carbono;
- Alguns plásticos são combustíveis ou pelo menos capazes de alimentar vagarosamente a combustão;

Distinguem-se duas classes gerais de plásticos: os termoplásticos (thermoplastics) e os termoestáveis (thermosettings), também chamados de “ termofixos”. Os primeiros amolecem completamente, com a aplicação do calor, antes de sofrerem qualquer decomposição química, podendo ser repetidas vezes amolecidos, moldados e reempregados. Os termoestáveis, pelo contrário, não podem ser conformados pelo calor (TELLES, 1987).

Além do polietileno e do PVC, outros plásticos são importantes para a fabricação de tubos:

- Epóxi: É um material termoestável de muito uso para tubos de grandes diâmetros (até 900mm), com extremidades lisas ou com flanges integrais. Os tubos têm a parede de construção laminada, em camadas sucessivas da resina

plástica e de fibras de vidro enroladas, para melhorar à resistência (tubos denominados “FRP” – Fiberglass reinforced plastic). O epóxi é um material plástico, muito resistente à corrosão, queima-se lentamente e pode ser empregado em temperaturas de até 150°C (TELLES, 1987).

- Poliésteres, fenólicos: Esses materiais são termoe estáveis de características semelhantes ao epóxi. Os fenólicos podem trabalhar até 150°C. Os tubos desses materiais têm também ampla faixa de diâmetros e construção laminada, com armação de fibras de vidro (tubos “FRP”). Essas resinas são também empregadas para reforçar externamente os tubos de PVC (TELLES, 1987).

Os tubos de poliéster reforçado com fios de vidro (PRFV) utilizados em esgoto sanitário devem ser de ponta e bolsa, com junta elástica e trazer impresso na superfície externa, o diâmetro nominal, comprimento útil, o seu uso e a classe a que pertence.

A Figura 27 apresenta tubulações de PRFV.

Figura 27– Tubos e peças de PRFV.

4.2.8 – Fibrocimento

Esses tubos não são fabricados no Brasil há vários anos, e por isso não fazem parte deste trabalho.

4.3 - Hidráulica das tubulações

A hidráulica das tubulações utilizadas na coleta e transporte de esgotos foi itemizada em duas partes; condutos livres e condutos forçados. Estabeleceu-se nesses tópicos a relação entre a hidráulica e o tipo de material das tubulações.

4.3.1 – Condutos livres

Os coletores e interceptores devem ser projetados para funcionarem como condutos livres. Os emissários podem funcionar como condutos livres ou forçados. Os principais materiais utilizados nos coletores e interceptores são: PVC, cerâmica e concreto.

Para o dimensionamento dos coletores em conduto livre são mais utilizadas as seguintes equações:

- **Equação de Chézy (Regime permanente e uniforme)**

$$V = C \sqrt{R_H} I \quad (1)$$

onde:

V = velocidade média do escoamento (m/s)

R_H = raio hidráulico (m)

I = declividade da linha de energia (m/m)

C = coeficiente de Chézy

O coeficiente C depende não apenas da natureza e estado das paredes dos condutos, mas também da sua própria forma, havendo fórmulas em que seu valor relaciona-se ainda à declividade.

• Equação de Manning

A partir da equação de Chézy, Manning obteve um coeficiente de resistência, dependente também do raio hidráulico.

$$C = \frac{R_H^{1/6}}{n} \quad (2)$$

onde:

n = coeficiente de rugosidade de Manning

A Tabela 1 apresenta os valores do coeficiente de Manning (n), para vários tipos de tubos.

Tabela 1 – Valores do coeficiente de Manning.

Material dos condutos	n de Manning
Cerâmico	0,013
Concreto	0,013
PVC	0,010
Ferro fundido com revestimento	0,012
Ferro fundido sem revestimento	0,013
Cimento amianto	0,011
Aço soldado	0,011
Poliéster, polietileno	0,011

Fonte: (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

No Brasil, a norma da ABNT, NBR 9649 recomenda a utilização do coeficiente de Manning $n = 0,013$ para o cálculo dos coletores de esgotos. Segundo Metcalf & Eddy

(1982) o valor de 0,013 deve ser mantido, mesmo quando se utilizam materiais inicialmente menos rugosos e com comprimentos maiores do que as tubulações tradicionais, devido ao fato de que, em sistema de esgoto, o número de ligações, de poços de visita (PV), de poços de inspeção e demais singularidades permanece o mesmo, independentemente do tipo de material utilizado na tubulação.

Para a norma NBR 7367 (Projeto e assentamento de tubulações de PVC rígido para sistemas de esgoto sanitário), o coeficiente de Manning a ser utilizado nos cálculos hidráulicos de sistemas de esgotos sanitários que utilizam tubos e singularidades em PVC é $n = 0,010$.

4.3.2 – Condutos forçados

Os sifões, emissários submarinos e linhas de recalque das estações elevatórias funcionam como condutos forçados.

Os materiais utilizados nas tubulações que funcionam como condutos forçados dependem do diâmetro a ser utilizado, da pressão de serviço, das características do esgoto, da declividade do terreno, da altura de aterro, do tipo de solo, do método de assentamento e de seu custo econômico.

Nas linhas de recalque são comuns o uso de ferro fundido dúctil com revestimento de cimento para diâmetros menores que 600mm e, no caso de diâmetros maiores, utiliza-se tubulações de aço, devido às facilidades de montagem.

A Tabela 2 apresenta os tipos de materiais que podem ser utilizados nas linhas de recalque. A prática, porém, indica a utilização de tubulações de ferro fundido dúctil com diâmetro variando de 100 a 1.200mm e tubulações de aço para os diâmetros acima de 600mm. A escolha das tubulações a serem utilizadas depende essencialmente dos problemas técnicos e econômicos de cada projeto.

Tabela 2 – Materiais utilizados nas linhas de recalque.

Material da tubulação	Diâmetros (mm)	Tipo de junta	Observações usuais
Ferro fundido dúctil	100 - 1200	Junta elástica	Revestido internamente com cimento aluminoso e externamente com zinco e epóxi vermelho
Ferro fundido cinzento	100 - 600	Junta elástica	Comumente utilizado no passado para diâmetro de até 600mm. Tem sido substituído por ferro fundido dúctil.
Fibrocimento	100 - 500	Junta elástica	Pode ser sensível a deterioração em solos agressivos úmidos.
PVC	100 - 300	Junta elástica	Altamente resistente a produtos químicos.
Poliéster reforçado com fibra de vidro	100 - 2500	Junta elástica	Altamente resistente a temperaturas elevadas e produtos químicos sendo função da resina utilizada.
Concreto protendido	400 - 2500	Junta elástica	Pode ser sensível à deterioração em solos agressivos úmidos.
Aço	Acima de 600	Soldada	Deve ser revestido com material betuminoso ou argamassa de cimento e protegido externamente contra corrosão. Pode ser substituído por ferro fundido dúctil até 1.200mm.

Fonte: (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

Para o dimensionamento das tubulações que funcionam como condutos forçados, há necessidade do cálculo da perda de carga. As equações mais utilizadas são:

• **Equação de Hazen–Williams:**

$$J = 10,643 Q^{1,85} C^{1,85} D^{4,87} \quad (3)$$

onde:

Q= vazão (m³/s)

D=diâmetro(m)

J=perda de carga unitária(m/m)

C=coeficiente adimensional que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos

Para o cálculo das perdas de carga, quando se utiliza a equação de Hazen-Williams, podem ser adotados os coeficientes de rugosidade, conforme indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valor do coeficiente C de Hazen – Williams.

Material da tubulação	Condições das tubulações			
	Novo	25 anos de uso	50 anos de uso	Mau estado
PVC	150	140	140	130
Concreto com superfície interna lisa	150	130	120	100
Aço galvanizado com revestimento betuminoso	150	130	100	60
Ferro fundido	130	110	90	50
Aço revestido, vitrificado	120	-	80	45

Fonte: (WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, 1984).

Recomenda-se, em geral, a utilização de C=100 para tubos de ferro fundido sem revestimento, e C=120 para tubos de ferro fundido revestidos, tubos de plástico (PVC), tubos de concreto e tubos de aço com diâmetro maior ou igual a 500mm (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

As tubulações de ferro fundido cinzento, que não possuem revestimento interno, apresentam com o passar do tempo uma redução no coeficiente C da fórmula de Hazen- Willians, com conseqüente diminuição de vazão, devido à corrosão interna da tubulação com formação de incrustações. Para melhorar as condições internas dessas tubulações há necessidade de retirar essas incrustações e de se executar um revestimento interno (ALAMBERT, 1997).

• Fórmula Universal

$$h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

onde:

h_f = perdedecarga (m)

f =coeficiente deatrito

L =comprimenb datubulação (m)

V =velocidade média (m/s)

D =diâmetroda tubulação (m)

g =aceleração da gravidade (9,81m/s²)

Os coeficientes indicados na Tabela 4 podem ser utilizados quando se aplica a fórmula Universal para o cálculo das perdas de carga. Azevedo Netto et al (1998) citam que a experiência francesa recomenda a adoção de K=1 mm para tubos não sujeitos à corrosão e incrustação, e K = 2mm para tubos sujeitos a esses fenômenos de deterioração.

Tabela 4 – Coeficiente de rugosidade (K), em mm, para a fórmula Universal.

Material	Coeficiente de rugosidade (mm)
Tubos de aço com revestimento especial ou esmalte	0,025 - 0,125
	0,125(*)
Tubos de concreto sem revestimento especial	0,04 - 3,0
	0,30(*)
	0,06 - 2,1
Tubo de ferro fundido com revestimento especial	0,25(*)
	0,1 - 0,20
	0,125(*)
Tubos de cimento amianto	0,03 - 0,20
	0,05(*)
Ferro galvanizado	0,06 - 0,24
	0,15(*)
Tubos lisos, chumbo, cobre, latão, etc.	< 0,03
	0,02(*)
PVC	0,02 - 0,12
	0,10(*)
Tubos cerâmicos	1,0 - 3,0
	1,5(*)

Fonte: (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

(*) Valor sugerido por Azevedo Netto, para tubulações em serviço.

Para Fernandes (1996), na Inglaterra é utilizada a fórmula Universal no dimensionamento dos coletores de esgoto, com $K=1,5\text{mm}$ para qualquer material.

Conforme a Water Pollution Control Federation - WPCF (1970), havendo formação de película de limo, as paredes da tubulação tornam-se uma superfície uniforme e permanecem constantes ao longo do tempo, portanto, a rugosidade nas tubulações de esgoto é a mesma independentemente do material da tubulação.

4.4 - Fabricantes de materiais

Através da pesquisa realizada em feiras especializadas e no setor de fornecedores da Sabesp, obteve-se a relação dos principais fabricantes dos materiais mais utilizados nas tubulações de coleta e afastamento de esgotos. A relação de fabricantes, as principais características dos materiais e recomendações contidas nos catálogos técnicos estão discriminadas a seguir, itemizadas por tipo de material.

4.4.1- Cerâmica

Os principais fabricantes de tubos cerâmicos do Brasil encontram-se associados em entidade representativa do setor, denominada Associação Latino Americana dos Fabricantes de Tubos Cerâmicos – AcerTubos. Estão cadastradas nessa associação as seguintes empresas: Cerâmica Santa Maria, Cerâmica Parapuan Ltda., Cerâmica Cerquetani e Viella, Inctam Indústria Cerâmica Tambaú Ltda., Cerâmica Maristela Ltda., Tubos Cerâmicos Tambaú Ltda. e Organização Videira Ind. e Comércio Ltda.

As tubulações são fabricadas com as seguintes dimensões:

- Comprimento (m): 600, 800, 1000, 1250, 1500, 1750 e 2000 .
- Diâmetro nominal dos tubos (mm): 100, 150, 200, 250, 300, 350, 375, 400, 450, 500 e 600.

As juntas utilizadas nessas tubulações podem ser: rígidas, como a argamassa de areia e cimento, que deve ser feita no traço de 1:3 (1 porção de cimento para 3 porções de areia, em volume) e a tabatinga mistura de argila e cimento (traço 1:1), recomendada para valas com água, onde pode ocorrer a “lavagem do cimento”. Essas juntas trincam facilmente com a movimentação dos tubos, acarretando infiltrações e vazamentos indesejáveis e a danificação da rede; semi-rígidas como a betuminosa, composta de corda alcotroada e asfalto, que permitem pequenas movimentações da tubulação sem perder a estanqüidade; e elástica que resiste melhor aos movimentos dos tubos.

As principais conexões fabricadas e suas respectivas dimensões são: o selim (100 e 150)mm , o tê e as curvas de 45° e 90°(100, 150, 200, 250 e 300mm).

As características mais relevantes do material cerâmico, mencionadas nos catálogos dos fabricantes são:

- Resistência mecânica: o tubo cerâmico apresenta boa resistência mecânica aos esforços que o solicitam quando assentado. Por ser rígido, não sofre o risco de sofrer ovalizações sob ação das cargas externas, mantendo sua secção circular com o decorrer do tempo. Não sofre incrustações, conservando portanto suas condições hidráulicas inalteradas;
- Resistência química: o tubo cerâmico, constituído por argila, é imune à ação dos elementos agressivos existentes nos esgotos residenciais e industriais, bem como à ação dos gases que se formam nas redes coletoras. Por ser constituído por argila não sofre ataques dos solos onde é assentado;
- Resistência a temperaturas elevadas: o tubo cerâmico é submetido, durante sua fabricação, a temperaturas que atingem 1.200°C, não podem portanto ser afetados por eventuais despejos industriais quentes, que dificilmente ultrapassam 100°C;
- Custo do tubo: o tubo cerâmico apresenta o custo mais baixo entre todos os tipos de tubos existentes no mercado.

As principais recomendações dos fabricantes dos tubos cerâmicos estão discriminadas a seguir:

- Durante o assentamento, para garantir o adequado funcionamento da tubulação é necessário contar com um apoio em solo natural ou, no máximo, em uma camada de areia compactada. Apenas em condições muito adversas, como a ocorrência de solos muito moles e a presença de água do lençol

freático, poderá ser exigida a introdução de um lastro de pedra britada, sobre o qual a tubulação será diretamente apoiada.

- É importante que se observe que para todo o tipo de assentamento, o aterro das valas poderá ser feito, na maioria dos casos, com o próprio material escavado, exigindo material selecionado apenas quando o solo local for de péssima qualidade. Esta tipificação permite recobrimentos de 0,8 a 8,0m.

4.4.2- PVC

As principais empresas fabricantes dos tubos de PVC são: Tigre, Hidro Ferpaulo Industria e Comércio e Amanco Brasil S.A. As tubulações são fabricadas com comprimento de 6,0 m, com juntas elásticas e diâmetro nominal de: 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350 e 400mm.

As principais conexões fabricadas e suas respectivas dimensões, em mm, são: Selim (150X100, 200X100, 250X100, 300X100, 400X100), tê (100X100, 125X125, 150X100, 150X150, 200X150, 200X200, 250x200, 250x250, 300x 300, 400x400), curva de 45° (100, 150, 200, 250, 300, 350, 400), curva de 90° (100, 150, 200, 250, 300, 350, 400), adaptador tubo cerâmico x ponta (100 e 150) e luva de correr (100, 150, 200, 250, 300, 350, 400).

As características vantajosas do PVC, discriminadas pelos principais fabricantes, são:

- Junta elástica que assegura perfeita estanqüidade;
- Facilidade de manuseio e instalação;
- Melhor desempenho hidráulico;

- Variada gama de conexões;
- Praticidade do sistema de ligações prediais;
- Superfície interna lisa com baixo coeficiente de rugosidade;
- Leveza;
- Perdas por transporte, manuseio e estocagem são praticamente nulas;
- Alta resistência química;
- Menor dependência da qualificação da mão-de-obra.

São recomendados pelos fabricantes das tubulações de PVC os itens a seguir:

- A profundidade mínima de assentamento dos tubos de PVC não deverá ser inferior a 1m;
- Não é recomendável o envolvimento dos tubos com concreto;
- A profundidade máxima de assentamento é uma função da carga de terra, que não deve provocar deformações diametrais superiores a 7,5% em condições normais de assentamento;
- Quando os tubos ficarem estocados por longos períodos, devem permanecer ao abrigo do sol, evitando possíveis deformações, provocadas pelo aquecimento excessivo;
- Deve-se impedir o arrasto dos tubos no chão, durante o transporte de descida dos tubos na vala;

- Os tubos devem ser assentados com a sua geratriz inferior coincidindo com o eixo do berço, de modo que as bolsas fiquem nas escavações previamente preparadas, assegurando um apoio contínuo do corpo do tubo.

4.4.3- Ferro fundido dúctil

O principal fabricante dos tubos de ferro fundido dúctil para esgotos sanitários é a empresa Saint-Gobain Canalização. O comprimento dos tubos fabricados é de 6,0m, com junta elástica e diâmetro nominal de: 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 e 2000mm.

As principais conexões fabricadas, utilizadas na coleta e afastamento de esgotos, e seus respectivos diâmetros, em mm, são: curva de 45°(100, 150, 200) curva de 22°30', curva de 11°15' e luvas de ligação (100, 150, 200, 250, 300).

As principais características dos tubos de ferro fundido dúctil, discriminadas pelo fabricante, são:

- Resistência mecânica: são tubos semi – rígidos com comportamento intermediário entre os materiais flexíveis e os materiais rígidos. Do ponto de vista mecânico, beneficiam-se dos dois. A sua resistência garante que os tubos não se deformem e mantenham a sua linearidade nos casos de eventuais movimentos do terreno;
- Paredes internas perfeitamente lisas: a argamassa de cimento aluminoso aplicada por centrifugação, extremamente compacta, facilita o escoamento, resiste a fermentações sépticas e a ataques ácidos ocasionais;
- Resistência à pressão: o alto coeficiente de segurança do ferro fundido dúctil e o desempenho das juntas em elastômero, permitem fabricar as canalizações para recalque, incluindo regimes de funcionamento acidental;

- Estanqüidade e impermeabilidade: as juntas desses tubos foram projetadas para garantir a estanqüidade das instalações;
- Os comprimentos dos tubos e sua parede interna lisa facilitam a autolimpeza;
- As conexões, com seção interna igual à dos tubos, e o anel da junta em elastômero, assegurando a autocentragem, evitam eventuais acúmulos de detritos.

Conforme os principais fabricantes, as recomendações para a utilização dos tubos de ferro fundido dúctil são:

- Devido o risco de formação de sulfetos na saída dos trechos em recalque, quando o fluído retoma o escoamento por gravidade, convém adotar algumas medidas para limitar os efeitos dos ataques do ácido sulfúrico, tais como: tratamento químico apropriado (sulfato ferroso – oxigenação – peróxido de hidrogênio) ou a instalação de trechos de canalização com uma proteção reforçada contra ataques de ácidos.
- Nas tubulações com diâmetro acima de 200mm e altura de recobrimento acima de 6m há necessidade de apoio e envolvimento da tubulação com material granular.

4.4.4- Concreto

A Associação Brasileira de Tubos de Concreto (ABTC) é uma entidade que conta com 57 empresas, de representação nacional e formada por fabricantes de tubos, fornecedores de insumos, fabricantes de equipamentos, projetistas e representantes de órgãos consumidores. Entre as empresas associadas estão os seguintes fabricantes de tubos: Brasicon Indústria Brasileira de Concreto Ltda., Tecnopref Indústria Ltda e Grupo Mideo.

Os associados da ABTC identificaram, em meados de 2002, a necessidade de atualizar as normas que regem os tubos de concreto. A nova norma da ABNT NBR 8890:2003 – Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários – requisitos e métodos de ensaio, entrou em vigor em 30/06/2003.

Os tubos de concreto para esgotos sanitários são fabricados com comprimento de 2,0m, junta elástica, e diâmetro nominal de: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1500, 1750 e 2000mm.

De acordo com os principais fabricantes dos tubos de concreto, as suas principais características são:

- Resistência mecânica: material rígido, não sujeito à ocorrência de ovalização ou esmagamento sob ação de cargas, garantindo a estabilidade de aterros e condições favoráveis de escoamento hidráulico;
- Facilidade para a execução das juntas elásticas pelo sistema ponta e bolsa;
- Excelente comportamento no transporte de líquidos agressivos de várias procedências, como efluentes industriais, líquidos aquecidos e corrosivos;
- Baixo custo.

As principais recomendações dos fabricantes referem-se ao assentamento e aterro dos tubos e são a seguir discriminadas:

- Antes do assentamento dos tubos deve ser verificado se as extremidades dos mesmos estão perfeitamente limpas;
- Nos tubos ponta e bolsa, após o encaixe, a ponta deve ficar centrada em relação à bolsa para que o anel de borracha não se desloque da sua posição normal;

- Nas valas sob leito carroçável, a camada até 30cm imediatamente acima do coletor deverá ser apiloada manualmente e o restante do aterro até a superfície do terreno deverá ser executado e controlado com proctor normal ou compactação relativa, dependendo do material utilizado, em camadas de 20cm de espessura.

4.4.5- Polietileno de Alta Densidade - PEAD

Os principais fabricantes dos tubos de PEAD são: Kanaflex S/A Indústria de Plásticos, Polierg Indústria e Comércio LTDA. Os tubos são fabricados com comprimentos de 6 e 12m e diâmetro nominal de: 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350 e 400mm.

As principais conexões fabricadas, utilizadas nos sistemas de coleta de esgotos e suas respectivas dimensões, em mm, são: selim (150X100, 200X100, 300x100, 150x150, 200x150 e 300x150), tê (100X100, 150X100 e 150X150), curva de 45°(100 e 150), curva de 90° (100 e150), luva de correr (100 e 150) e adaptador para manilha (100 e 150).

As principais características citadas pelos fabricantes de PEAD são: leveza e flexibilidade; baixo coeficiente de rugosidade (coeficiente de rugosidade de Manning, $n = 0,010$), permitindo maior vazão com menor declividade; elevada resistência ao impacto, resistência química e à abrasão; elevada imunidade a corrosões; ótima soldabilidade; grande impermeabilidade a gases e vapores; facilidade de transporte, manuseio e instalação sem perigo de fissuras ou quebras; baixíssimo efeito de incrustações; elevada vida útil.

As principais recomendações dos fabricantes das tubulações de PEAD, estão a seguir discriminadas:

- Durante o transporte e/ou manuseio dos tubos e seus acessórios, deve-se evitar que ocorram choques ou contatos com elementos que possam

comprometer a integridade dos mesmos, tais como: objetos cortantes ou pontiagudos com arestas vivas, pedras, etc;

- Os tubos e conexões devem ser armazenados em locais cobertos;
- No caso de execução de soldas entre os tubos, a região a ser soldada deve ser protegida contra intempéries.

4.4.6- Poliéster reforçado com Fibras de Vidro - PRFV

Os principais fabricantes dos tubos de poliéster reforçado com fibras de vidro são: Amitech Brazil Tubos S.A. e EDRA. Os tubos são fabricados com 6,0m de comprimento, junta elástica e rígida e diâmetro nominal de: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400mm. As conexões mais utilizadas para o transporte dos esgotos sanitários são as luvas, com diâmetro nominal de: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 e 2400mm.

As principais características especificadas pelos principais fabricantes são:

- Resistência à corrosão: elevada vida útil; não necessita de revestimento ou proteção; baixo custo de manutenção; diâmetro interno útil constante, não sofre incrustações;
- Baixo peso: menor custo de transporte e manuseio;
- Superfície interior lisa: menor custo para bombeamento;
- Junta elástica integrada: montagem mais simples, segura e econômica;

- Flexibilidade no fornecimento: tubos fornecidos com junta elástica integrada, flangeados ou com ponta para solda de topo e peças especiais atendendo qualquer projeto;
- O sistema de acoplamento, tipo junta elástica, dos tubos proporciona deflexões para ajustes do alinhamento e traçado durante a montagem, possibilitando a formação de curva de grande raio sem utilizar conexões. Além da flexibilidade de montagem, a deflexão angular absorve possíveis movimentos do solo sem comprometer a estanqüidade;
- Perfeito acoplamento em tubos de ferro fundido dúctil, PVC, DEFOFO e outros materiais.

As recomendações gerais dos fabricantes dos tubos de PRFV são:

- Fluidos muito agressivos ou a temperaturas elevadas requerem a aplicação de resinas especiais;
- Os tubos não devem ser apoiados sobre arestas ou objetos pontudos, que gerem concentrações de tensões;
- Equipamentos pesados como válvulas e outros, devem ter apoios independentes da tubulação;
- Limpar a ponta e a bolsa dos tubos a serem acoplados;
- Os tubos devem ser estocados sobre madeiras ou terrenos de superfície plana.

4.5 - Aspectos construtivos

Os métodos construtivos independem do tipo de material utilizado, ou seja, as etapas a seguir, que visam à aplicação dos materiais das tubulações utilizadas em sistemas de esgotos sanitários, são executadas independentemente do material utilizado.

4.5.1- Escavação

A largura da escavação da vala irá depender do diâmetro e da profundidade da tubulação e do tipo de escoramento a ser utilizado. Esses dados devem ser fornecidos nas especificações técnicas do projeto.

4.5.2- Escoramento

O escoramento é necessário sempre que as paredes laterais da vala, poços e cavas forem constituídas por solo possível de desmoronamento, bem como nos casos em que, devido aos serviços de escavação, seja constatada a possibilidade de alteração da estabilidade do que estiver próximo a região dos serviços. Conforme a Portaria nº 18 de 1983, do Ministério do Trabalho, é obrigatório o escoramento para valas de profundidades superiores a 1,25m. (SABESP, 1997).

O tipo de escoramento a ser adotado depende da profundidade da tubulação, das condições de acesso e do tipo de solo. Os principais tipos de escoramentos utilizados na Sabesp são: pontaleamento, descontínuo, contínuo, especial e metálico – madeira.

A Figura 28 apresenta o escoramento por pontaleamento onde a superfície lateral é contida por tábuas verticais de peroba espaçadas e travadas por estroncas de eucalipto.

Figura 28 – Pontaleamento. Fonte: (SABESP, 1997).

A Figura 29 apresenta o escoramento descontínuo onde a superfície lateral é contida por tábuas verticais de peroba espaçadas e travadas por longarinas de peroba.

Figura 29 – Escoramento descontínuo. Fonte: (SABESP, 1997).

A Figura 30 apresenta o escoramento contínuo onde a superfície lateral é contida por tábuas verticais de peroba encostadas umas nas outras e travadas por longarinas de peroba.

Figura 30 – Escoramento contínuo. Fonte: (SABESP, 1997).

A Figura 31 apresenta o escoramento especial onde a superfície lateral é contida por pranchas verticais de peroba tipo macho e fêmea, travadas por longarinas de peroba.

ESPECIAL

Figura 31– Escoramento especial. Fonte: (SABESP, 1997).

A Figura 32 apresenta o escoramento metálico - madeira onde a superfície lateral é contida por perfis verticais de aço tipo “I”, pranchões de peroba, longarinas de perfil de aço e estroncas de perfis de aço ou de eucalipto.

Figura 32– Escoramento metálico - madeira. Fonte: (SABESP, 1997).

4.5.3- Assentamento

O assentamento das tubulações de esgotos deve ser feito sempre de jusante para montante. As bolsas das tubulações devem ser assentadas sempre para montante, verificando se os tubos não apresentam defeitos de fabricação ou trincas, devendo-se ainda observar a limpeza dos mesmos.

Sempre que for interrompido o trabalho de assentamento da tubulação, o último tubo deverá ser tamponado evitando-se a entrada de elementos estranhos.

Para o assentamento das tubulações de esgotos normalmente utilizam-se gabaritos denominados visores e cruzetas.

Os tipos de assentamento podem ser: simples; com lastro; com lastro, laje e berço, e ainda, com lastro, laje, berço e estacas. A utilização de cada tipo dependerá da presença ou não de água e do tipo de solo.

A Figura 33 apresenta o assentamento simples da tubulação diretamente no solo. Deve-se fazer um rebaixo no fundo da vala para alojar o tubo. Isto é possível em terreno seco onde não haja rocha.

Figura 33 – Assentamento simples. Fonte: (SABESP, 1997).

Como o assentamento das tubulações cerâmicas com junta asfáltica é uma atividade artesanal e arcaica, será apresentado neste item, através de ilustrações sequenciais, o assentamento desse material.

A Figura 34 apresenta a limpeza cuidadosa do fundo da vala antes do assentamento.

Figura 34 – Preparação do fundo da vala para o assentamento de tubo cerâmico.

A Figura 35 apresenta a colocação da estopa alcatroada na ponta do tubo. Deve-se tomar o devido cuidado com a sua centralização e introdução na bolsa de espera.

Figura 35 – Colocação da estopa de vedação na ponta do tubo cerâmico.

A estopa deve ser ajustada no fundo da bolsa, de modo a proporcionar um espaço vazio de 5 cm a contar da extremidade da bolsa. A Figura 36 apresenta esse estágio.

Figura 36 – Encaixe e alinhamento da ponta na bolsa do tubo cerâmico.

A Figura 37 apresenta a execução de uma espécie de anel (cachimbo) utilizando barro. Esse anel impede a extravasão do asfalto.

Figura 37 – Preparação do cachimbo no tubo cerâmico.

O asfalto deve ser lançado de uma só vez com recipiente apropriado, somente em um dos lados do cachimbo até a extravasão total do lado oposto, garantindo, assim o perfeito enchimento (Figura 38). Após o preenchimento deve-se aguardar o resfriamento do asfalto (Figura39).

Figura 38 – Enchimento do cachimbo de barro com asfalto.

Figura 39 – Resfriamento do asfalto após o preenchimento do cachimbo.

Retira-se o cachimbo da junta para a verificação do seu total enchimento (Figura 40). O nivelamento das geratrizes inferiores internas dos tubos deve ser avaliado, para que seja evitado o desalinhamento dos tubos (Figura 41).

Figura 40 – Remoção da corda alcatroada.

Figura 41 – Junta deslocada da tubulação cerâmica, em operação.

Quando não for possível ser feito o rebaixo no terreno natural, deverá ser executado em colchão de material granular fino, normalmente areia ou pó e pedra, perfeitamente adensada, na espessura mínima, abaixo da geratriz externa inferior, de 0,10m e de 0,20m, no caso do leito apresentar-se, respectivamente, em solo e rocha.

A Figura 42 apresenta o assentamento com lastro.

Figura 42 – Assentamento com lastro. Fonte: (SABESP, 1997).

A Figura 43 apresenta o assentamento da tubulação sobre um berço de concreto apoiado em laje de concreto armado, executada sobre lastro de pedra britada n° 2 e n° 4.

Figura 43 – Assentamento com lastro, laje e berço. Fonte: (SABESP, 1997).

Nos trechos onde a camada de solo, adequado para a sustentação da tubulação, estiver localizada a uma profundidade relativamente grande e que não torne aconselhável a substituição do terreno de fundação, recomenda-se a utilização de estacas de modo a transmitir a carga da estrutura para a camada de solo de maior capacidade. A Figura 44 apresenta esse tipo de assentamento.

Figura 44 – Assentamento com lastro, laje, berço e estacas . Fonte: (SABESP, 1997).

Para o assentamento de tubulações de PVC rígido, quando o trecho se desenvolver em curva, o coletor pode ser projetado, aproveitando-se a flexibilidade dos tubos com ângulo variando de $4^{\circ}40'$ até $25^{\circ}30'$ para 12m de coletor e diâmetro nominal de 75 a 400mm (NBR 7367, 1988).

Nos trechos em que o recobrimento da tubulação for mínimo (inferior a 1 m), e/ou quando a tubulação for assentada em ruas com pesadas cargas móveis, e/ou quando a tubulação for assentada em valas muito profundas, em condições em que a carga de terra provocaria deformações diametrais superiores a 7,5% em condições de assentamento normal, devem ser tomadas medidas especiais para a sua proteção. Esta proteção pode ser feita embutindo-se a tubulação de esgoto dentro de tubos com DN superiores e apropriados para receber cargas móveis, ou mediante lajes. Nestes casos, o tubo deve ser envolvido em material granular ou pó de pedra. Não é recomendável o envolvimento dos tubos com concreto. No caso do assentamento em valas profundas a proteção pode ser feita simplesmente envolvendo a tubulação em material granular (NBR 12266, 1989).

Quando os assentamentos das tubulações de PVC forem aéreos é preferível assentar a tubulação em uma viga com seção em U com dimensões tais que permitam envolvê-la em material granular. A tubulação poderá também, ser apoiada por abraçadeiras (NBR 7367, 1988).

4.5.4 - Aterro e recobrimento de valas, cavas e poços

O aterro das valas deverá ser executado de modo a oferecer condições de segurança às tubulações e bom acabamento da superfície.

A compactação da vala não deve ser efetuada com pneus de retro escavadeiras e caminhões. Caso o material proveniente da escavação não servir para o aterro, há necessidade de utilizar material adequado, importado de outra área. O material do aterro deverá ser isento de pedras e corpos estranhos.

O procedimento para o aterro de valas varia de acordo com o seu local de abertura. A seguir é apresentada a seqüência de execução do aterro para valas localizadas sob o passeio e sob a via carroçável (SABESP, 1997):

- Vala sob o passeio

Nas valas abertas sob o passeio, o espaço compreendido entre a base de assentamento e a cota definida pela geratriz superior do tubo, acrescida de 20cm, deverá ser preenchido com solo compactado, com soquetes manuais, em camadas não superiores a 20cm até atingir a profundidade de 1,00m em relação a cota do passeio. O restante do aterro deverá ser executado de maneira que resulte densidade aproximadamente igual à do solo que se apresenta nas paredes das valas, utilizando-se de preferência o mesmo tipo de solo, isento de corpos estranhos.

- Vala sob via carroçável

Para tubulações assentadas sob via carroçável, cuja vala deva ser recomposta com solos coesivos, o espaço compreendido entre a base de assentamento e a cota definida pela geratriz externa superior, acrescida de uma altura de 30 cm, deve ser preenchido com aterro compactado com soquetes manuais, em camadas não superiores a 20cm até atingir a profundidade de 1,00m em relação ao nível do leito carroçável. O restante do aterro deverá ser feito com compactação mecânica,

controlada com proctor normal ou compactidade relativa, dependendo do material utilizado, em camadas de 20cm de espessura.

A Tabela 5 apresenta as profundidades mínimas de recobrimento em função da localização da tubulação. Esse recobrimento é considerado a partir da geratriz superior dos tubos. Nos casos em que não for possível manter os recobrimentos mínimos devem ser previstas estruturas para proteção destas tubulações.

Tabela 5 – Profundidades mínimas de recobrimento.

Localização da tubulação	Recobrimento mínimo (m)
No passeio	0,60
No terço da via:	
- com tráfego leve	0,80
- com tráfego intenso e pesado	1,20
Sob ferrovias	1,50

Fonte: (ALAMBERT, 1997).

Os tubos enterrados devem suportar cargas externas estruturais incluindo o peso do solo acima do tubo e demais cargas acima do solo, como por exemplo, cargas referentes às rodas de veículos. As duas grandes categorias de tubos utilizados em projetos estruturais são os tubos rígidos e flexíveis. O tubo rígido suporta cargas externas por causa da força do próprio tubo. O tubo flexível distribui as cargas externas para o solo ao redor e/ou para o material de assentamento da tubulação. Considera-se tubos flexíveis o ferro fundido dúctil, o aço e o PVC e tubos rígidos, o cimento-amianto e o concreto. O plástico reforçado com fibra de vidro também é considerado um tubo rígido (SANKS et al., 1998).

Para Twort, Ratnayaka e Brandt (2000) os tubos podem ser classificados como rígidos, semi-rígidos e flexíveis. Os tubos rígidos incluem concreto e cimento amianto, os tubos flexíveis incluem aço de paredes finas (proporção diâmetro-espessura maior que 120) e plásticos, e os tubos de ferro fundido dúctil são classificados como semi-rígidos.

As forças de suporte para tubos flexíveis são geralmente dadas como cargas necessárias para produzir a deflexão expressa como porcentagem do diâmetro. O tubo de ferro fundido dúctil pode ser projetado para deflexões de até 3% do diâmetro do tubo. Alguns fabricantes de tubos plásticos sugerem que as deflexões de até 7% são permissíveis. Muitos engenheiros, entretanto, acreditam que esses valores são muito altos e adotam 2 a 3% para seus projetos (SANKS et al., 1998).

Tubos flexíveis requerem mais cuidados na seleção e controle do reaterro do que em outros tipos de tubo, mas oferecem soluções econômicas e são conseqüentemente mais utilizados (TWORT; RATNAYAKA; BRANDT, 2000).

O projeto da tubulação para resistir cargas externas é bastante abrangente, pois depende de diversas variáveis, como a rigidez do tubo, a largura e a profundidade da vala, o tipo de assentamento, o tipo de solo e as dimensões do tubo.

4.5.5 - Métodos não destrutivos

Nos grandes centros urbanos, os túneis têm importância decisiva na execução de obras, porque se apresentam como solução para vencer múltiplos obstáculos, evitando a interrupção de trânsito, desapropriações de terrenos e edificações e facilitando a transposição de interferências (CHAMA NETO, 2004).

Os principais métodos utilizados são o “mini shield”, NATM, “tunnel liner”, perfuração direcional e tubo cravado, cujos detalhes são apresentados a seguir. Observa-se que o sistema de tubo cravado utiliza tubos de concreto de alta resistência, enquanto que os demais métodos utilizam tubos de concreto moldados in loco.

- **“Mini – shield”**

O processo consiste em executar túneis circulares pelo assentamento de anéis de concreto com equipamento de avanço, constituído por um cilindro de aço, ou

carcaça, dotado de macacos hidráulicos independentes. A escavação do solo, dentro do cilindro, é feita à medida que se faz a sua cravação.

À medida que a escavação prossegue, o túnel aberto deve ser revestido. O revestimento é feito montando, dentro da carcaça, anéis de concreto justapostos que formam o minitúnel. Cada anel é constituído de segmentos dotados de orifícios para possibilitar a injeção de preenchimento, após sua montagem, entre o solo e a face externa dos anéis.

Esse método não é mais utilizado pela Sabesp devido aos diversos problemas estruturais nas tubulações executadas, causados devido às infiltrações nas juntas dos anéis segmentados de concreto.

A Figura 45 apresenta o túnel revestido com placas de concreto e a Figura 46 apresenta o equipamento utilizado na escavação.

Figura 45– Interceptor construído pelo método mini-shield. Fonte: (SABESP, 1993).

Figura 46– Shield utilizado na escavação do túnel. Fonte: (SABESP, 1993).

- **NATM**

A escavação de túnel, em solo ou rocha, pelo NATM – New Australian Tunnelling Method – baseia-se na capacidade de auto-sustentação do material circundante à cavidade. A velocidade de avanço da frente de escavação, em função do tipo de solo encontrado, determina a eventual necessidade de escoramento. O acompanhamento sistemático das medidas de convergência das secções transversais determina a utilização de escoramentos necessários à estabilização de deformações.

Durante a execução será assegurada a sustentação da cavidade através da aplicação de concreto projetado sobre tela de aço e da aplicação, simultânea ou não, de cambotas de aço, chumbadores, tirantes e enfilagem.

A Figura 47 apresenta a projeção de concreto na parede do túnel e a Figura 48 apresenta o túnel acabado, executado pelo método NATM.

Figura 47– Projeção de concreto sobre tela de aço. Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

Figura 48– Túnel NATM acabado. Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

- **“Tunnel liner”**

O túnel é implantado pela escavação e montagem simultânea do revestimento metálico. Esse revestimento é constituído por anéis de chapas de aço corrugado e galvanizados a fogo. Os anéis são solidarizados entre si, por parafusos e porcas galvanizadas nas bitolas convenientes e distribuídas ao longo das flanges laterais destes.

O revestimento estrutural interno do túnel deve ser de concreto impermeável a infiltrações e resistir aos esforços externos.

As Figuras 49 e 50 apresentam etapas da execução do túnel pelo método túnel-linner.

Figura 49– Montagem de chapas em aço corrugado. Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

Figura 50– Concretagem das chapas de aço corrugado. Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

- **Perfuração direcional**

Esse método consiste na perfuração utilizando equipamentos específicos dirigíveis ou fixos em caminhões. Inicialmente, faz-se uma perfuração piloto que depois é aumentada no diâmetro desejado da tubulação.

O método de perfuração direcional executa extensões de até 300m e de diâmetro até 355mm. A Figura 51 apresenta o equipamento que foi utilizado para a execução de interligações a coletores tronco, em PEAD, com diâmetro de 300mm, na área de pesquisa.

Figura 51 – Equipamento para a perfuração direcional.

- **Tubo cravado**

Dentre os métodos existentes para a cravação de tubos, um dos resultantes de desenvolvimento tecnológico recente é o sistema Jacking Pipe, que vem crescendo nos últimos anos no Brasil. Esse sistema consiste na execução de túneis, em vários diâmetros, através da cravação de tubos de concreto de alta resistência (50 a 80 MPa), destinados a canalizações em geral, apresentando vantagens, tais como, tipos e versatilidade dos equipamentos de cravação, que permitem a execução dos túneis em maciços arenosos e argilosos, com ou sem capacidade portante, na presença ou não de água (CHAMA NETO, 2004).

Esse sistema foi utilizado nas obras de despoluição da Baía da Guanabara no Rio de Janeiro, nos diâmetros de 1200mm, 1500mm e 2000mm, e vem sendo utilizado pela Sabesp, nas obras do programa de despoluição do rio Tietê.

A Figura 52 apresenta o poço de serviço com as dimensões compatíveis com o tipo de equipamento de cravação.

Figura 52– Poço de serviço para a cravação dos tubos. Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

A Figura 53 apresenta o processo de cravação dos tubos através de macacos hidráulicos. Na parede oposta à direção de cravação do tubo, deve ser construído um quadro rígido para a reação do macaco hidráulico, que pode ser em madeira de peroba ou em concreto.

Figura 53 – Cravação dos tubos de concreto. Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

Na primeira seção deve ser adaptada uma carcaça de aço denominada shield, com a finalidade de servir como câmara de trabalho, proteger o primeiro tubo e facilitar o corte do terreno na cravação. A Figura 54 apresenta a foto do shield.

Figura 54 - Shield utilizado na cravação dos tubos. Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

4.6 - Operação e manutenção das tubulações

Vários fatores influenciam na operação e manutenção das tubulações de esgotos, tais como (OLIVEIRA; DE ANGELLIS; MORAES, 1993):

4.6.1- Cadastro do sistema

A operação e a manutenção dos coletores de esgotos exigem um completo conhecimento de sua localização e de seus acessórios, bem como, diâmetros e sentido do fluxo.

4.6.2- Projeto de coletores

Declividades inadequadas provocam deposição de sedimentos nas tubulações e, conseqüentemente, constantes obstruções, enquanto, redes subdimensionadas causam afogamento dos coletores e refluxo em imóveis.

O excesso de caixas de passagem entre poços de visita, principalmente em áreas periféricas da Região Metropolitana de São Paulo, é a causa de constantes obstruções devido o difícil acesso de equipamentos de desobstrução e limpeza.

4.6.3- Construção de coletores

Falhas na locação das tubulações e no assentamento, podem resultar em baixas declividades e até declividades invertidas, alterando as condições de operação dos coletores.

Juntas imperfeitas nas tubulações facilitam a penetração de raízes de árvores e infiltração de água em excesso. As raízes provocam obstruções, enquanto a infiltração carrega o solo à volta da junta, podendo causar recalque na tubulação e abaixamento no pavimento das ruas.

4.6.4- Inspeções periódicas

As inspeções periódicas com foco na identificação de ligações clandestinas de águas pluviais e na detecção de produtos graxos e demais produtos químicos lançados

irregularmente são de extrema importância para o perfeito funcionamento das redes coletoras, pois o número de manutenções aumenta na medida que diminuem as inspeções periódicas.

4.6.5- Registro de ocorrências

Um banco de dados contendo as manutenções efetuadas com a descrição do problema encontrado, permite a identificação de coletores problemáticos e possibilita ações planejadas.

4.6.6- Educação sanitária

A correta utilização das instalações sanitárias é fator importante na redução das manutenções.

A proposta para um programa de manutenção preventiva de sistemas de coleta de esgotos, baseia-se em inspeções periódicas de rotina, avaliação das infiltrações no sistema através de medições de vazão em épocas secas e com chuvas, investigações de campo e avaliação econômica da reabilitação (OLIVEIRA; DE ANGELLIS; MORAES, 1993).

Para Brienza (1986), os tipos de manutenção em redes coletoras de esgotos são:

- Manutenção de emergência: serviço que funciona devido aos acidentes ocorridos na rede coletora, inesperadamente. Não é programado, pois ocorre com maior ou menor intensidade de frequência, devido aos defeitos de construção, deficiência das instalações hidráulicas, ou inexistência de manutenção preventiva ou corretiva. Ocorre, também, devido às interferências com os sistemas de outras companhias e/ou concessionárias;
- Manutenção corretiva: esse serviço compreende substituições, remanejamentos ou melhoramento das características funcionais de uma rede coletora de esgotos, visando superar defeitos construtivos, ampliação da

eficiência operacional ou aumento da capacidade de atendimento da demanda;

- Manutenção preventiva: é a que se antecipa às interrupções e ao desgaste das partes da rede. Implantando um real controle das ocorrências na rede e suas correspondentes análises, a administração pode estabelecer um programa de manutenção. É o tipo de manutenção ideal.

Programas de educação ambiental e sanitária, através de palestras e reuniões periódicas com as comunidades são essenciais para a conscientização da população em relação à utilização correta dos equipamentos sanitários, diminuindo assim a quantidade de manutenção necessária.

Atualmente a Sabesp vem desenvolvendo estudos de otimização em subbacias da Região Metropolitana de São Paulo, que prevêm a inspeção no sistema de esgotos, inspeção em galerias de águas pluviais, reavaliação hidráulica, diagnóstico do sistema e propostas de melhorias no sistema através da criação de planos de ação e programas de manutenção preventiva. Esses dados são utilizados para calibrar um modelo matemático de simulação hidrodinâmica utilizando softwares específicos.

Como serviços de apoio para o estudo de otimização pode-se citar: medições de vazão e pluviometria, testes de fumaça e corante, detecção, descobrimento e nivelamento de singularidades, filmagem e lavagem dos coletores. Esses estudos de otimização além de possibilitar a criação de programas de manutenção preventiva, indicam a necessidade de intervenções estruturais e não estruturais que possibilitem a despoluição de córregos localizados em zonas urbanas altamente adensadas.

4.6.7- Infiltração nas tubulações de esgoto

A quantidade de infiltração nas redes de esgoto sanitário depende da qualidade dos materiais empregados, do estado de conservação, dos cuidados necessários para a

execução das obras, bem como das características do solo, nível do lençol freático, tipo de solo, permeabilidade, etc.

Pode-se considerar que as redes de esgoto e coletores executados em PVC, PEAD e PRFV, devido a menor quantidade de juntas e da maior impermeabilidade do material, apresentam menos problemas de manutenção que as redes e coletores executados em cerâmica e concreto.

As contribuições indevidas nas redes coletoras de esgoto podem ser originárias do subsolo, genericamente chamadas de infiltrações, ou podem provir do encaminhamento acidental ou clandestino de águas pluviais. A NBR 9649 da ABNT recomenda que apenas a infiltração seja considerada na elaboração dos projetos hidráulico-sanitários das redes coletoras de esgotos.

As águas do subsolo penetram nos sistemas através dos seguintes meios (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999):

- juntas das tubulações;
- paredes das tubulações;
- através das estruturas dos poços de visita, tubos de inspeção e limpeza, terminal de limpeza, caixas de passagem, estações elevatórias, etc.

Os ramais prediais também contribuem significativamente para a infiltração, devido aos seguintes fatores (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999):

- extensão das ligações prediais geralmente maior do que a extensão total da rede coletora;
- na maioria das vezes, execução dos coletores prediais não tão cuidadosa como a da rede coletora.

A norma NBR 9649 refere-se da seguinte maneira em relação ao coeficiente de infiltração:

“TI, Taxa de contribuição de infiltração, depende de condições locais tais como: NA do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, material da tubulação e tipo de junta utilizado. O valor entre 0,05 a 1,0 L/s.km adotado deve ser justificado”.

Conforme Tsutiya & Bruno (1983) a taxa de infiltração de 1,0 L/s.km é relativamente alta, pois os dados obtidos por vários pesquisadores nacionais resultaram sempre em valores inferiores, propõe-se portanto, os seguintes coeficientes de infiltração:

- Para os coletores situados acima do lençol freático: 0,020 L/s.km.
- Para os coletores situados abaixo do lençol freático: 0,10 L/s.km.

4.6.8- Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgotos sanitários

A contribuição de águas pluviais nos sistemas de esgotos é a causa de grande parte dos problemas de refluxo de esgotos, nos períodos chuvosos. Essa situação gera diversas solicitações de manutenção de redes coletoras e de ligações prediais.

A contribuição pluvial parasitária deve ser determinada, com base em medições locais. Inexistindo tais medições, pode ser adotada uma taxa cujo valor deve ser justificado e que não deve superar 6L/s.km de coletor contribuinte ao trecho em estudo (NBR 12207, 1989).

A NBR 12207 recomenda o acréscimo da contribuição pluvial parasitária apenas na análise de funcionamento dos interceptores e no dimensionamento de seus extravasores.

Pesquisa realizada por Tsutiya et al. (2003) na cidade de Franca, estado de São Paulo, demonstrou que quantidades significativas de águas indevidas são introduzidas nos coletores e nas ETEs devido à ocorrência de chuvas, podendo comprometer o processo de tratamento, provocando o arraste de sólidos ou causando problemas ambientais devido as extravasões nos corpos receptores. Foi obtida uma

taxa de contribuição de esgotos mais águas pluviais afluentes a ETE de Franca de 2,60 a 2,72L/s.km e exclusivamente para águas pluviais, descontando-se a vazão média de esgoto tratado de 2,13 a 2,26 L/s.km, confirmando-se a existência de considerável contribuição de águas pluviais ao sistema de esgotamento sanitário.

A Tabela 6 apresenta as principais indicações sobre vazão parasitária , no Brasil e nos Estados Unidos. Observa-se que todos os valores não ultrapassam o valor limite de 6L/s.km, citado na NBR 12207.

Tabela 6- Contribuições pluviais parasitárias.

Fonte	Local	Ano	L/s.km
DES, SURSAN	Rio	1959	6,0
Greeley & Hansen	São Paulo	1952	3,9
Hanzen & Sawyer	São Paulo	1965	4,1
G.M.Fair	USA	1945	3,6
G.M. Fair e G.C. Geyer	USA	1959	3,4
Nova Iorque	USA	1945	4,2
NBR 12207	Brasil	1989	até 6,0

Fonte: (NUVOLARI, 2003).

4.6.9- Equipamentos para a manutenção das tubulações de esgotos

Os principais equipamentos utilizados na Sabesp para a manutenção das tubulações de esgotos são:

4.6.9.1- Máquina de cabos helicoidais para ramais prediais – “Flexi – cleaner”

Esse equipamento é utilizado para desobstrução, em tubulação com diâmetro de 75mm a 150mm (Figura 55). Para que a desobstrução seja possível, usam-se cabos denominados helicoidais.

Dependendo da obstrução, o operador pode emendar os cabos até o comprimento máximo de 32m, equivalente a quatro cabos.

Figura 55 – Flexi – cleaner.

4.6.9.2- Mini – hidrojateamento – “Mini – jet”

As máquinas de “Mini – jet” (Figura 56) foram concebidas para fazer lavagem e limpeza de material sedimentário em ramais e redes de 100mm até 150mm de diâmetro com boa eficiência.

Devido ao seu tamanho reduzido, podem ser empregadas em locais onde haja restrições viárias locais e/ou de espaço físico.

Este equipamento é utilizado para limpar o sistema de esgoto, remover e carrear sedimentos e detritos para a singularidade de jusante, onde são retirados.

Figura 56 – Mini – jet.

4.6.9.3- Hidrojateamento de alta pressão – “Sewer – jet”

São utilizados na lavagem e limpeza de coletores de esgotos a partir de 150mm de diâmetro e com pressões reduzidas no caso de ligações domiciliares de esgoto de 100mm (Figura 57).

Figura 57 – Sewer – jet.

O serviço consiste em limpar o sistema de esgotos através de bombeamento de água a alta pressão em seu interior, de modo a remover a obstrução e carrear os sedimentos e/ou detritos para a singularidade a jusante. Dependendo do tamanho do detrito, o mesmo pode ser retirado por um equipamento de sucção ou manualmente.

4.6.9.4- Máquina de varetas giratórias para coletores – “Sewer roder”

A máquina de varetas é utilizada para desobstruções de coletores de esgoto de diâmetro entre 150mm a 300mm (Figura 58).

O equipamento pode romper e eliminar obstruções causadas por panos, raízes, graxas e outros materiais que penetram nas tubulações de esgotos.

Figura 58 – Sewer – roder.

4.6.9.5- Equipamento combinado de limpeza por hidrojateamento e sucção por alto vácuo – “Vac- all”

Trata-se de equipamento de alta pressão por turbinas dinamicamente balanceadas (Figura 59), que promovem a sucção e limpeza de resíduos sólidos de várias espécies, inclusive paralelepípedos e pedras, que se depositam em locais como: poços de visitas, estações elevatórias e caixas de gordura.

Figura 59– Vac-all.

4.7 - Corrosão nas tubulações

Quando a areia contida nos esgotos fluem com baixas velocidades e baixa tensão de arraste, mesmo nas horas de pico, ocorre a sua deposição nas tubulações e a formação de depósitos que retêm matéria orgânica e propiciam o desenvolvimento de bactérias anaeróbias, resultando em condições adequadas para a geração de sulfetos. O sulfeto de hidrogênio (H_2S) ou gás sulfídrico é o mais importante gás observado em sistemas de coleta e transporte de esgoto sanitário, associado à produção de odores desagradáveis, corrosão e toxidez. O H_2S tem odor característico de ovo podre, é extremamente tóxico e corrosivo a metais como ferro, zinco, cobre, chumbo e cádmio, bem como é precursor para a formação de ácido sulfúrico (H_2SO_4), que corroe o concreto, pintura à base de chumbo, metais e outros materiais, conforme apresentado nas Figuras 60 e 61. (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

Figura 60- Corrosão de tubo de esgoto causado por sulfeto de hidrogênio. Fonte: (METCALF & EDDY, 1982).

Figura 61- Representação esquemática de desenvolvimento típico de corrosão em tubo de concreto armado. Fonte: (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

Segundo Takahashi (1983), na fase de projeto, alguns cuidados podem ser tomados para minimizar a formação de sulfetos, mantendo os esgotos em condições aeróbias, tais como:

- Garantia da tensão trativa, para vazões mínimas, de 1,5 Pa;
- Adoção intencional de grande número de degraus na rede coletora de diâmetro mínimo, em trechos não críticos de profundidade, para favorecer a aeração;
- Concepção do sistema que procure diminuir o tempo de percurso do esgoto.

Takahashi (1983), apresenta comentários relativos à resistência dos principais materiais utilizados nos sistemas de esgotos ao efeito da corrosão causada pelo sulfeto:

- Tubos cerâmicos: os vitrificados são os mais resistentes aos ataques ocorridos em esgoto e, em especial ao ácido sulfúrico. Para os tubos cerâmicos sem vitrificação há necessidade de mais estudos sobre sua resistência;
- Tubos de concreto: apesar de serem susceptíveis ao ataque do ácido sulfúrico, são largamente utilizados pelo seu custo relativamente baixo em relação aos demais materiais. O controle da qualidade do concreto, em conjunto com o aumento do cobrimento do tubo, pois quaisquer fissuras ou junta mal feitas ou inadequadas são caminhos preferenciais de ocorrência de corrosão, e a substituição do agregado granítico pelo agregado de calcário, pois a alcalinidade do concreto pode passar de 16 a 24% para 100%, são maneiras de aumentar a vida útil da tubulação;
- Tubos de ferro fundido: estão sujeitos ao ataque por grafitação pelo próprio sulfeto, sendo os cristais de ferro puro dissolvidos, resultando na formação de sulfeto de ferro, deixando uma massa porosa de carbonetos e silicetos de ferro. A pior condição para isso ocorrer é quando o tubo está parcialmente cheio, pois além do ataque de sulfeto, ele sofre o ataque de ácido sulfúrico.

Quando trabalha completamente afogado a um pH acima de 6,5 e com cloreto abaixo de 500mg/L, o ferro fundido comporta-se satisfatoriamente. Se o tubo for revestido com argamassa de cimento e areia e trabalhar sempre afogado, estará protegido, pois o H_2S dissolvido pode atacar o ferro, mas não o cimento.

- Tubos PRFV e PVC: podem ser utilizados em determinados casos, onde há comprovação de atividade excessiva, devido a determinado agente agressivo. Cada caso deve ser estudado considerando a natureza do agente agressivo, a propriedade intrínseca de resistência do material, assim como custos e facilidades de execução de assentamento e de execução.
- Juntas: do ponto de vista de resistência química, o neoprene é um dos elastômeros mais resistentes e, portanto, indicado para interceptores que receberão efluentes industriais, apesar do custo mais elevado. Nos condutos sob pressão, recomenda-se a borracha butílica, havendo necessidade de maiores pesquisas com outros elastômeros.

A adoção da camada de sacrifício para condutos de concreto, utilizando calcário para o aumento de alcalinidade, baseia-se no fato de a corrosão se dar de forma uniforme entre o cimento e o agregado, onde o agregado serviria para neutralizar o ácido sulfúrico formado, não deixando só por conta do ataque ao cimento. Desse modo o avanço da corrosão seria retardado. Além desse método, outra maneira de prolongar a vida útil dos condutos de concreto é a adoção de cimento mais resistente ao ataque do H_2SO_4 e de medidas que diminuam a porosidade do concreto. A utilização de cimento Portland de escória de alto forno ou cimento pozolânico aumenta a resistência ao ácido sulfúrico. A diminuição de porosidade pode ser conseguida aumentando convenientemente o consumo de cimento e limitando o fator água-cimento (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

Para o dimensionamento hidráulico dos interceptores utiliza-se tensão trativa igual ou maior que 1,5Pa, pois essa tensão além de atender as condições de autolimpeza,

diminui a formação da película de limo nas paredes das tubulações e, conseqüentemente, a geração de sulfetos. Como os materiais dos interceptores são geralmente de concreto, que são atacados pelo ácido sulfúrico, é de fundamental importância prevenir a formação de sulfetos.

Quanto aos revestimentos, de maneira geral, o seu uso não é recomendável devido principalmente ao fato de que qualquer falha, por menor que seja, pode provocar o descolamento do revestimento como um todo, comprometendo o resultado final. Por ser normalmente executado em condições precárias, o controle de qualidade de execução é muito difícil (TAKAHASHI, 1985).

Além das corrosões internas mencionadas nesse item, ressaltamos as corrosões eletroquímicas e eletrolíticas que ocorrem principalmente na parte externa das tubulações metálicas.

4.8 - Normas da ABNT e da Sabesp

Para o desenvolvimento desse item foram pesquisadas todas as normas da ABNT (NBR) e da Sabesp (NTS) relacionadas às tubulações de esgotos sanitários, focando-se os comentários quanto aos materiais e diâmetros recomendados. Apesar de todas as normas terem sido pesquisadas, serão apresentadas nesse item, apenas aquelas relacionadas ao objeto desse trabalho. A itemização adotada separa as normas da ABNT e as normas da Sabesp, citando separadamente as normas referentes a projetos e agrupando as demais normas por tipo de material.

4.8.1 - Normas da ABNT

• Projetos

- NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário: os diâmetros a empregar devem ser os previstos nas normas e especificações brasileiras relativas aos diversos materiais, o menor não sendo inferior a DN 100; deve-

se considerar o coeficiente de Manning, $n = 0,013$, independente do tipo de material, para o dimensionamento hidráulico. Qualquer outro valor adotado, deverá ser justificado.

- NBR 12207 – Projeto de interceptores de esgoto sanitário: os efeitos de agitação excessiva devem ser sempre evitados, não sendo permitidos degraus e alargamentos bruscos; quando necessário, devem ser projetados dispositivos especiais de dissipação de energia e estudadas a formação de sulfetos, suas conseqüências, medidas de proteção do conduto e a utilização de materiais resistentes à sua ação; para o dimensionamento hidráulico, deve-se considerar o coeficiente de Manning, $n = 0,013$, independente do tipo de material. Quando outro valor de n for adotado, deverá ser justificado.
- NBR 12208 – Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário: os componentes dos registros, válvulas e comportas sujeitos a desgaste devem ser de bronze ou aço inoxidável. As tubulações devem ter revestimento interno e externo resistentes às características adversas do esgoto.

• PVC

- NBR 7362-1 – Sistemas enterrados para condução de esgoto – Parte 1: Requisitos para tubos de PVC com junta elástica: os tubos são dimensionados para trabalhar enterrados, conduzindo, sem pressão hidrostática interna, esgoto sanitário e despejos industriais não agressivos ao PVC, cuja temperatura não exceda 40°C; cada tubo deve ter cor uniforme e ser livre de corpos estranhos, bolhas, rachaduras ou outros defeitos visuais que indiquem descontinuidade do material e/ou do processo de extrusão; os tubos devem ser fabricados com comprimento total de 6,0m com tolerância de +1,0% e -0,5%, dependendo do acordo prévio entre fabricante e comprador, os tubos podem ser fornecidos com comprimento diferente do estabelecido. Quaisquer que sejam as formas e dimensões dos anéis e das bolsas, deve-se garantir a

intercambialidade e desempenho das juntas elásticas entre os diversos tipos de tubos fornecidos por diferentes fabricantes.

- NBR 7362-2 - Sistemas enterrados para condução de esgoto - Parte 2: Requisitos para tubos de PVC com parede maciça: os tubos de PVC com parede maciça devem ser fabricados nos diâmetros DN 100, DN 150, DN 200, DN 250, DN 300, DN 350 e DN 400; as bolsas dos tubos devem ser fabricadas com sulco apropriado para alojamento do anel de borracha e as pontas dos tubos devem ser convenientemente chanfradas.
- NBR 7362-3 - Sistemas enterrados para condução de esgoto - Parte 3: Requisitos para tubos de PVC com dupla parede: os tubos de PVC com dupla parede devem ser fabricados nos diâmetros nominais DN 100, DN 150, DN 200, DN 250, DN 300, DN 350 e DN 400; as nervuras dos tubos com dupla parede devem ser apropriadas para alojamento do anel de borracha.
- NBR 14486 - Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC: em trechos curvos, o coletor pode ser assentado aproveitando-se a flexibilidade dos tubos, devendo-se observar que as juntas elásticas não permitem deflexões pronunciadas, devendo ser consultado o fabricante dos tubos; sempre que possível, deve-se prever que as ligações prediais sejam executadas em conjunto com a rede coletora através de conexão tipo junta de 45°.

- **Cerâmica**

- NBR 5645 - Tubo cerâmico para canalizações: os diâmetros nominais indicados nessa norma para os tubos cerâmicos são DN 75, DN 100, DN 150, DN 200, DN 250, DN 300, DN 350, DN 375, DN 400, DN 450 e DN 600 e os comprimentos nominais são: 600, 800, 1000, 1250, 1500 e 2000 mm; a superfície interna da bolsa e a externa da ponta devem apresentar pelo menos três estrias, com profundidade máxima de 4mm, sendo que falhas no

contorno, em cada estria, não devem exceder 15% do seu perímetro; as estrias podem ser eliminadas, no entorno ou em parte, quando isto for conveniente para a aplicação da junta a ser utilizada.

- **Concreto**

- NBR 8889 - Tubo de concreto simples, de seção circular, para esgoto sanitário: o comprimento útil do tubo deve ser no mínimo de 2000mm para os tubos de diâmetro nominal igual ou superior a 500mm e de 1000mm para os tubos de diâmetro nominal inferior a 500mm; de acordo com o mesmo item, a junta dos tubos deve ser elástica.
- NBR 8890 - Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários – Requisitos e métodos de ensaio: os diâmetros nominais dos tubos destinados a esgotos sanitários são: DN 200, DN 300, DN 400, DN 500, DN 600, DN 700, DN 800, DN 900, DN 1000, DN 1100, DN 1200, DN 1300, DN 1500, DN 1750 e DN 2000, com comprimento útil mínimo de 2000mm.

- **Ferro fundido**

- NBR 9651 - Tubo e conexão de ferro fundido para esgoto: os diâmetros mencionados nessa norma são: DN 50, DN 75, DN 100, DN 150, DN 200 e DN 250.

- **Poliéster reforçado com fibras de vidro**

- NBR 10845 - Tubo de poliéster reforçado com fibras de vidro, com junta elástica, para esgoto sanitário: os tubos devem ser fabricados nos tipos ponta e bolsa ou duas pontas e luva, com junta elástica (JE), nos diâmetros nominais de DN 50, DN 75, DN 100, DN 150, DN 200, DN 250 DN 300, DN

350, DN 400, DN 450, DN 500, DN 600, DN 700, DN 800, DN 900, DN 1000, DN 1200, DN 1300, DN 1400 e DN 1500.

4.8.2 - Normas da Sabesp

• Projetos

- NTS 217 – Ramal predial de esgoto – os tubos utilizados na execução do ramal predial de esgoto devem ser de PVC, cerâmica, ferro fundido ou de concreto armado, as conexões devem ser de PVC, cerâmica ou ferro fundido e as juntas de vedação devem ser de anel de borracha ou junta asfáltica (estopa alcatroada + piche), aplicado em tubos cerâmicos. O diâmetro mínimo permitido é de 100mm.
- NTS 025 - Redes coletoras de esgotos – o diâmetro mínimo para coletores deve ser de 150mm; a critério da Sabesp, o diâmetro mínimo poderá ser diferente, em função das condições locais; deve ser adotado coeficiente de Manning de 0,013, nos cálculos hidráulicos, independentemente do material de que for feito o coletor.
- NTS 026 – Coletores – tronco, interceptores e emissários por gravidade –
Elaboração de projetos: os projeto de coletores tronco, interceptores e emissários por gravidade deve ser equiparado ao de redes coletoras, submetendo-se àquele procedimento quando seu caminhamento percorrer vias publicas e ocorrerem, simultaneamente, as seguintes condições: diâmetro menor ou igual a 300mm e inexistência de interferências, como dutos e tubulações de energia elétrica, telefone, gás, esgotos, águas pluviais,etc.; deve ser adotado o diâmetro mínimo de 200mm.

- **Concreto**

- NTS 045 – Tubo de concreto armado para esgoto sanitário: os tubos devem ser fabricados nas dimensões apresentadas nos projetos do fabricante.

5- MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados apresentados foram obtidos através de pesquisa efetuada nas áreas de projeto, apoio técnico, operação, manutenção e obras da Sabesp. Foram consultados os registros de dados cadastrais, contratuais, operacionais, bancos de preços, e entrevistados os encarregados e gerentes da área de pesquisa.

É oportuno destacar que, quanto aos aspectos operacionais das tubulações de esgotos será considerado apenas a manutenção pois não existe, propriamente, uma operação desses elementos do sistema.

5.1 – Escolha da área de pesquisa

A área norte de São Paulo operada pela Sabesp compreende, além da zona norte da cidade de São Paulo, mais 13 municípios divididos da seguinte forma:

- Na região de Bragança Paulista: Bragança Paulista, Vargem, Pedra Bela, Piracaia, Nazaré Paulista, Joanópolis, Pinhalzinho e Socorro;
- Na região denominada extremo norte: Mairiporã, Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras e Cajamar.

A Figura 62 apresenta todos os municípios que compõem a área norte de São Paulo operada pela Sabesp, com destaque da área de estudo.

Figura 62 - Municípios da área norte de São Paulo operada pela Sabesp. Fonte: (SABESP, 2004).

A extensão total do território da área norte operada pela Sabesp alcança 8.762 km². A sua população atingiu 2,771 milhões de habitantes no ano de 2000, tendo apresentado uma taxa média de crescimento de 1,39% ao ano, para o período de 1991 – 2000, conforme descrito no relatório denominado Planos Integrados Regionais (PIR), elaborado pela Sabesp em 2002.

Devido a grande extensão da área norte de São Paulo, escolheu-se locais representativos dentro dessa área. Esses locais compreendem a região da Vila Maria e Pirituba na cidade de São Paulo e os municípios de Franco da Rocha e Bragança Paulista.

A escolha das áreas de Pirituba e Vila Maria foi feita devido aos seguintes motivos:

- Essas áreas abrangem localidades urbanizadas de renda média, dotados de infra-estrutura consolidada de serviços públicos, áreas consolidadas de renda baixa e áreas de expansão que estão sendo ocupadas por diversos loteamentos, alguns precários e irregulares.
- A região de Vila Maria apresenta áreas planas próximas a margem direita do rio Tietê, que são consideradas áreas críticas quanto à operação de esgotos, devido ao elevado índice de refluxo, obstruções de redes e ramais.
- As áreas em questão possuem em execução obras de porte que foram ou estão sendo executadas na segunda etapa do programa de despoluição do rio Tietê, como o Interceptor 8 (ITI8), o Interceptor 3 (ITI3) e o coletor tronco Ribeirão Vermelho.

Os municípios de Franco da Rocha e Bragança Paulista foram escolhidos devido aos seguintes fatores:

- Esses municípios contrastam sócio-economicamente, sendo que Bragança Paulista é considerada um centro econômico sub-regional, constituindo um núcleo urbano destacadamente mais expressivo que os demais municípios vizinhos.
- Os municípios são os maiores e mais expressivos da região a que pertencem.

- Nos últimos anos, foram implantadas nesses municípios, quantidades expressivas de redes coletoras de esgotos.

5.2 - Sistema de esgotos da área de pesquisa

5.2.1- Vila Maria

A região de Vila Maria compreende, principalmente, áreas consolidadas como os bairros de Vila Guilherme, Vila Gustavo, Vila Maria, Jardim Japão e bairros predominantemente industriais como o bairro Parque Novo Mundo.

Na revisão do Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), elaborado no ano de 2000, a região da Vila Maria apresentou os maiores índices de obstrução de redes coletoras (IORC) e de ramais domiciliares (IORD). O IORD consiste na relação entre a quantidade e desobstruções de ramais realizada no período e o número de imóveis ligados à rede, e o IORC consiste na relação entre a quantidade de desobstruções de redes coletoras e a sua extensão em quilômetros.

A topografia dessa região é predominantemente plana, concentrando 14 estações elevatórias de esgotos. A região apresenta, ainda, problemas constantes de refluxo de esgotos e caracteriza-se como a mais crítica das áreas da região norte operada pela Sabesp.

As bacias de esgotamento dos bairros da região drenam para o rio Tietê. Os principais corpos d'água da região são, o córrego Divisa, o córrego Cabuçu de Cima, o córrego Jardim Japão e o córrego Carajás.

O córrego Carajás atravessa o Parque da Juventude, inaugurado em 2004, localizado em área onde funcionava a casa de detenção do Carandiru. Esse córrego passa por um intenso programa de despoluição iniciado em 2004, com previsão de término em 2006.

A Tabela 7 apresenta as extensões, diâmetros e materiais das tubulações de esgotos cadastradas na região de Vila Maria.

Tabela 7 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos da Vila Maria.

Diâmetro (mm)	Ferro Fundido (FoFo) (m)	Cerâmico (m)	Cloreto de polivilina (PVC) (m)	TOTAL (m)
75	74	-	-	74
100	725	-	-	725
150	-	504.879	48.870	553.749
200	450	44.878	9.200	54.528
300	-	11.219	3.012	14.231
TOTAL (m)	1.249	560.976	61.082	623.307

Fonte: (SABESP, 2005).

Os diâmetros mais utilizados variam de 100mm a 350mm, sendo os tubos de 100mm e 150mm utilizados nos ramais prediais. O dimensionamento do ramal predial é função da vazão máxima instantânea de descarga do prédio, podendo ser determinada através da estimativa de descarga de aparelhos sanitários ou pelo número de unidades habitacionais. Os tubos de 150, 200, 250 e 300mm são utilizados nas redes coletoras.

A região de Vila Maria possui, ainda, 300m de tubulações em polietileno de alta densidade (PEAD), que foram aplicados em trecho executado em método não destrutivo, através de equipamento de perfuração direcional.

O interceptor ITI 8, que conduzirá os esgotos da região da Vila Maria para a estação de tratamento de esgoto (ETE) Parque Novo Mundo, cujas características são descritas na Tabela 8, não se encontra em operação devido problemas estruturais em alguns trechos, havendo a necessidade de execução de obras de recuperação.

Tabela 8– Características do ITI 8.

Interceptor	Diâmetro (mm)	Material	Extensão (m)	Método construtivo
ITI8	1.200	Concreto – anel segmentado	2.238	Mini-shield

Fonte: (SABESP, 2005).

O principal coletor da região é o Cabuçu de Cima, cujas características estão descritas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características do coletor tronco Cabuçu de Cima.

Coletor	Diâmetro (mm)	Material	Extensão (m)	Método construtivo
Cabuçu de Cima	350	Cerâmico	175	Vala
	375	Cerâmico	712	Vala
	450	Cerâmico	673	Vala
	700	Concreto – anel segmentado	338	Mini-shield
	800	Concreto – anel segmentado	175	Mini-shield
	1000	Concreto – anel segmentado	551	Mini-shield

Fonte: (SABESP, 2005).

Nas Tabelas 7, 8 e 9 verifica-se a predominância do material cerâmico nas redes e coletores até 450mm e da utilização de concreto nos coletores de maiores diâmetros e interceptores.

- **Execução de rede coletora**

As novas obras de prolongamento de rede coletora de esgotos para o atendimento do crescimento vegetativo e áreas de expansão, quase em sua totalidade, são executadas em PVC. Esporadicamente utiliza-se a tubulação cerâmica.

Em cerca de 80% das obras novas de redes coletoras, são executadas apenas a regularização do fundo da vala e em apenas 20% utiliza-se brita nº 3 como lastro.

Para que a tubulação fique bem apoiada no solo, enterra-se uma parte da junta da tubulação no fundo da vala, evitando que o trecho de tubulação próximo à junta fique suspenso, podendo ocasionar danos no material.

O reaterro da vala é efetuado em camadas. Na primeira camada, com cerca de 50cm acima da geratriz superior do tubo, é feito o apiloamento manual. A partir dessa primeira camada utiliza-se o compactador mecânico em camadas sucessivas de 50 a 70 cm. Para o assentamento do material cerâmico toma-se maior cuidado, evitando-se danificar os tubos e juntas.

- **Manutenção de rede coletora**

A região de Vila Maria é considerada a principal área crítica da Região Norte, apresentando uma média mensal de 360 desobstruções de coletores (DC) e 450 desobstruções de ramais domiciliares (DD). Em época de chuva, esses números aumentam de 30 a 40%.

Os trabalhos de manutenção são feitos com mão-de-obra própria da Sabesp e através de contratos de terceiros. Os materiais sujeitos a manutenção são o PVC e o cerâmico, pois são os principais materiais utilizados no sistema de coleta e afastamento de esgotos.

Os tubos de ferro fundido dúctil são pouco utilizados, além de serem aplicados nas linhas de recalque são assentados em travessias sob córregos, em tubulações aparentes e em casos excepcionais, como por exemplo, em tubulações muito rasas localizadas em vias carroçáveis.

Os reparos nas redes coletores são efetuados com o mesmo material da tubulação existente.

Nas tubulações cerâmicas são utilizadas juntas rígidas, compostas de argamassa de areia e cimento ou pela mistura de solo-cimento conhecida popularmente como tabatinga. Em cerca de 80% dos serviços de manutenção em rede coletora utiliza-se a tabatinga e em 20% utiliza-se argamassa de areia e cimento. A mistura solo-cimento é utilizada principalmente quando há presença de água na vala. O solo utilizado para a execução da tabatinga é o próprio solo escavado da vala, sem critério de avaliação de sua qualidade.

Nas tubulações de PVC e FoFo dúctil utilizam-se juntas elásticas.

A Figura 63 apresenta o arco de serra que é a ferramenta utilizada para o corte das tubulações de PVC na área da Vila Maria, sendo que as lâminas de corte dessa ferramenta são substituídas depois de desgastadas pelo uso. Essa ferramenta não requer mão-de-obra especializada, devido à facilidade de sua utilização.

Figura 63 – Arco de serra utilizado para o corte dos tubos de PVC.

A Figura 64 apresenta a ferramenta utilizada para o corte dos tubos de ferro fundido dúctil. Essa ferramenta não exige grande esforço para efetuar o corte dos tubos e apresenta uma boa eficiência na execução dos serviços.

Figura 64 – Cortador de tubos de ferro fundido dúctil.

A Figura 65 apresenta a ferramenta utilizada no corte dos tubos cerâmicos. Essa ferramenta está sendo utilizada recentemente nos pólos de operação, com grande aceitação dos funcionários operacionais da Sabesp. Trata-se de uma corrente especial que quando posicionada ao redor do tubo e pressionada efetua o seu corte regularmente, sem causar trincas e quebras no material.

Figura 65 – Ferramenta para o corte de tubos cerâmicos.

- **Execução de ligação predial**

As novas ligações avulsas em redes existentes são executadas predominantemente com tubos de PVC. Entende-se por ligações avulsas aquelas executadas em diversos locais diferentes, não sequenciais, como por exemplo, ligações executadas em diferentes ruas de um bairro ou cidade. No caso da rede existente ser de material cerâmico utiliza-se o selim, apresentado na Figura 66, um pequeno pedaço de tubo cerâmico, um adaptador que permite a transição para o PVC e a curva de 45° ou de 90°. A Figura 67 ilustra o adaptador mencionado.

Figura 66 – Selim cerâmico.

Figura 67 – Adaptador para a transição de material, cerâmico/PVC.

Nas ligações efetuadas com material cerâmico ou em PVC utiliza-se o selim (Figura 68) e a curva de 45° ou de 90°.

Figura 68 – Selim de PVC.

A utilização da curva de 45° ou de 90° para a execução da ligação depende principalmente da profundidade da rede coletora em relação à cota da soleira do imóvel a ser atendido. Em redes onde a geratriz superior dos tubos possui uma profundidade de até 1,50m, utiliza-se a curva de 45°, e com profundidades maiores que 1,50m, utiliza-se a curva de 90°. A Figura 69 apresenta as curvas de PVC utilizadas nas ligações de esgotos.

Figura 69 – Curvas de PVC.

Em novos prolongamentos executados com material cerâmico ou PVC, utilizam-se para a derivação dos ramais prediais, o tê (Figura 70) e a curva de 45° (Figura 71) ou de 90° (Figura 72). O diâmetro do ramal é de 100mm ou 150mm, dependendo do seu dimensionamento.

Figura 70 – Tê cerâmico.

Figura 71 – Curva cerâmica de 45°.

Figura 72 – Curva cerâmica de 90°.

- **Manutenção de ligação predial**

Os reparos nas ligações são efetuados com o mesmo material da tubulação existente. Há preferência pela tubulação de PVC. A Figura 73 apresenta as luvas de PVC, muito utilizadas nos serviços de manutenção.

Figura 73 – Luvas de PVC.

Em cerca de 70% dos consertos dos ramais prediais cerâmicos de esgotos utiliza-se a argamassa e em 30% utiliza-se a tabatinga.

- **Linhas de recalque das estações elevatórias de esgoto**

As linhas de recalque das estações elevatórias de esgoto da região da Vila Maria e das demais áreas pesquisadas são de ferro fundido dúctil.

5.2.2- Pirituba

A região de Pirituba, engloba bairros com consolidação urbana como Fiat Lux e Pirituba, e grandes áreas de expansão como Parque Anhanguera, Morro Doce, Perus e Jaraguá, que nos últimos anos vem apresentando grandes taxas de crescimento.

As bacias de esgotamento dos bairros da região drenam, parte para o rio Juqueri e parte para o rio Tietê. Além desses dois rios, os principais corpos d'água da região são o Ribeirão Vermelho, o córrego Cintra e o córrego Pirituba.

A região possui 6 estações elevatórias de esgotos, sendo na sua maioria localizadas em loteamentos.

Na Tabela 10 encontram-se detalhados as extensões, diâmetros e materiais das tubulações de esgotos da região de Pirituba. Observa-se a predominância do material cerâmico.

Tabela 10 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos de Pirituba.

Diâmetro (mm)	FoFo (m)	Cerâmico (m)	PVC (m)	TOTAL (m)
75	8	-	-	8
100	187	-	-	187
150	-	537.496	55.478	592.974
200	79	48.010	8.956	57.045
300	-	11.712	1.650	13.362
TOTAL (m)	274	597.218	66.084	663.576

Fonte: (SABESP, 2005).

Encontra-se em execução, através da segunda etapa do programa de despoluição do rio Tietê, o coletor tronco Ribeirão Vermelho e o interceptor ITI 3, cujas características estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11 – Características do coletor tronco Ribeirão Vermelho e ITI 3.

Coletor	Diâmetro (mm)	Material	Extensão (m)	Método construtivo
Coletor tronco Ribeirão Vermelho	1.000, 1.200 e 1.500	Concreto moldado in loco	1.583	Tunnel linner
	1.000, 1.200 e 1.500	Concreto moldado in loco	695	Tunnel linner
	300, 400, 500, 1.000 e 1.200	Concreto para cravação (Jacking Pipe)	6.798	Tubos cravados
	300, 400, 500, 1.000 e 1.200	Concreto A3	3.116	Vala
ITI 3	2.500	Concreto moldado in loco	3.803	NATM

Fonte: (CONSTRUCAP, 2005).

• Execução de rede coletora

Todos os prolongamentos de redes coletoras de esgotos implantados com mão-de-obra própria são executados com tubos de PVC.

Os métodos construtivos de implantação das redes coletoras são similares aos verificados na região de Vila Maria.

• Manutenção de rede coletora

Na região de Pirituba são realizadas uma média mensal de 407 desobstruções de coletores (DC) e 270 desobstruções de ramais domiciliares (DD). Em períodos chuvosos esses valores médios aumentam para 550 e 350, respectivamente.

Os serviços de manutenção são executados com mão-de-obra própria da Sabesp e através de contratos de terceiros. Os principais materiais utilizados nas tubulações de esgotos são o PVC e o cerâmico.

Os reparos em redes são efetuados com o mesmo material da tubulação existente.

As juntas utilizadas para a manutenção das redes cerâmicas são a argamassa de areia e cimento e a mistura de solo-cimento conhecida como tabatinga. Em cerca de 80% dos serviços de manutenção em rede coletora utiliza-se a tabatinga e em 20% utiliza-se argamassa de areia e cimento.

Nas Figuras 74 e 75 são apresentados os principais equipamentos utilizados na manutenção das redes coletoras das quatro áreas de pesquisa.

Figura 74 – “Flex cleaner”: equipamento utilizado para a desobstrução de ramal de esgoto.

Figura 75 – A esquerda o “sewer roder” (conhecido popularmente como caminhão vareta) e a direita, o “sewer jet”: equipamentos utilizados na desobstrução de redes coletoras.

A Figura 76 apresenta o armazenamento das tubulações cerâmicas na área operacional de Pirituba. Peças e tubos são separados por diâmetros. As demais áreas armazenam os tubos de maneira similar .

Figura 76 – Armazenamento dos tubos cerâmicos.

A Figura 77 apresenta o armazenamento das tubulações de PVC na área operacional de Pirituba. Esse sistema suspenso de armazenagem também é utilizado nas demais áreas operacionais. As peças de PVC são armazenadas em almoxarifados cobertos.

Figura 77 – Armazenamento dos tubos de PVC.

Nos casos de manutenção de redes coletoras a regularização do fundo da vala é feita com o próprio solo. A execução de lastro para o assentamento não é usual.

- **Execução de ligação predial**

As novas ligações avulsas em redes existentes são em sua maioria executadas com tubos de PVC, como na região da Vila Maria. Em períodos de restrição orçamentária utiliza-se, mais freqüentemente, o material cerâmico, por apresentar menor preço comparado ao PVC.

As conexões utilizadas nas novas ligações prediais e os métodos construtivos são similares aos verificados na região de Vila Maria.

- **Manutenção de ligação predial**

Os reparos nas ligações prediais são efetuados com o mesmo material da tubulação existente. Ocorre na área de Pirituba, assim como na Vila Maria, a preferência pelo PVC para a execução de reparos.

5.2.3 - Franco da Rocha

O município de Franco da Rocha localiza-se no extremo norte da RMSP. Os seus limites físicos são: ao norte Francisco Morato, Jundiaí e Várzea Paulista; ao sul Caieiras; a leste Mairiporã; e a oeste Cajamar.

O município conta apenas com a malha de redes coletoras, cujos efluentes são despejados diretamente nos rios e córregos que cortam a cidade. Parte da rede existente é antiga, com número de poços de visita ou caixas de inspeção insuficientes para uma adequada operação e manutenção.

Essas redes lançam o esgoto nos córregos afluentes do rio Juqueri, como o Água Vermelha ou mesmo diretamente no rio Juqueri, havendo necessidade de implantação de coletores, interceptores e estação de tratamento de esgotos para a complementação e adequação do sistema de esgotos sanitários do município.

A situação sanitária decorrente desse lançamento é agravada quando ocorrem inundações na várzea do rio Juqueri, principalmente em Franco da Rocha. Nessas ocasiões, toda a parte baixa da cidade, cerca de 5% da área urbana fica inundada, ocorrendo riscos de epidemias para toda a população.

A Tabela 12 apresenta os macrodados do município e a Tabela 13, os materiais utilizados nas tubulações de esgotos.

Tabela 12- Macrodados do município de Franco da Rocha.

Município	População (hab)	Atendimento (%)		Extensões de rede (m)	
		Abastecimento de água	Coleta de esgoto	Água	Esgoto
Franco da Rocha	107.997	99	56	289.184	142.606

Fonte: (SABESP, 2005).

Tabela 13 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos de Franco da Rocha.

Diâmetro (mm)	FoFo (m)	Cerâmico (m)	PVC (m)	TOTAL (m)
100	145	79	-	224
150	195	97.167	32.433	129.795
200	128	9.690	2.279	12.097
300	-	482	-	482
400	-	8	-	8
TOTAL (m)	468	107.426	34.712	142.606

Fonte: (SABESP, 2005).

A região de Franco da Rocha foi a primeira localidade dentro da área de pesquisa, a substituir a tubulação cerâmica pelo PVC, para os novos prolongamentos de rede coletora. Na Tabela 13, verifica-se que aproximadamente 25% das tubulações de esgotos do município são de PVC. Essa substituição de materiais iniciou-se em 1986, após a verificação das vantagens da aplicação do PVC em redes coletoras executadas na cidade de Guarulhos, fazendo com que a gerência local passasse a adotar o PVC na execução da maioria dos prolongamentos de redes de esgotos.

Devido à disponibilidade em estoque, o seu menor custo e a experiência na sua aplicação, 75% das redes coletoras do município, conforme apresentado na Tabela 13, são de material cerâmico.

• Execução de rede coletora

Todos os novos prolongamentos de rede coletora são executados em PVC.

O FoFo dúctil é utilizado em redes com baixas profundidades, menores que 1,00m, em vias com tráfego intenso e pesado, em travessias sob córregos e em linhas de recalque.

- **Manutenção de rede coletora**

O município de Franco da Rocha possui uma média mensal de 105 desobstruções de coletores (DC) e de 4 desobstruções de ramais domiciliares (DD), nos períodos chuvosos esses valores médios aumentam aproximadamente 25% a 150%, respectivamente.

Os consertos de redes e ramais executados no município são feitos através de contrato específico e as DDs e DCs são executadas com mão-de-obra própria.

Para os serviços de manutenção é utilizado principalmente o PVC e apenas em pequenos trechos utiliza-se o tubo cerâmico. As juntas das tubulações cerâmicas são feitas 100% em tabatinga.

- **Execução de ligação predial**

Todas as ligações de esgoto do município são executadas em PVC.

- **Manutenção de ligação predial**

Utiliza-se o PVC para a manutenção das ligações prediais.

5.2.4 - Bragança Paulista

Os principais corpos d'água do município de Bragança Paulista, como o Ribeirão Lavapés, que atravessa longitudinalmente a cidade, e o rio Jaguari recebem lançamentos de esgotos “in natura”. O sistema de esgoto é constituído principalmente por redes coletoras com diâmetros de 150mm.

A Tabela 14 apresenta os macrodados do município e a Tabela 15, os materiais utilizados nas tubulações de esgotos.

Tabela 14 - Macrodados do município de Bragança Paulista.

Município	População (hab)	Atendimento (%)		Extensões de rede (m)	
		Abastecimento de água	Coleta de esgoto	Água	Esgoto
Bragança Paulista	124.888	97	85	265.644	142.445

Fonte: (SABESP, 2005).

Tabela 15 – Materiais utilizados nas tubulações de esgotos do município de Bragança Paulista.

Diâmetro (mm)	FoFo (m)	Cerâmico (m)	PVC (m)	TOTAL (m)
100	150	-	-	150
150	6	122.779	3.596	126.381
200	-	7.074	375	7.449
250	-	1.258	-	1.258
300	-	3.211	1.188	4.399
400	-	-	2.357	2.357
500	-	451	-	451
TOTAL (m)	156	134.773	7.516	142.445

Fonte: (SABESP, 2005).

A Tabela 15 mostra que apenas 5% da extensão total de rede coletora implantada no município é de PVC. A partir de 2003, a maior parte dos prolongamentos de rede coletora passou a ser executado em PVC, sendo que essa percentagem tende a aumentar com o passar dos anos.

As extensões das tubulações em ferro fundido, apresentadas nas Tabelas 7, 10, 13, e 15, referem-se a trechos rasos de rede coletora em áreas de alto tráfego, travessias sob córregos e linhas de recalque. Esse material é utilizado nessas condições devido

sua alta resistência, evitando desse modo, que a rede seja danificada pelo excesso de carga proveniente de veículos pesados.

- **Execução de rede coletora**

Nos novos prolongamentos utilizam-se os materiais disponíveis. Atualmente, estima-se que em aproximadamente 90% dos casos usa-se o PVC e em 10% dos casos usa-se o material cerâmico.

- **Manutenção de rede coletora**

O município de Bragança Paulista apresenta uma média mensal de 60 desobstruções de coletores (DC) e de 40 desobstruções de ramais domiciliares (DD), nos períodos chuvosos esses valores médios aumentam de 30 a 40%.

- **Execução de ligação predial**

As ligações avulsas são efetuadas com o mesmo material da rede coletora. Utiliza-se a tabatinga para a execução das juntas do ramal predial cerâmico.

As conexões mais utilizadas para a execução das ligações são o selim, o tê e a curva de 45°.

- **Manutenção de ligação predial**

Os reparos são executados conforme o material da rede coletora, ou seja, em material cerâmico ou PVC.

5.2.5 - Coletores tronco e interceptores

- **Execução de coletores tronco e interceptores**

Para a execução de coletores e interceptores, os métodos não destrutivos são bastante utilizados, principalmente, em áreas com grande quantidade de interferências, sob vias de alto tráfego, trechos profundos, travessias de rios e córregos e em áreas onde não há viabilidade de execução de valas abertas. Geralmente a partir de 6,0m de profundidade, dependendo da resistência do solo e das características locais, o método não destrutivo passa a ser a alternativa viável do ponto de vista econômico.

Nos coletores e interceptores com diâmetros acima de 1.200mm há predominância de tubos de concreto moldados in loco com a utilização de anéis segmentados, que foram largamente utilizados nos períodos de 1970, até 2002. Porém, devido a diversos problemas de manutenção, principalmente decorrente de infiltração entre os segmentos dos tubos, esse método vem sendo substituído pelos sistemas Jacking Pipe, NATM e tunnel liner.

Os métodos NATM e liner substituem o sistema Jacking Pipe em extensões menores que 80m ou quando detectadas interferências como rochas.

Segundo Chama Neto (2004), os tubos de concreto continuam sendo uma alternativa importante que merece sempre ser avaliada, pelos projetistas e executores de obras, devido à relação custo-benefício, domínio técnico das propriedades do concreto, flexibilidade na produção de tubos de vários diâmetros, facilidade de execução das obras e maior garantia de qualidade da obra, mesmo em situações onde a execução não atende as especificações de projeto relativas ao assentamento, porque os tubos de concreto, diferentemente dos tubos flexíveis, dependem fundamentalmente da resistência do próprio tubo, enquanto os tubos flexíveis dependem do sistema solo-tubo.

Em obras convencionais, com a abertura de valas, verifica-se a preferência pela tubulação de PVC em diâmetros até 400mm (diâmetro máximo de fabricação do PVC). Na Sabesp, há tendência de utilização dos tubos de PRFV e de PEAD, em diâmetros de 300 e 400mm.

• Manutenção

Atualmente é usual na Sabesp a utilização de PRFV (Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro) para a substituição dos trechos danificados dos coletores de esgoto para diâmetros de 300 mm e 400mm. Os coletores danificados são geralmente de material cerâmico e de concreto. A junta para a substituição do trecho danificado é executada com tabatinga, onde se adiciona um acelerador de cura.

A Figura 78 apresenta em detalhe o tubo de PRFV utilizado na manutenção de coletores.

Figura 78 – Tubo de PRFV.

Em alguns casos, há necessidade de abertura de furos na região da geratriz superior dos tubos de concreto visando a sua desobstrução. Para o tamponamento desses furos utiliza-se chapa de aço e concreto.

5.3 – Levantamentos de informações

As informações relativas aos principais materiais utilizados nas redes coletoras e ligações prediais, métodos executivos, transporte, armazenamento, manuseio, preferência de utilização, custos de obras e dados relativos à manutenção, operação e implantação de novas obras foram obtidas nos pólos de operação e manutenção e nas áreas comerciais de Bragança, Franco da Rocha, Vila Maria e Pirituba.

Os dados referentes aos coletores tronco, linhas de recalque e interceptores foram obtidos na área de projetos e obras do programa de despoluição do rio Tietê, na área operacional de tubulações com diâmetros iguais ou superiores a 400mm, da Sabesp, e na empresa Construcap, responsável pela execução das obras do interceptor ITI3 e do coletor tronco Ribeirão Vermelho.

Obteve-se, nos catálogos dos fabricantes e normas técnicas da ABNT e da Sabesp, dados das dimensões dos principais materiais utilizados no sistema de coleta e transporte de esgotos, com o objetivo de comparar o diâmetro nominal, interno e externo das tubulações. Comparou-se, ainda, através da aplicação da equação de Manning, a vazão nominal e a vazão real das principais tubulações utilizadas na área de estudo.

Os preços referenciais dos materiais e serviços foram obtidos no departamento de valoração de empreendimentos da Sabesp, responsável pela elaboração, atualização e revisão do banco oficial de preços da Companhia, com data base de junho de 2005. Esses preços são calculados com base em pesquisas efetuadas em fornecedores qualificados (preço de balcão).

Os preços reais dos materiais e serviços pagos pela Sabesp, com data base de outubro de 2005, foram obtidos no departamento de operação e manutenção da área de estudo e os dados cadastrais e técnicos do sistema de esgotamento sanitário foram obtidos no departamento de engenharia de operação.

6- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão discutidos na medida em que forem apresentados, itemizados por unidades componentes do sistema de esgoto e de acordo com o local de ocorrência. Destaca-se a comparação entre diâmetro nominal, externo e interno e a apresentação e discussão dos custos das tubulações de esgotos.

6.1- Redes Coletoras

6.1.1- Vila Maria

• Execução de rede coletora

Para a execução de obras de implantação de rede coletora de esgotos, há preferência da utilização dos tubos de PVC. Essa preferência deve-se aos seguintes fatores:

- Facilidade no transporte (Figura 79) e no manuseio;
- Fragilidade dos tubos cerâmicos que trincam com facilidade durante a execução das obras;
- Maior produtividade no assentamento quando comparado ao material cerâmico;
- Menor quantidade de juntas representando menos pontos de acúmulo de detritos;
- Facilidade de assentamento em locais com grande número de interferências (Figura 80);
- Facilidade na manutenção das tubulações;
- Menos problemas causados por infiltrações que ocasionam o solapamento dos tubos;
- Ocorrência menor de solicitações de desobstruções e manutenção em geral.

Figura 79 – Facilidade no transporte dos tubos de PVC.

Figura 80 – Assentamento do tubo de PVC em locais com grande número de interferências.

A produtividade na execução das obras de redes coletoras com a utilização de tubulações em PVC é de aproximadamente 80m por dia incluindo os serviços preliminares de limpeza, abertura de vala mecanizada, escavação, escoramento, preparo da vala, assentamento e execução de uma singularidade (PV ou PI).

Considerando apenas o assentamento da tubulação, pois o restante das atividades não sofre variações com a alteração do tipo de material, a produtividade do PVC é cerca de 70% maior do que o material cerâmico.

O reaterro em camadas, com a devida compactação das mesmas, não é prática adotada regularmente nas áreas estudadas. Esse fato, somado a falta de preparo do fundo da vala contribuem significativamente para os problemas de manutenção das tubulações, principalmente nas tubulações cerâmicas cujas juntas são facilmente suscetíveis aos recalques diferenciais.

Há uma maior tendência à execução ideal do preparo do fundo de vala e do reaterro, obedecendo às normas de assentamento e especificações técnicas, quando da presença constante da fiscalização da Sabesp.

• **Manutenção**

É notória a preferência pela tubulação de PVC para a execução de reparos. Essa preferência deve-se a:

- Facilidade no reparo do trecho danificado com substituição apenas do trecho comprometido. Não há necessidade da troca de uma tubulação inteira, como no caso do material cerâmico cujos comprimentos variam de 1,00m a 1,50m para as tubulações utilizadas nas ligações e redes coletoras, respectivamente;
- Facilidade no manuseio do material e menor necessidade de abertura de vala, devido à praticidade da execução das juntas elásticas e pela possibilidade de substituir apenas o trecho comprometido e não toda a tubulação, como no caso da manilha cerâmica.

As juntas semi-rígidas compostas por betume, popularmente chamadas de “pixe” não são utilizadas pela área norte da Sabesp, para os serviços de manutenção de redes, desde meados de 1990, pois a utilização desse tipo de junta é uma prática arcaica, insegura para o trabalhador que corre o risco de sofrer graves queimaduras e improdutiva quando comparada à junta elástica, além disso, diversos problemas operacionais são causados devido ao desalinhamento dos tubos cerâmicos assentados com essa junta.

A preferência pela utilização dos equipamentos de desobstrução, como o caminhão vareta (“Sewer roder”) e o “Sewer – jet”, nas tubulações em PVC foi constatada.

Essa preferência ocorre, pois:

- Os tubos de PVC possuem comprimento em torno de 6m, gerando menos juntas para o acúmulo de detritos que os tubos cerâmicos, com comprimento em torno de 1,5m;
- Os equipamentos de desobstrução deslizam mais facilmente no interior dos tubos de PVC, possibilitando que o serviço seja concluído mais rapidamente e seja mais eficaz.

Na área desta pesquisa, há uma preferência pelo armazenamento das tubulações de PVC, pois apesar dos tubos de PVC possuírem comprimentos maiores que os tubos cerâmicos, a área necessária para o armazenamento da tubulação cerâmica é maior que para a tubulação de PVC. A principal desvantagem do armazenamento do PVC é a fragilidade do material quando exposto aos raios solares, exigindo que a área de estocagem seja coberta.

Cuidados no armazenamento das tubulações e conexões devem ser tomados, pois se dispostos de maneira inadequada podem servir de criadouros de diversos vetores prejudiciais à saúde, dentre os quais destaca-se o mosquito da Dengue.

O transporte e manuseio dos tubos cerâmicos devem ser efetuados com maior cuidado, devido à fragilidade desse material em relação aos materiais plásticos e o ferro fundido. A diferença de peso dos materiais plásticos em relação ao cerâmico é um dos fatores que vem contribuindo para a disseminação do seu uso.

Os cortes das tubulações cerâmicos exigem equipamentos especiais e apresentam maior probabilidade de danificar o material. Os cortes dos tubos plásticos não exigem equipamentos especiais e são feitos com o arco de serra.

6.1.2- Pirituba

• Execução de rede coletora

Em meados de 2003 e 2004, através de contrato pertencente à segunda etapa do programa de despoluição do rio Tietê, foi implantado na zona de expansão conhecida como Parque Anhanguera e Morro Doce, grande quantidade de redes coletoras em material cerâmico com a utilização de junta composta de betume. Esse fato é uma exceção quando comparado ao restante da área de estudo, cuja tendência é de adoção do PVC em todas as obras de prolongamento. A junta à base de betume é uma prática arcaica, insegura e improdutiva quando comparada à junta elástica, além disso, é responsável pela maioria dos problemas operacionais, destacando-se casos de infiltração excessiva e de desalinhamento dos tubos.

As vantagens da utilização dos tubos cerâmicos são:

- É um material inerte e por ser constituído por argila não sofre ataque dos solos onde é assentado;
- Resistência a temperaturas elevadas, pois é submetido, durante sua fabricação a temperaturas que atingem 1200°C;
- Alta resistência a meios ácidos e à corrosão, não sendo atacado pelo ácido sulfúrico;
- Baixo custo do material;
- Quando assentados com junta elástica, oferecem estanqueidade que minimizam infiltrações e vazamentos, permitem flexibilidade suficiente para acompanhar pequenas movimentações das tubulações, oferecem um engate rápido de menor custo que o das juntas rígidas de argamassa ou betuminosas,

permitem montagem e desmontagem, e o imediato reaterro da vala após a sua execução.

Não foi evidenciada a utilização de junta elástica em tubulações cerâmicas, nas quatro áreas de estudo. Em algumas áreas verifica-se o desconhecimento dessa possibilidade.

A preferência pela utilização do PVC na região de Pirituba deve-se a fatores similares aos descritos na região da Vila Maria.

A produtividade média observada na região da Vila Maria, ou seja, de 80m de rede coletora implantada em PVC por dia, contra 45m de rede coletora em material cerâmico por dia, foi confirmada na região de Pirituba.

A preocupação com o reaterro das valas, evitando a presença de pedras e outros materiais estranhos que danificam as tubulações, independentemente do material utilizado, é evidenciada na região.

• **Manutenção**

Há menor incidência de manutenção e de utilização de equipamentos de desobstrução nas tubulações de PVC em relação às tubulações cerâmicas.

Destacou-se a durabilidade e resistência da tubulação cerâmica nas áreas cujos esgotos são predominantemente industriais, sendo a utilização desse material preferida nessas áreas.

A quantidade aproximada de reparos, considerando uma profundidade média de 1,50m, executados em redes coletoras de PVC é de 8 serviços por dia, e quando se trata de redes com material cerâmico esse número diminui para 5 serviços por dia. Há aumento de produtividade nos serviços de manutenção quando utilizado o tubo de PVC.

Além dos mesmos motivos mencionados na área de Vila Maria, destacou-se as seguintes vantagens no uso do PVC:

- Poucas emendas quando comparado ao material cerâmico;
- Melhor vedação das juntas, com menos infiltrações;
- Menos problemas de manutenção quando comparados as tubulações cerâmicas. Os problemas de manutenção dos tubos cerâmicos são causados principalmente pelas trincas nas juntas e na própria tubulação devido à movimentação do solo e conseqüentes infiltrações;
- Rapidez na execução do serviço;
- Segurança dos trabalhadores. Menor taxa de acidentes de trabalho quando comparado ao material cerâmico, devido principalmente aos cortes causados com a manipulação desses tubos;
- Facilidade no transporte;
- Maior resistência que o material cerâmico com menos perdas de materiais;
- Facilidade na limpeza do fundo da vala após o assentamento e antes da execução do reaterro;
- Não há necessidade de ferramentas especiais para o corte dos tubos;

O armazenamento das tubulações é similar ao descrito na área de Vila Maria.

6.1.3- Bragança Paulista

• Execução de rede coletora

Os mesmos itens mencionados nas áreas de Vila Maria e Pirituba são aplicados na área de Bragança Paulista, acrescentando-se o seguinte tópico: uma das vantagens citadas da utilização de PVC é a diminuição da declividade da rede coletora a ser implantada, pois a rugosidade do tubo de PVC é menor que do tubo cerâmico, tornando possível conduzir a mesma vazão com a mesma velocidade, diminuindo a declividade da rede e conseqüentemente a sua profundidade, possibilitando a execução de redes coletoras mais rasas, com profundidades médias de 1,50m.

Entretanto, na prática essa vantagem não é considerada, pois as normas de ABNT e da Sabesp recomendam uma rugosidade média para todo o sistema de coleta e transporte independentemente do tipo de material utilizado.

- **Manutenção**

Os resultados obtidos na pesquisa realizada em Bragança Paulista que merecem destaque em relação às áreas estudadas anteriormente são:

- Maior facilidade na utilização de equipamentos para limpeza e desobstrução da rede com material em PVC devido ao menor número de juntas e facilidade de deslizamento dos detritos que causam a obstrução;
- Devido à topografia favorável da cidade para o atendimento dos principais bairros com redes de esgotos por gravidade, a profundidade média das redes existentes é de 1,50m;
- As juntas mais utilizadas para a tubulação cerâmica são a tabatinga, e a argamassa de cimento e areia, em alguns casos. A utilização de juntas rígidas é inadequada, pois trincam facilmente com a movimentação dos tubos, provocando infiltrações, vazamentos e a danificação da rede.

6.1.4- Franco da Rocha

- **Execução de rede coletora**

Os itens pesquisados no município de Franco da Rocha que merecem destaque em relação às áreas estudadas anteriormente são:

- Destacou-se a preferência da utilização do PVC em terrenos instáveis, facilmente erodidos e de alta declividade, devido a maior durabilidade das tubulações assentadas com esse tipo de material;
- Nos locais muito acidentados, quando se utiliza os tubos de PVC, substitui-se o poço de visita pela curva 45°, para as mudanças de declividade da rede coletora. Essa substituição ocorre devido à instabilidade dos poços de visita executados nesses locais, tornando-se necessário reparos constantes nos mesmos;
- Um dos motivos da preferência da utilização do tubo de PVC é que os mesmos podem sofrer pequenas curvaturas durante seu assentamento adequando-se melhor ao caminhamento desejado e deslocando-se singularidades para posições de melhor acessibilidade. Verificou-se a preocupação no atendimento à curvatura máxima permitida pelo fabricante que é de 17°20' / 12m de coletor para tubos com diâmetro de 100mm, de 12°00' / 12m para o diâmetro de 150mm e de 9°30' / 12m para o diâmetro de 200mm;
- A produtividade na execução dos novos prolongamentos é em torno de 50m/dia. Essa quantia é inferior as demais áreas pesquisadas devido ao solo de Franco da Rocha ser caracterizado por rochas em decomposição, dificultando a escavação.
- Em aproximadamente 99% dos casos, são efetuados apenas a regularização do fundo da vala antes do assentamento. Em casos excepcionais, como por exemplo, na presença de água utiliza-se a brita como lastro.
- A maiorias das redes existentes do município possuem uma profundidade média de 1,50m. Esse fato deve-se a topografia

acidentada da região que propicia o escoamento por gravidade sem a necessidade de aprofundar a rede.

- A compactação do reaterro é feita apenas no último metro superficial da vala em camadas variando de 30 a 50cm.

- **Manutenção**

Há menor incidência de manutenção nas tubulações de PVC.

Nessa região o armazenamento dos tubos de PVC é efetuado em local descoberto, sofrendo a ação dos raios solares. Essa maneira de armazenagem é condenada pelos fabricantes e normas, porém conforme constatação da área operacional não ocorreram casos conhecidos de tubos danificados ou com algum tipo de problema nas redes em operação.

6.2- Ligações Prediais

6.2.1- Vila Maria

- **Execução de ligação predial**

.

Há preferência pela utilização do PVC para a execução de novas ligações.

- **Manutenção**

As juntas compostas por betume, não são utilizadas pela área norte da Sabesp para os serviços de manutenção nos ramais prediais desde meados de 1990. Utiliza-se a argamassa de cimento e areia e a tabatinga.

6.2.2- Pirituba

- **Execução de ligação predial**

A execução de lastro para o assentamento dos tubos da ligação predial não é prática usual.

- **Manutenção**

Ocorre na área de Pirituba, assim como na Vila Maria, a preferência pelo PVC para a execução de reparos devido aos seguintes motivos:

- Agilidade na execução de serviços de ligações prediais em vias de alto tráfego, com a execução da obra em trechos com a abertura de vala alternada, ou seja, interdita-se a via de alto tráfego em trechos, sem que seja necessário direcionar o trânsito para caminhos alternativos.
- Nas ligações executadas com material cerâmico as juntas exigem um maior cuidado de execução a fim de evitar infiltrações que acarretem o solapamento da tubulação e constantes problemas de manutenção.

6.2.3- Bragança Paulista

- **Execução de ligação predial**

Os fatores da preferência do PVC nas novas ligações são similares aos citados nos itens execução de rede coletora, das áreas anteriormente pesquisadas.

- **Manutenção**

Há preferência pela utilização do PVC na manutenção. Em locais com problemas constantes de manutenção, efetua-se a substituição do material cerâmico pelo PVC.

6.2.4- Franco da Rocha

- **Execução de ligação predial**

Tanto para as ligações avulsas como para as ligações em marcha, os principais materiais utilizados são o selim, a curva de 45° e em alguns casos a curva de 90°. Entende-se como ligação em marcha àquelas executadas sequencialmente e concomitantemente com a implantação da rede coletora em determinado local.

Mesmo quando a rede é de cerâmica, utiliza-se o selim cerâmico, um adaptador cerâmico/PVC e a curva de 45° ou de 90°, dependendo da localização e da profundidade da rede. Utiliza-se a tabatinga para a execução das juntas do ramal predial cerâmico.

Em Franco da Rocha notou-se maior afinidade na aplicação do PVC, utilizando-se métodos construtivos e peças diferentes do restante da área de pesquisa na execução das ligações. Em todas as ligações utiliza-se o selim, diferentemente das demais áreas que nas ligações em marcha utilizam o tê.

- **Manutenção**

Há preferência pela utilização do PVC na manutenção e em novas ligações, devido aos mesmos fatores citados nas demais áreas anteriormente pesquisadas.

6.3 – Linhas de recalque das estações elevatórias de esgoto

6.3.1- Vila Maria

Foram detectados em duas linhas de recalque da região, com extensão de 1000m e 600m e diâmetros de 200mm e 150mm, respectivamente, problemas de corrosão na proteção interna dos tubos de ferro fundido. Esses tubos, apesar de qualificados pela Sabesp, demonstram problemas de desgaste da argamassa utilizada no revestimento

interno. Após análises efetuadas, constatou-se que os esgotos bombeados por essa linha apresentam características de esgotos domésticos, não sendo detectadas causas técnicas que justificassem essa corrosão.

6.3.2- Pirituba

As linhas de recalque da região são de ferro fundido dúctil, localizam-se em áreas de recente expansão e apresentam pequenas extensões. Não há ocorrências registradas quanto à manutenção dessas linhas.

6.3.3- Bragança Paulista

O município de Bragança possui apenas duas linhas de recalque, nos bairros Santa Helena e Cedro, executadas com ferro fundido dúctil e que até momento não apresentam problemas operacionais.

6.3.4- Franco da Rocha

O município de Franco da Rocha possui apenas uma linha de recalque de ferro fundido dúctil, com aproximadamente 200m de extensão. Essa linha até momento não apresenta problemas operacionais.

6.4 - Coletores Tronco e Interceptores

• Execução de coletores tronco e interceptores

Em tubulações de diâmetros maiores que 400mm, e em grandes profundidades, a adoção do sistema Jacking Pipe é visto como a melhor alternativa. Esse sistema está sendo utilizado na construção das principais obras da área de estudo, e também na segunda etapa do programa de despoluição do rio Tietê, como o interceptor ITI3 e o coletor tronco do Ribeirão Vermelho.

O sistema Jacking Pipe apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Maior rapidez e segurança na execução dos serviços, quando comparado aos demais métodos não destrutivos;
- Versatilidade dos equipamentos de cravação, permitindo a execução de túneis em solos arenosos e argilosos, com boa resistência ou não, e com ou sem a presença de água;
- Diminuição dos problemas decorrentes de infiltração.

Desvantagens:

- Em solos rochosos não se recomenda a sua utilização;
- Necessidade de abertura de poços de trabalho para o acesso de equipamentos ao local da cravação com grandes diâmetros (diâmetro aproximado de 6m);
- Custo elevado do tubo de concreto para cravação;
- Para a execução de trechos pequenos (menores que 80m), seu custo é elevado;
- Necessidade de colocação de macacos hidráulicos adicionais em extensões maiores que 50m para auxílio na cravação dos tubos de concreto.

Os coletores tronco localizados nos bairros mais antigos da área de estudo foram executados principalmente com tubulações cerâmicas e diâmetros variando de 300mm a 450mm. Nos locais com ocupações mais recentes, verifica-se uma maior utilização dos tubos de concreto armado nas tubulações de 400mm a 1.200mm. Esse fato, ocorre devido aos problemas operacionais relacionados à resistência das tubulações cerâmicas (diâmetros de 400mm e 450mm), no manuseio, transporte e suporte a altas cargas, que é inferior aos tubos de concreto armado.

Os coletores tronco mais recentes implantados no município de Bragança Paulista, o coletor tronco Anhumas com 2.600m e 300mm de diâmetro e o coletor tronco Toró com 1.500m de diâmetro de 300mm e 3.050m de diâmetro 400mm, foram executados em PVC.

O município de Franco da Rocha possui apenas um coletor tronco implantado com cerca de 1.200m de extensão, 300mm de diâmetro e em PVC.

Apesar do estágio inicial dessa utilização, nota-se que há uma tendência favorável na adoção de PEAD e PRFV.

Na região da Vila Maria, em meados de 2004, teve início a utilização de tubos de PEAD em pequenos trechos de interligações de coletores com diâmetros de 300mm. Esses tubos foram assentados através do método de perfuração direcional. A Figura 81 apresenta o armazenamento dos tubos de PEAD no canteiro de obras das interligações executadas na região de Vila Maria.

Figura 81– Tubos de PEAD utilizados nos coletores da região de Vila Maria.

Especial atenção deve ser dada na utilização do método de perfuração direcional em grandes extensões e pequenas declividades, com escoamento por gravidade, devido à precisão do equipamento. As obras recém implantadas em PEAD vêm apresentando

bons resultados operacionais, sendo uma ótima alternativa para travessias em vias de alto tráfego e com grande número de interferências.

Verifica-se no assentamento das tubulações de grandes diâmetros, assim como no assentamento das tubulações de redes coletoras e ligações prediais, que em diversas obras, não são obedecidas às especificações técnicas e normas vigentes, quanto aos itens recomendados para o preparo do fundo de vala e reaterro. Esses fatores contribuem significativamente para os problemas de manutenção das tubulações, principalmente nas tubulações cerâmicas com juntas rígidas e semi - rígidas que são facilmente suscetíveis aos recalques diferenciais.

• **Manutenção**

Há preferência na manutenção de tubulações com diâmetros de 300mm e 400mm de PVC e PRFV devido à facilidade de manuseio, transporte e rapidez na conclusão dos serviços.

A improvisação nos reparos emergenciais das tubulações é constatada pela utilização de tubos de PRFV com diâmetros maiores que o da tubulação danificada, onde os espaços vazios gerados pela diferença de diâmetros são preenchidos com a tabatinga, originando um degrau no trecho substituído.

Os tubos de PRFV estão sendo utilizados pela manutenção, devido aos seguintes motivos:

- Peso menor que os tubos cerâmicos e de concreto, facilitando o manuseio;
- Alta resistência;
- Facilidade de corte;
- Facilidade de transporte;
- Disponibilidade dos tubos.

Nos coletores e interceptores executados através de método não destrutivo utilizando anéis segmentados, verificou-se a presença de trechos danificados devido às infiltrações. Esse tipo de problema foi detectado no coletor tronco Braz Leme e no interceptor (ITI8). O método não destrutivo executado com anéis segmentados de concreto, não é mais utilizado em obras de coletores e interceptores. O principal fator da restrição de sua utilização, é a grande incidência de problemas na estrutura desses tubos, ocasionados pelas infiltrações entre os segmentos, carreando partículas de solo para o seu interior e causando o seu assoreamento, obstrução e recalque.

A Figura 82 apresenta trecho do coletor tronco Braz Leme danificado devido ao problema de infiltração entre os anéis segmentados de concreto.

Figura 82 – Anel segmentado danificado.

A alternativa adotada para a recuperação desses trechos danificados foi à cravação de tubos de concreto através do sistema Jacking Pipe.

A Figura 83 apresenta o armazenamento dos tubos de concreto no canteiro de obras, ilustrando em detalhe as juntas metálicas dos tubos.

Figura 83 – Tubo de concreto utilizado na obra de recuperação do coletor tronco.

A Figura 84 apresenta o novo tubo já cravado no interior do antigo coletor assoreado e danificado.

Figura 84 – Obra do coletor tronco executado com tubo de concreto cravado.

6.5 – Diâmetro nominal, externo e interno das tubulações.

Após pesquisa efetuada nas normas técnicas (NBR e NTS), obteve-se na NBR 5645 a definição mais completa de diâmetro nominal, interno e externo:

- Diâmetro nominal: número que classifica, em dimensões, os elementos de tubulação (tubos e conexões) e que corresponde aproximadamente ao seu

diâmetro interno em milímetros. O diâmetro nominal (DN) não deve ser objeto de medição, nem ser utilizado para fins de cálculo.

- Diâmetro interno: valor da distância, em milímetros, entre dois pontos quaisquer, diametralmente opostos, da superfície interna de uma mesma seção reta do tubo.
- Diâmetro externo: valor da distância, em milímetros, entre dois pontos quaisquer, diametralmente opostos, da superfície externa de uma mesma seção reta do tubo.

Utiliza-se o diâmetro interno para o dimensionamento das tubulações de esgotos, entretanto, na prática, o diâmetro interno definido nos cálculos hidráulicos, é o mesmo especificado para compra, ou seja o diâmetro nominal, portanto, há um subdimensionamento quando esse diâmetro coincidir com o diâmetro externo do tubo ou quando a diferença do diâmetro externo e a espessura do tubo for menor que o diâmetro nominal.

Os resultados e discussão da comparação dos diâmetros nominais, externos e internos das principais tubulações do sistema de coleta e transporte, assim como o cálculo comparativo entre a vazão nominal e real foram itemizados por tipo de material. Para esse cálculo foi utilizada a equação de Manning considerando-se o coeficiente $n = 0,013$, declividade $i = 0,007\text{m/m}$ e altura da lâmina d'água a 75% do diâmetro do tubo ($y/D = 0,75$).

Para os tubos de cerâmica, PVC e FoFo analisou-se os diâmetros de 100, 150 e 200 mm e para os tubos de concreto analisou-se os diâmetros de 200, 400, 500mm, pois tais diâmetros, com exceção do tubo de concreto de 200mm, que será analisado para a comparação com os demais materiais de mesmo diâmetro, são os mais utilizados na área de estudo.

6.5.1- PVC

Verificou-se que os diâmetros nominais, externos e internos especificados nos catálogos dos principais fabricantes são iguais aos relacionados na norma NBR 7362-2.

Conforme a NBR 7362-2 a tolerância do diâmetro externo médio pode variar de +0,3 a +0,7mm. Esse diâmetro considera a espessura da parede do tubo, que varia de acordo com o tipo de material e coincide, no caso dos tubos de PVC de 200, 250 e 400mm, com o seu diâmetro nominal. De acordo com a NBR7362-1 e NBR 7362-2 entende-se por diâmetro externo médio a relação entre o perímetro externo do tubo e o número 3,1416, aproximada para o décimo de milímetro mais próximo.

A Tabela 16 apresenta os diâmetros nominais, externos e internos dos tubos de PVC mais utilizados na área de estudo.

Tabela 16 – Diâmetros das tubulações de PVC.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro externo médio (mm)	Diâmetro interno (mm)
100	110	105
150	160	152,8
200	200	191

Fonte: (CATÁLOGOS TIGRE; AMANCO, 2005).

Observa-se na Tabela 16 que apenas no diâmetro de 200mm apresenta condições hidráulicas desfavoráveis, pois o diâmetro nominal coincide com o diâmetro externo do tubo, com uma redução de 9mm em relação ao diâmetro interno.

A Tabela 17 apresenta as simulações realizadas para o cálculo comparativo entre a vazão nominal e real dos tubos de PVC. Utilizou-se para esse cálculo, respectivamente, o diâmetro nominal e o diâmetro interno do tubo.

Tabela 17 – Diâmetros e vazões das tubulações de PVC.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)	Vazão nominal (L/s)	Vazão real (L/s)	Divergência entre vazão real e nominal (%)
100	105	3,94	4,49	14
150	152,8	11,61	12,20	5
200	191	25,02	22,12	-12

Verifica-se na Tabela 17 a divergência negativa de 12% para o diâmetro de 200mm no cálculo da vazão real em relação à vazão nominal. Nos diâmetros de 100 e 150mm essa divergência é positiva.

6.5.2- Cerâmica

Verificou-se que os diâmetros nominais, externos e internos especificados nos catálogos dos principais fabricantes, na Acertubos e na NBR 5645 são os mesmos.

A NBR 5645, define para as diversas dimensões dos tubos um diâmetro interno mínimo, um diâmetro externo máximo e uma espessura mínima, conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Dimensões dos tubos cerâmicos conforme a NBR 5645.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno mínimo (mm)	Diâmetro externo máximo (mm)	Espessura mínima (mm)
100	94	132	12
150	140	190	15
200	188	246	17

Verifica-se na Tabela 18 que a NBR 5645 estabelece tolerâncias para os diâmetros de 100 a 200mm, que variam de 14 a 24mm, respectivamente.

A Tabela 19 apresenta os diâmetros nominais, externos e internos dos tubos cerâmicos mais utilizados na área de estudo.

Tabela 19 – Diâmetros das tubulações cerâmicas.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)
100	132	94
150	190	140
200	246	188

Fonte: (CERÂMICA MARISTELA, 2005).

Observa-se na Tabela 19 que todos os diâmetros apresentam condições hidráulicas desfavoráveis, resultando em reduções do diâmetro interno que variam de 6 a 12 mm em relação ao diâmetro nominal.

A Tabela 20 apresenta as simulações realizadas para o cálculo comparativo entre a vazão nominal e real dos tubos cerâmicos.

Tabela 20 – Diâmetros e vazões das tubulações cerâmicas.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)	Vazão nominal (L/s)	Vazão real (L/s)	Divergência entre vazão real e nominal (%)
100	94	3,94	3,34	-15
150	140	11,61	9,66	-17
200	188	25,02	21,21	-15

Verifica-se na Tabela 20 a divergência negativa de 15% e 17% no cálculo da vazão real em relação à vazão nominal, representando um subdimensionamento da tubulação implantada em relação à tubulação projetada.

6.5.3- Ferro fundido

Os dados utilizados nesse item foram obtidos na NBR 9651, pois os catálogos da empresa Saint-Gobain, não apresentam dados suficientes que permitam a determinação do diâmetro interno do tubo.

A Tabela 21 apresenta as dimensões e tolerâncias, definidas na NBR 9651, dos tubos de ferro fundido mais utilizados na área de estudo.

Tabela 21 – Dimensões e tolerâncias das tubulações de FoFo.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro externo (mm)	Tolerância sobre o diâmetro externo (mm)	Espessura normal (mm)	Espessura mínima (mm)
100	103	± 1	4,0	2,5
150	151	± 1	5,0	3,0
200	222	+1 -3,5	4,2	2,7

Conforme apresenta a Tabela 21, não são fixados valores limites máximos da espessura dos tubos e a maior tolerância nas dimensões dá-se na tubulação de 200mm.

A Tabela 22 apresenta os diâmetros nominais, externos e internos dos tubos de ferro fundido.

Tabela 22 – Diâmetros das tubulações de FoFo.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)
100	103	98
150	151	145
200	222	216,6

Fonte: (NBR 9651, 1986).

A Tabela 22 mostra que os diâmetros de 100 e 150mm apresentam condições hidráulicas desfavoráveis, resultando em reduções do diâmetro interno que variam de 2 a 5 mm em relação ao diâmetro nominal. Apenas o diâmetro nominal de 200mm possui um diâmetro interno superdimensionado.

A Tabela 23 apresenta as simulações realizadas para o cálculo comparativo entre a vazão nominal e real dos tubos de FoFo.

Tabela 23 – Diâmetros e vazões das tubulações de FoFo.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)	Vazão nominal (L/s)	Vazão real (L/s)	Divergência entre vazão real e nominal (%)
100	98	3,94	3,73	-6
150	145	11,61	10,61	-9
200	216,6	25,02	30,94	24

A Tabela 23 mostra a divergência negativa de 6% e de 9% no cálculo da vazão real em relação à vazão nominal para as tubulações de 100 e 150mm, respectivamente, e um superdimensionamento de 24% para os tubos de 200mm.

6.5.4- Concreto

Os dados utilizados nesse item foram obtidos na NBR 8890, pois os catálogos dos principais fabricantes citam a referida norma na especificação das dimensões dos tubos de concreto.

De acordo com a NTS 045 as variações do diâmetro interno em qualquer seção transversal não devem exceder 1% do diâmetro para mais ou para menos, nos tubos de diâmetro interno médio nominal igual ou inferior a 1000mm, e 0,75% nos de diâmetros nominal maior. O diâmetro interno médio em qualquer seção transversal do tubo não deverá ser inferior ou superior a 98% do diâmetro nominal. Entende-se por diâmetro médio o valor da média de três diâmetros internos medidos segundo

três direções de uma mesma seção transversal, defasadas entre si de um ângulo de 60°. Serão toleradas variações na espessura dos tubos, para mais ou para menos, até 7,5% da espessura nominal declarada pelo fabricante.

A NBR 8890 cita que o diâmetro interno médio não deve diferir mais de 1% do diâmetro nominal. A referida norma define diâmetro interno médio como o valor da média de quatro diâmetros internos, medidos segundo quatro direções de mesma seção transversal, defasados entre si em 45°.

A Tabela 24 apresenta os diâmetros nominais e internos dos tubos de concreto. A NBR 8890 não cita valores referentes ao diâmetro externo da tubulação.

Tabela 24 – Diâmetros das tubulações de concreto.

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno médio (mm)
200	200
400	400
500	500

Fonte: (NBR 8890, 2003).

A Tabela 24 mostra que para as tubulações de concreto o diâmetro nominal e o interno são iguais, conforme disposto na NBR 8890. Como a tolerância entre esses diâmetros não deve exceder a 1%, não há discrepâncias significativas entre o diâmetro projetado através dos cálculos hidráulicos e a tubulação em operação.

6.5.5- Considerações gerais

Verifica-se que as maiores divergências ocorrem com o material cerâmico, variando entre 15 e 17% a vazão nominal em relação à vazão real para os diâmetros de 100/200mm e 150mm, respectivamente, representando os piores casos de subdimensionamento. Para os tubos de PVC, o pior caso ocorre no diâmetro de 200mm, com uma divergência negativa (subdimensionamento) de 12%. O maior caso de superdimensionamento ocorre nos tubos de FoFo de 200mm com uma divergência positiva (superdimensionamento) de 24%. No caso dos tubos de concreto, devido às definições contidas na norma da ABNT NBR 8890, que citam a necessidade de similaridade das dimensões do diâmetro interno com o diâmetro nominal, as divergências verificadas nos demais materiais não se aplicam.

Para a adequação dessa situação torna-se necessário o estabelecimento de diâmetros internos padrões, coincidentes com os diâmetros nominais dos tubos, regulamentados através de normas técnicas para todos os tipos de materiais, porém, essa definição contraria os interesses dos fabricantes de tubos, pois representa custos adicionais para o aumento do diâmetro externo da tubulação, que deverá variar de acordo com o tipo do material utilizado. Salienta-se, ainda, a necessidade de padronização de definições da NBR com a NTS, como por exemplo, a definição de diâmetro interno médio para os tubos de concreto, que difere nas duas normas.

6.6 - Custos das tubulações de esgotos

• Materiais

Na Figura 85 são apresentados os preços referenciais dos materiais das tubulações utilizadas nos sistemas de esgotos sanitários da área norte de São Paulo. Os dados relativos ao material cerâmico, PVC, concreto A3, ferro fundido dúctil, PRFV, concreto para cravação e PEAD foram obtidos no banco de preços oficial da Sabesp, com data de referência de junho de 2005, e são utilizados na montagem dos processos de licitação para a contratação de obras. Verifica-se que o custo dos tubos de cerâmica e de concreto são os mais econômicos, e os tubos de PEAD e de ferro fundido dúctil, apresentam os maiores custos.

Figura 85 – Preços referenciais dos materiais das tubulações. Fonte: (SABESP, 2005).

A Figura 86 apresenta o detalhe das curvas de custo dos tubos de PVC e cerâmica, que são os materiais mais utilizados na área de estudo. Verifica-se que a diferença de preços entre esses dois materiais aumenta à medida que o diâmetro das tubulações também aumenta.

Figura 86 – Preços referenciais de PVC e cerâmica. Fonte: (SABESP, 2005).

A Figura 87 apresenta os preços reais dos materiais pagos pela Sabesp, com referência de junho de 2005.

Figura 87 – Preços reais de PVC e cerâmica. Fonte: (SABESP, 2005).

A Figura 88 apresenta o agrupamento das curvas da Figura 86 e 87. Verifica-se que há uma divergência de valores de preços reais dos tubos cerâmicos e do PVC pagos pela Sabesp e o seu banco referencial de preços.

Figura 88 – Comparação dos preços reais e referenciais de PVC e cerâmica. Fonte: (SABESP, 2005).

A área responsável pela publicação do banco de preços da Sabesp foi comunicada dessa divergência, principalmente quanto aos preços dos tubos de PVC, que se encontram de 50 a 75% mais caros que os preços reais pagos pela Sabesp, sem considerar a incidência recomendada de 20% de benefícios e despesas indiretas (BDI) sobre os preços do banco de insumos. A referida área informou que esses preços referenciais, calculados através de pesquisas realizadas em fornecedores qualificados (preços de balcão), variam em torno de 15% a 20% acima do preço real de compra do material e que a discrepância verificada com os valores do contrato de compra de materiais da área de pesquisa, deve-se ao fato do fornecedor possuir o produto em estoque e do material ter sido comprado em grande quantidade, possibilitando que o mesmo concedesse grandes descontos nos preços referenciais da licitação.

O banco de preços oficial da Sabesp fornece preços máximos referenciais que são utilizados como parâmetros para o orçamento de sistemas projetados, podendo inviabilizar a execução das obras em PVC devido aos altos custos envolvidos.

Portanto, uma revisão adequada desses preços compatibilizando-os aqueles realmente pagos pelos diferentes materiais é prioritário e essencial.

- **Assentamento**

Na execução de obras de ligações, redes, coletores, linhas de recalque e interceptores os principais custos envolvidos referem-se ao movimento de terra (escavação e aterro), escoramento, assentamento, pavimentação e o fornecimento de material. Desses itens, os únicos que variam de acordo com o tipo de material são o seu fornecimento e assentamento, e representam em média 15% do custo total da obra.

A Figura 89 apresenta apenas os custos do assentamento das tubulações, sem considerar as demais etapas da execução da obra. Observa-se que o assentamento das tubulações cerâmicas é o mais caro, devido ao pequeno comprimento do tubo, normalmente com 1,50m, necessitando de grande quantidade de juntas que devem ser cuidadosamente alinhadas. O baixo custo do assentamento dos tubos de PVC refletem a facilidade de seu manuseio e aplicação. Os preços do assentamento foram obtidos no banco de preços de obras da Sabesp, com data de referência de junho de 2005. Verifica-se a necessidade de criação de preço específico para o assentamento da tubulação de PRFV, pois o custo do fornecimento desse material já se encontra no banco de preços.

Figura 89 – Preços referenciais do assentamento das tubulações. Fonte: (SABESP, 2005).

A Figura 90 apresenta o custo do assentamento dos principais materiais utilizados nas redes de esgotos: o cerâmico e o PVC.

Figura 90 – Preços referenciais do assentamento das tubulações cerâmicas e de PVC. Fonte: (SABESP, 2005).

• Obras e materiais

Verifica-se que o assentamento representa aproximadamente 4% do custo das obras, excluindo-se o fornecimento dos materiais, que representam aproximadamente 10% do custo total das obras. Esses são valores médios, pois os mesmos variam de acordo com o material utilizado. No caso das tubulações com diâmetros de 100mm e 150mm, que são as mais utilizadas em sistemas de esgotos, o custo do assentamento dos tubos cerâmicos é maior que o do fornecimento do material. Já no caso do PVC, essa situação inverte-se.

A Figura 91 ilustra os preços dos materiais somados aos do assentamento. Os preços dos materiais e do assentamento foram obtidos no banco de preços da Sabesp, com data de referência de junho de 2005. Verifica-se a vantagem econômica na utilização do tubo cerâmico sobre o tubo de PVC, a partir do diâmetro de 150mm.

Figura 91 – Preços referenciais do assentamento e materiais das tubulações. Fonte: (SABESP, 2005).

A Figura 92 apresenta os preços dos materiais somados aos do assentamento das tubulações cerâmicas e de PVC. Verifica-se, que neste caso, há vantagem econômica na utilização do tubo de PVC sobre o tubo cerâmico nos diâmetros mais utilizados, ou seja, 100, 150 e 200mm. Esse fato demonstra claramente a incompatibilidade

entre os preços de referência do banco oficial da Sabesp e os preços reais pagos pela Companhia.

Figura 92 – Preços reais de assentamento e materiais com contrato em andamento.
Fonte: (SABESP, 2005).

A Figura 93 apresenta os preços obtidos em contrato em andamento, reajustados para setembro de 2005, e referem-se ao conjunto dos serviços necessários à implantação de rede coletora com diâmetros de 150 a 200mm de PVC e cerâmica. Foram considerados na composição dos custos, vala com profundidade padrão de 1,50m e pavimento asfáltico. Incluem-se nesses serviços o escoramento (pontaleteamento), o movimento de terra, a pavimentação, o assentamento e o fornecimento de materiais.

Figura 93 – Preços reais de obras de prolongamento de rede coletora de esgotos.

Fonte: (SABESP, 2005).

As Figuras 92 e 93 apresentam que além das vantagens do uso do PVC, a execução de obras de esgotos com tubulações de 100mm a 200mm em PVC é mais vantajosa financeiramente que a utilização do material cerâmico.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As principais conclusões e recomendações desse trabalho são:

- Existe uma forte tendência à substituição do material cerâmico por PVC, para ramais prediais e redes coletoras, com diâmetros que variam de 100mm a 200mm, devido às vantagens do PVC referentes ao manuseio, transporte, armazenamento, redução da frequência de serviços de manutenção, praticidade na execução desses serviços e menor divergência entre o diâmetro e vazão nominais e reais ;
- Para as tubulações de cerâmica e PVC utilizadas nas redes coletoras e ligações prediais, diâmetros de 100, 150 e 200mm, há diferenças significativas entre preços referenciais de concorrência e os preços reais pagos. Essas diferenças variam de 50 a 70% para tubos de PVC, inviabilizando economicamente a adoção desse material em determinados projetos;
- Recomenda-se a utilização de tubos de PVC para execução dos ramais prediais e redes coletoras, com diâmetro variando entre 100mm a 200mm, devido suas vantagens técnica e econômica quando se considera o custo das obras e de manutenção das tubulações;
- As tubulações cerâmicas são utilizadas principalmente em substituição às antigas. A tabatinga, por tratar-se de uma junta rígida, é inadequada para a aplicação nas tubulações, porém, é o principal tipo de junta utilizada para o assentamento das tubulações cerâmicas. A execução da junta betuminosa é uma prática arcaica e insegura ao trabalhador, tendendo a extinção.
- Recomenda-se a utilização de juntas elásticas nas tubulações cerâmicas, afim de que se evitem constantes problemas operacionais causados pelo uso das juntas rígidas e semi-rígidas;

- As linhas de recalque das estações elevatórias de esgoto são todas executadas em ferro fundido e de modo geral, apresentam poucos problemas operacionais;
- Nos coletores tronco e interceptores, o principal material utilizado é o concreto devido à sua relação custo – benefício, diversidade de diâmetros e alta resistência. O sistema de tubo de concreto cravado, Jacking Pipe, vem sendo amplamente utilizado em obras de grande relevância do programa de despoluição do rio Tietê. As principais vantagens desse método são a sua rapidez, segurança e versatilidade em relação aos demais métodos não destrutivos;
- Há tendência, na área de estudo e nas demais áreas da região Metropolitana de São Paulo operadas pela Sabesp, de utilização dos tubos de PRFV e PEAD na implantação de novos coletores com diâmetro de 300 a 500mm, devido à facilidade de manuseio e versatilidade desses materiais. Os tubos de PRFV são os preferidos pela equipe de manutenção;
- Recomenda-se o estudo detalhado das discrepâncias entre os diâmetros internos e nominais das tubulações de diferentes materiais utilizados nos sistemas de coleta e transporte de esgoto com o objetivo de subsidiar a ABNT na elaboração de normas técnicas que regulamentem as dimensões de fabricação dos tubos, contribuindo para a redução da divergência entre o dimensionamento hidráulico e as condições reais de operação das tubulações;
- As normas e procedimentos indicados para cada tipo de material utilizado na execução das obras das redes coletoras, ligações prediais, linhas de recalque, coletores, interceptores e emissários não estão sendo seguidos, ocasionando problemas operacionais nas tubulações. Há necessidade de uma fiscalização mais efetiva na execução dessas obras;

- Recomenda-se que a especificação do tipo de material deve ser precedido de estudos amplos de viabilidade que considerem a vida útil do material, praticidade de aplicação, custos, aspectos ambientais, operação, manutenção, segurança do trabalhador e rapidez na implantação da obra.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTC. **Tubos de concreto:** catálogo. São Paulo, 2002.

ACERTUBOS. **Tubos cerâmicos:** catálogo. São Paulo, 2005.

ACERTUBOS – Associação Latino Americana dos Fabricantes de Tubos de Cerâmicos, disponível em <<http://www.acertubos.com.br>>, acesso em: 22 abril 2006.

ALAMBERT JÚNIOR, N. **Manual prático de tubulações para abastecimento de água: informações práticas e indispensáveis para projetos, obras e saneamento.** Rio de Janeiro: ABES, 1997. 176p.

AMANCO. **Tubos de PVC:** catálogo. Santa Catarina, 2005.

ALVENIUS. **Tubos de aço:** catálogo. São Paulo, 2005.

ASPERBRAS. **Tubos e conexões em PVC:** catálogo. São Paulo, 2005.

AZEVEDO NETTO, J.M. **Manual de hidráulica**, 8.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1998. 670p.

BARBARÁ. **Canalizações pressão; válvulas e aparelhos:** catálogo. Rio de Janeiro, 1994.

BRIENZA,D.O. **Manutenção das redes coletoras de esgotos.** São Paulo: CETESB, 1986.

CERÂMICA MARISTELA S.A. **Tubos cerâmicos:** catálogo. São Paulo, 2005.

CHAMA NETO, P.J. Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço. In: **Congresso Brasileiro do Concreto**, 45., Espírito Santo, 2003. Espírito Santo: Instituto Brasileiro do Concreto-IBRACON; 2003. 1CD-ROM.

CHAMA NETO, P.J. **Tubos de concreto: projeto, dimensionamento, produção e execução de obras**, 1.ed. São Paulo, 2004. 116p.

CONFAB. **Tubos de aço soldados; tubos de aço ponta e bolsa**: catálogo. São Paulo, 1994.

CONSTRUCAP. **Métodos não destrutivos**. São Paulo, 2005. Relatório fotográfico.

FERNANDES, C. **Esgotos sanitários**, 1.ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1997. 435p.

KANAFLEX. **Tubo coletor de esgoto**: catálogo. São Paulo, 2005.

METCALF & EDDY INC. **Wastewater engineering: collection and pumping of wastewater**. Nova York: McGraw-Hill, 1982.

NINA, A.D. **Construção de redes de esgotos sanitários**. 1 ed. São Paulo: CETESB, 1975.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário, coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**, 1.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2003. 519p.

OLIVEIRA, A.B.S.; ANGELIS, J.A.; MORAES, J.B. **Manutenção preventiva em redes coletoras de esgotos**. In: Encontro Técnico da AESABESP, 3., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo: Associação dos Engenheiros da SABESP – AESABESP, 1993. p. 30-32.

PASSETO,W. Tubos de PVC coletores de esgotos prediais e despejos industriais. **In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária**, 13.,Paraguai, 1972. São Paulo:SABESP,1972.

RODOLFO JUNIOR, A.; NUNES, L.R.; PESSAN, L.A. **Tecnologia do PVC**, 18.ed. São Paulo: ProEditores Associados Ltda, 2002. 400p.

SABESP; CETESB. **Estudo de redução de custos de implantação de redes de esgotos sanitários da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 1979. Relatório final.

SABESP. **Primeira etapa do programa de despoluição do Rio Tietê**. São Paulo, 1993. Apostila técnica.

SABESP. **Sistemas de esgotos sanitários**. São Paulo, 1997. Apostila técnica.

SABESP & Consórcio Engevix-Latin Consult. **Revisão e atualização do plano diretor de esgotos da RMSP**. São Paulo, 2000. (Tomo 1, Tomo 2 e Tomo 3).

SABESP & Consórcio JNS, Cobrape e CNEC. **Planos integrados regionais**. São Paulo, 2002.

SABESP & CH2MHILL. **Plano de melhoria operacional do sistema integrado de coletores tronco da RMSP**. São Paulo, 2003. Relatório 3.

SABESP & Consórcio Cobrape-BBL. **Prestação de serviços técnicos especializados de engenharia para o diagnóstico do sistema de interceptação de esgotos da RMSP, através do monitoramento de coletores principais**. São Paulo, 2004. Relatório RS03.

SABESP – Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, disponível em <<http://www.sabesp.com.br>>, acesso em: 10 agosto 2005.

SABESP – Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, disponível em <<http://portal.sabesp.com.br>>, acesso em: outubro 2005.

SABESP. Valoração de produtos e serviços. In: **Evento técnico do departamento de valoração de empreendimentos**, 1., São Paulo, 2006. 1CD-ROM.

SAINT-GOBAIN. **Canalizações integral para esgoto**: catálogo. Rio de Janeiro, 2005.

SANKS, R.L. et al. **Pumping station design**, Boston: Butterworth-Heinemann, 1998.

SOLANO, J.M.; MIQUEL, V.S.F.; GARCIA, R.P. **Ingenieria hidraulica aplicada a los sistemas de distribucion de agua**, España: Universidad Politécnica de Valencia, 1996. v.1.

TAKAHASHI, A. **Sulfetos em interceptores de esgotos: ocorrência, medidas preventivas e corretivas. 1983**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo. São Paulo.

TAKAHASHI, A. Controle de formação de sulfeto em sistemas de coleta de esgoto. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 13., Maceió, 1985. Alagoas: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 1985.

TELLES, P.C.S. **Tubulações industriais: cálculo**, 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

TELLES, P.C.S. **Tubulações industriais: materiais, projeto e desenho**, 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

TIGRE. **Polietileno: produtos e instruções de montagem**: catálogo. São Paulo, 2005.

TIGRE – Dados técnicos, disponível em <<http://www.tigre.com.br>>, acesso em: 22 abril 2006.

TSUTIYA, M.T.;BRUNO, D.P. Infiltração de água em coletores de esgotos sanitários. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 12., Santa Catarina,1983. Anais. Santa Catarina: ABES, 1983.

TSUTIYA, M.T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**, 1.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548p.

TSUTIYA, M.T.et al. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgotos sanitários. Estudo de caso da cidade de Franca, estado de São Paulo.In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 22., Santa Catarina,2003. Anais. Santa Catarina: ABES, 2003. p.123-124.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**, 1 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. 643p.

TWORT, A.C.; RATNAYAKA,D.D.; BRANDT, M.J. **Water supply**, 5.ed. London: IWA Publishing, 2000.

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION – WPCF. **Design and construction of sanity and storm sewer**. Washington, D.C. Manual of Practice n°9, 1970.