

Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP

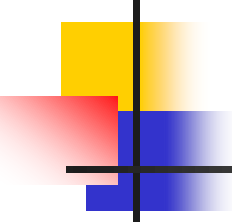


TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS (LOB1225)

Aula 3

Sistemas de esgoto sanitário
Parte 1

Prof. MSc. Paulo Ricardo Amador Mendes

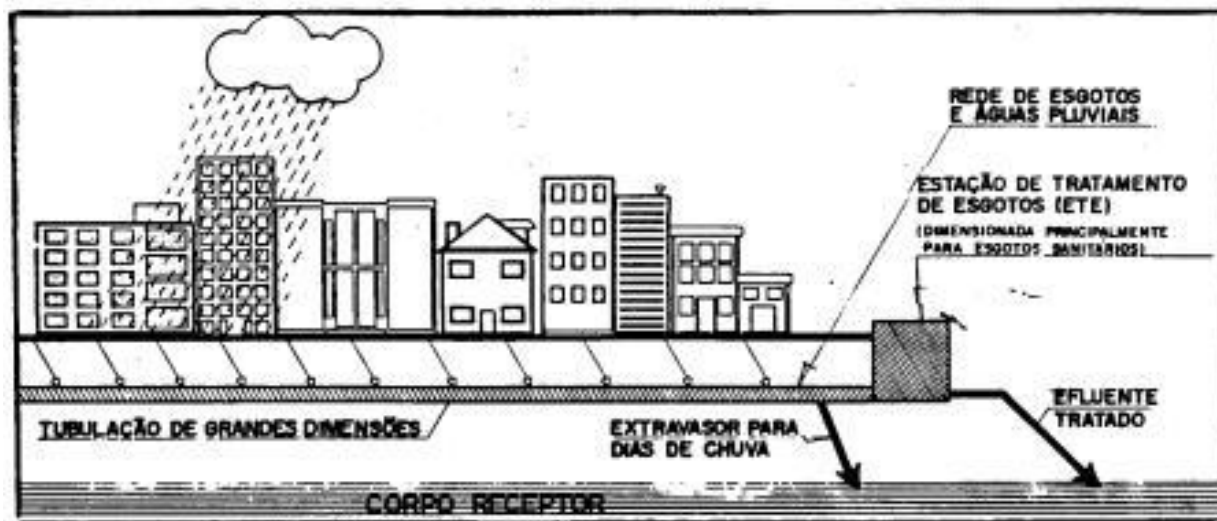


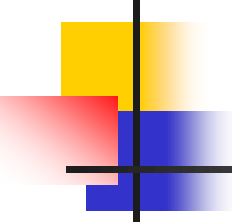
Conteúdo – Parte 1

- Sistema de Esgotamento Sanitário (SES)
 - Introdução;
 - Tipos de SES;
 - Concepção de SES;
 - Partes do SES;
 - Rede coletora de esgoto;
 - Sistemas alternativos de rede coletora de esgoto;
 - Ligação predial de esgoto;
 - Vazões de esgoto sanitário.

Tipos de sistemas de esgoto

- Sistema de esgotamento unitário (ou combinado)
 - Único sistema: águas residuárias (domésticas e industriais), águas de infiltração (águas do subsolo quem penetram no sistema de tubulações e acessórios) e águas pluviais.





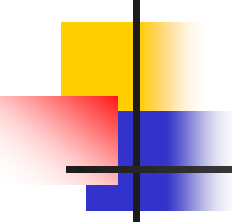
Conteúdo – Parte 1

- Sistema de Esgotamento Sanitário (SES)
 - Introdução;
 - Tipos de SES;
 - Concepção de SES;
 - Partes de SES;
 - Rede coletora de esgoto;
 - Sistemas alternativos de rede coletora de esgoto;
 - Ligação predial de esgoto;
 - Vazões de esgoto sanitário.

Introdução

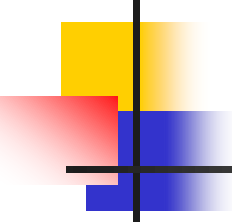
- Roma (sec. VI a.C.):
1º Sistema de esgoto planejado e implantado no mundo
 - Cloaca Máxima: Parte dos esgotos domésticos das áreas adjacentes do fórum Romano e drenagem superficial de uma área bem maior.





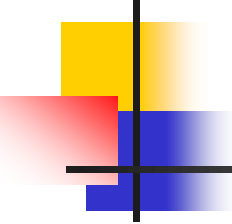
Introdução

- Aumento das comunidades – Dificuldades com a disposição das excretas;
 - Problemas: Odores e destinação das excretas;
 - Roma: Proibição do lançamento das excretas nos drenos e a disposição era feita nas ruas.
- 1596 – Privada com descarga hidráulica (Sir. John Harington)
 - Uso pouco difundido;
- 1915 – Londres: Autorização para lançamento de esgotos domésticos em galerias pluviais.



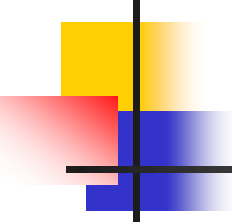
Introdução

- 1847 – Londres: Lançamento compulsório de todas as águas residuárias das casas nas galerias públicas;
- 1855 – Londres: Início da construção de um sistema coletor de esgoto adequado;
- 1842 – Hamburgo (Alemanha): Projeto e construção de sistema de esgotos mais moderno (pluvial e doméstico);
- Sistema de esgoto unitário (doméstico, pluvial e eventual industrial);
 - Boston (1833), Rio de Janeiro (1857), Paris (1880), Viena, Buenos Aires, etc.



Introdução

- Sistema de esgoto unitário (doméstico, pluvial e eventual industrial);
 - Bom desempenho em regiões frias e subtropicais (baixo índice pluviométrico);
 - Presente em cidades com ruas pavimentadas e bom nível econômico;
- Sistema de esgoto separador parcial;
 - Implantado no Rio de Janeiro: limitações financeiras, áreas não pavimentadas, casas em lotes grandes, alta intensidade de chuvas;
 - Condução de águas pluviais precipitadas no interior de prédios.



Introdução

- 1897 – Memphis (EUA): Sistema de esgotamento desenvolvido pelo eng. George Waring.
 - Custo de implantação muito elevado;
 - Águas residuárias urbanas separadas totalmente das águas pluviais;
 - “Sistema de esgoto separador absoluto”;
 - Vazões menores de águas residuárias: menores custos e obras de pequeno porte;
 - Amplamente difundido a partir de então.

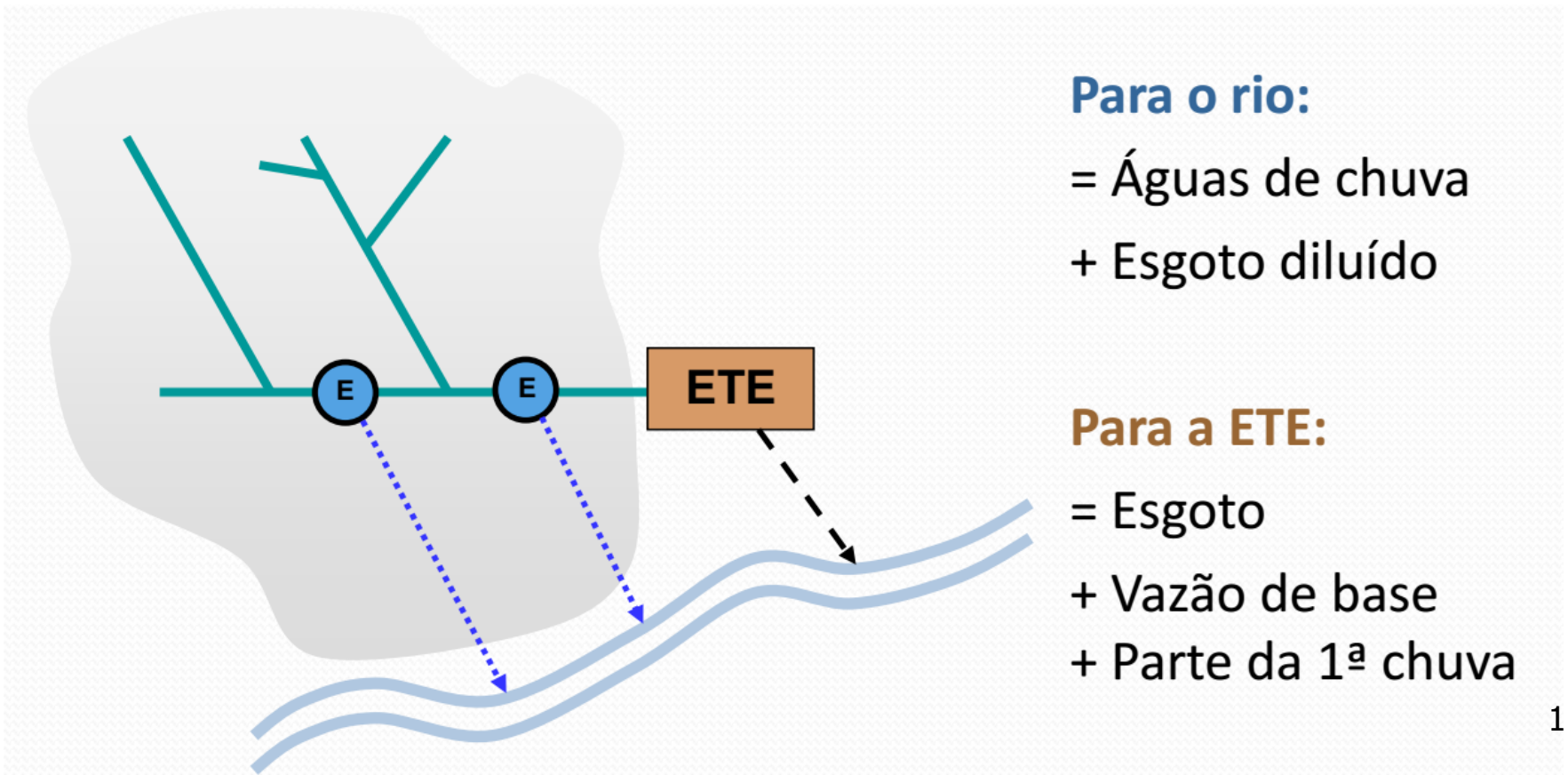
Tipos de sistemas de esgoto

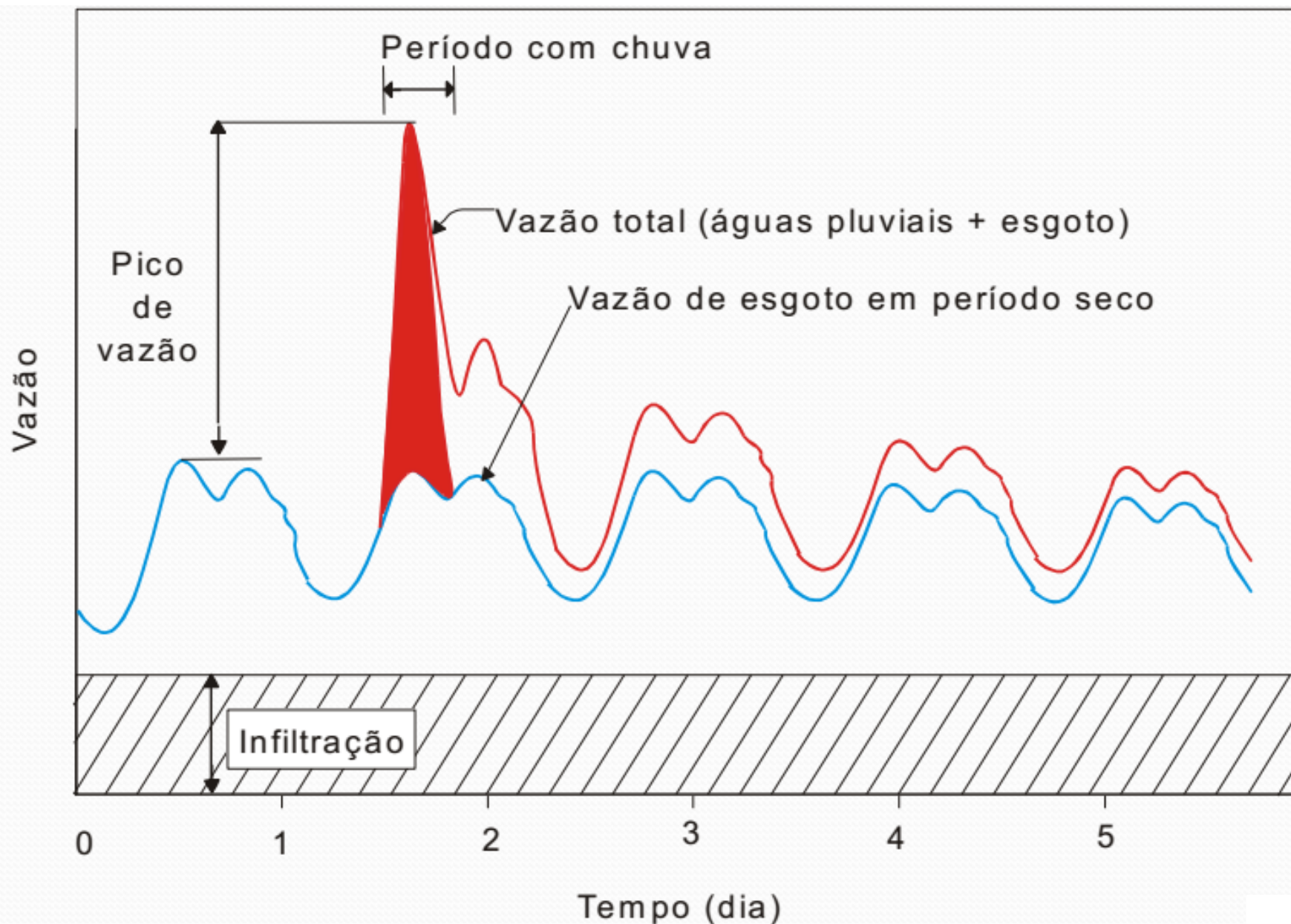
- Sistema de esgotamento unitário (ou combinado)
 - Único sistema: Águas residuárias (domésticas e industriais), águas de infiltração (água de subsolo que penetra nas tubulações e órgãos acessórios) e águas pluviais.



Tipos de sistemas de esgoto

- Sistema de esgotamento unitário (ou combinado)





Vazões em um sistema unitário.

Exemplos de sistemas unitários



Coletor em Tóquio (1884)

Coletor em Osaka (1573)



Exemplos de sistemas unitários

Coletor em Paris

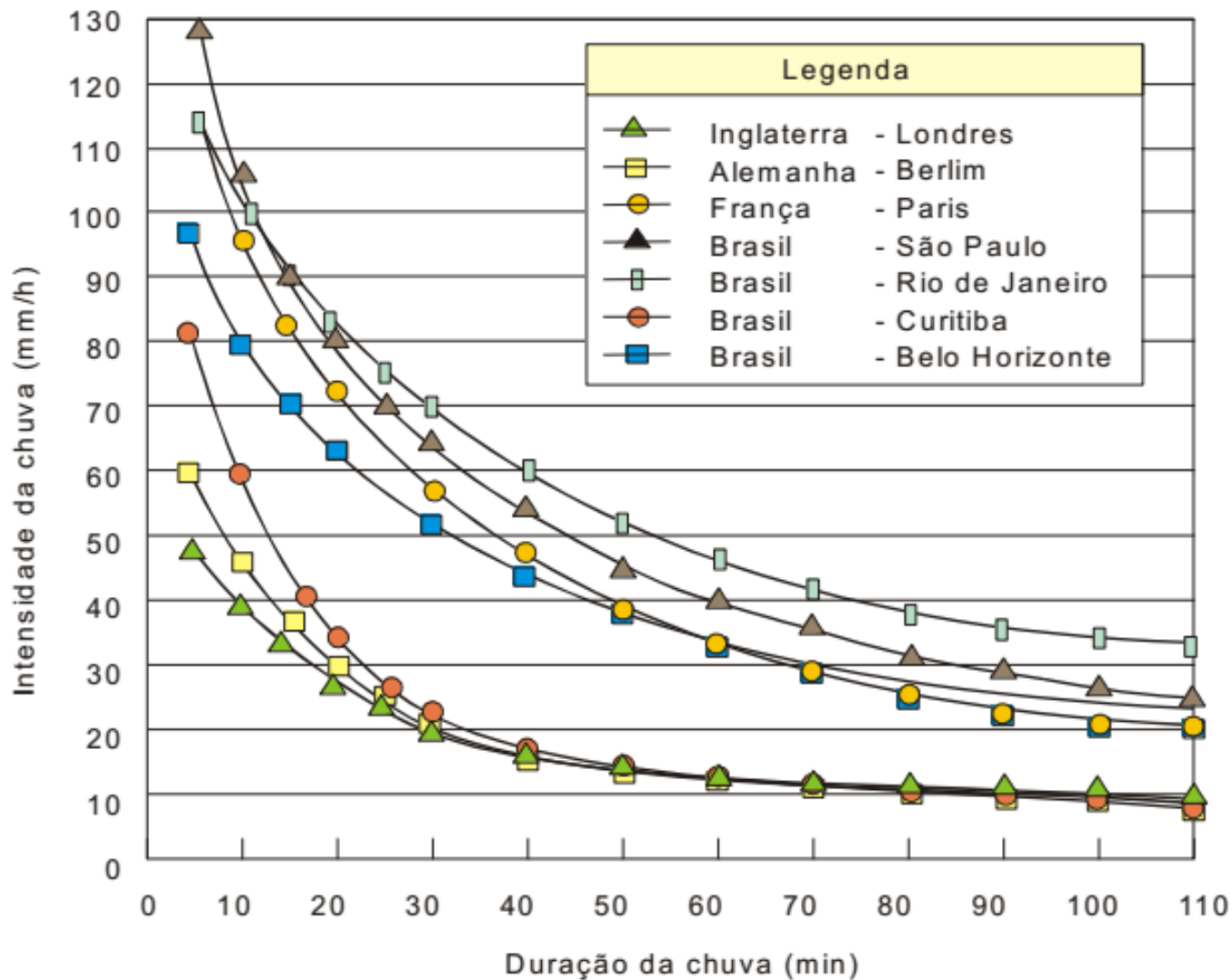
(foto: Débora dos Santos Carvalho, 2010)

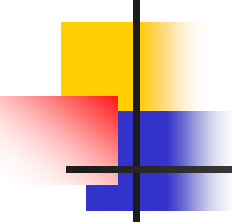


Coletor em Londres



Intensidade de chuvas



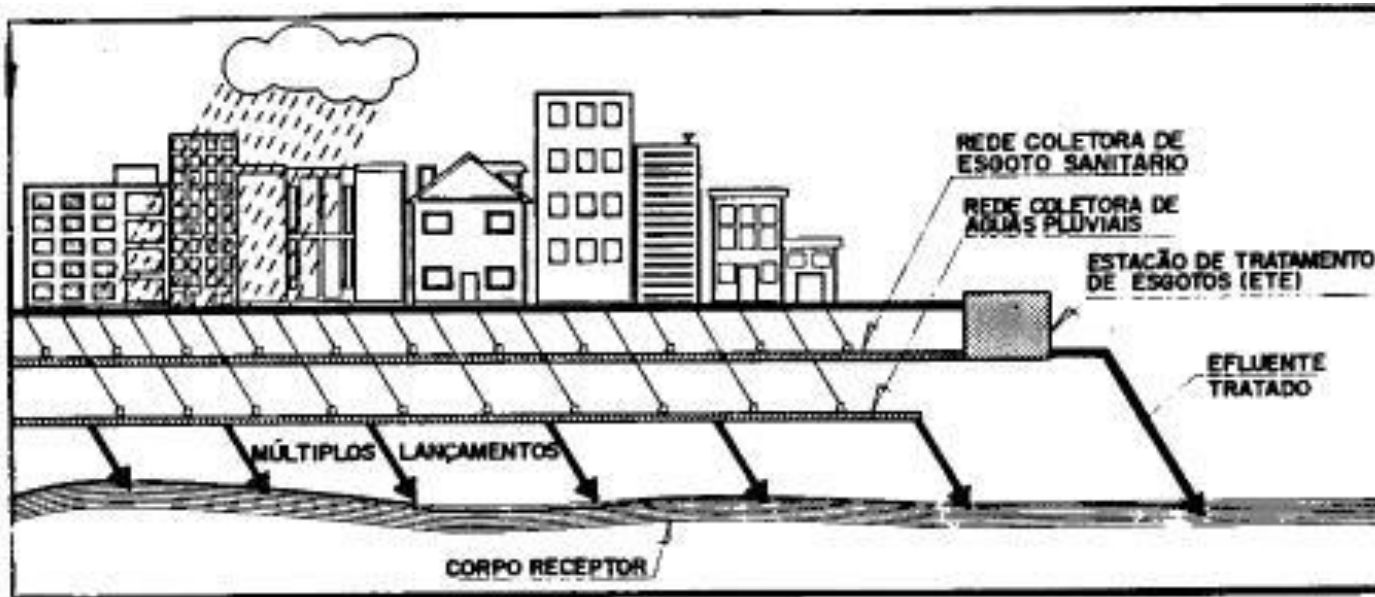


Tipos de sistemas de esgoto

- Sistema de esgotamento separador parcial
 - Único sistema: Parcelas das águas pluviais (telhados e pátios das economias), águas residuárias e águas de subsolo.
- Sistema de esgotamento separador absoluto
 - Sistemas independentes;
 - Esgoto sanitário: Águas residuárias e de subsolo;
 - Drenagem pluvial: Águas pluviais.

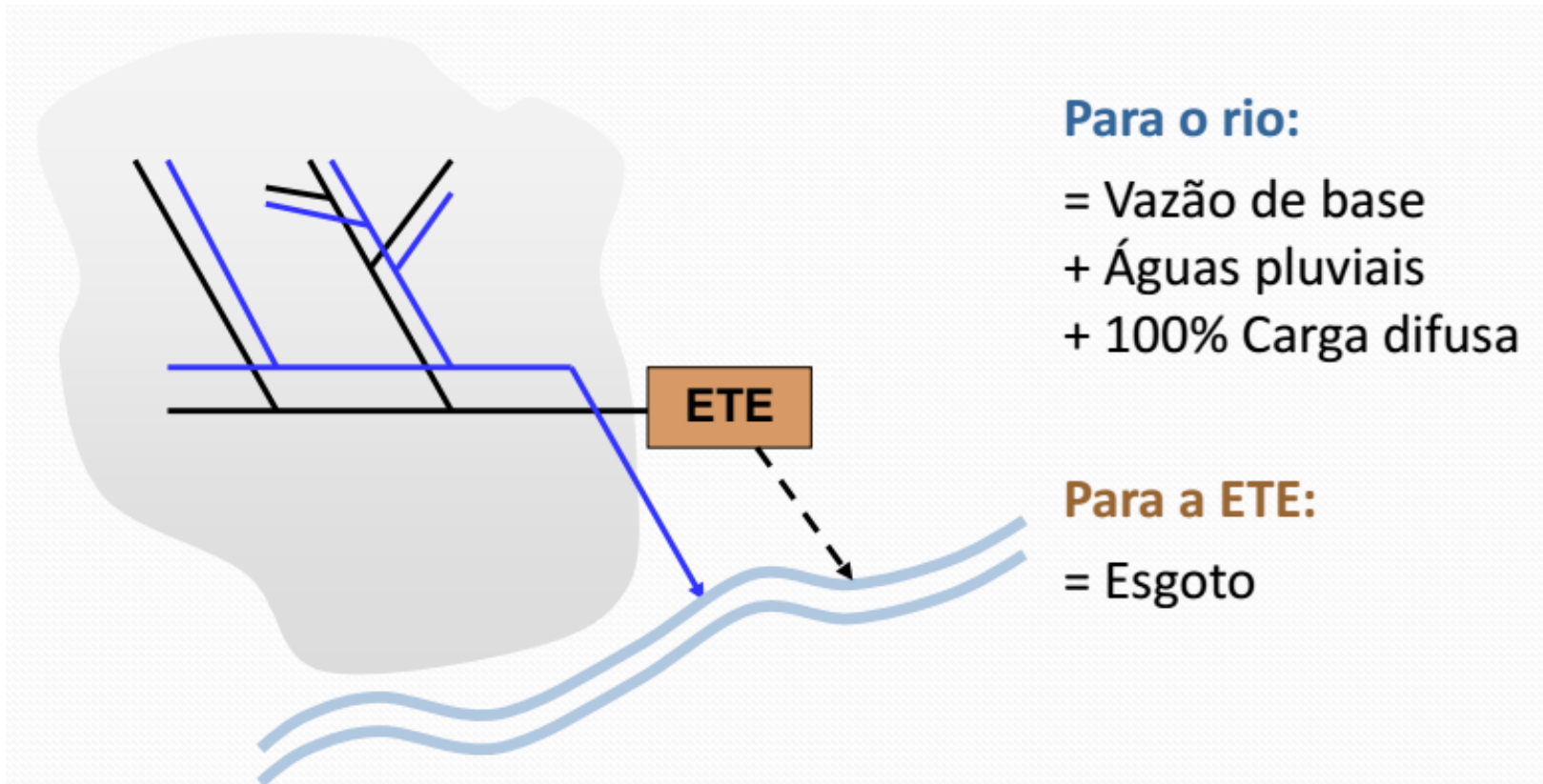
Tipos de sistemas de esgoto

- Sistema de esgotamento separador absoluto



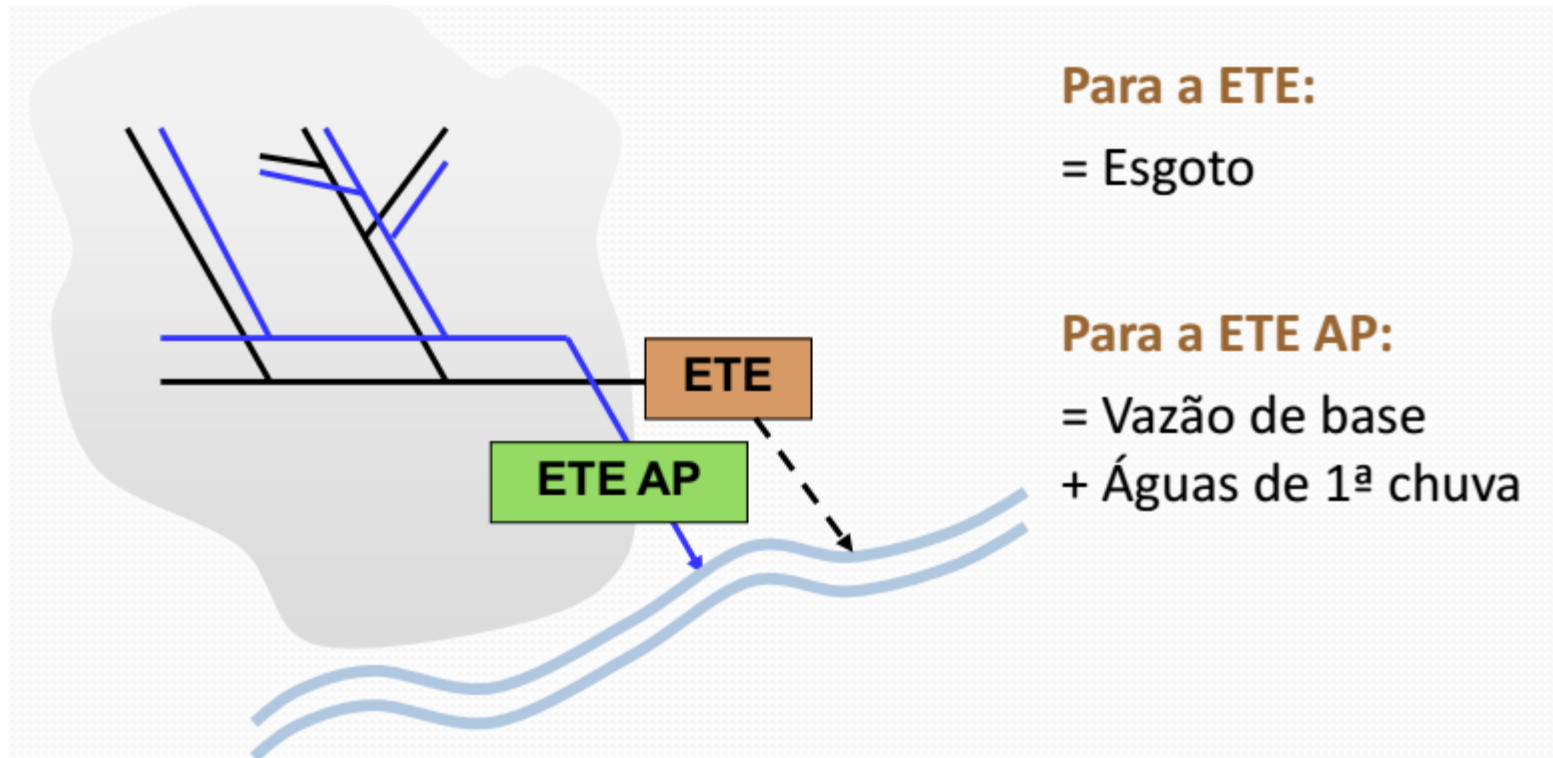
Tipos de sistemas de esgoto

- Sistema de esgotamento separador absoluto



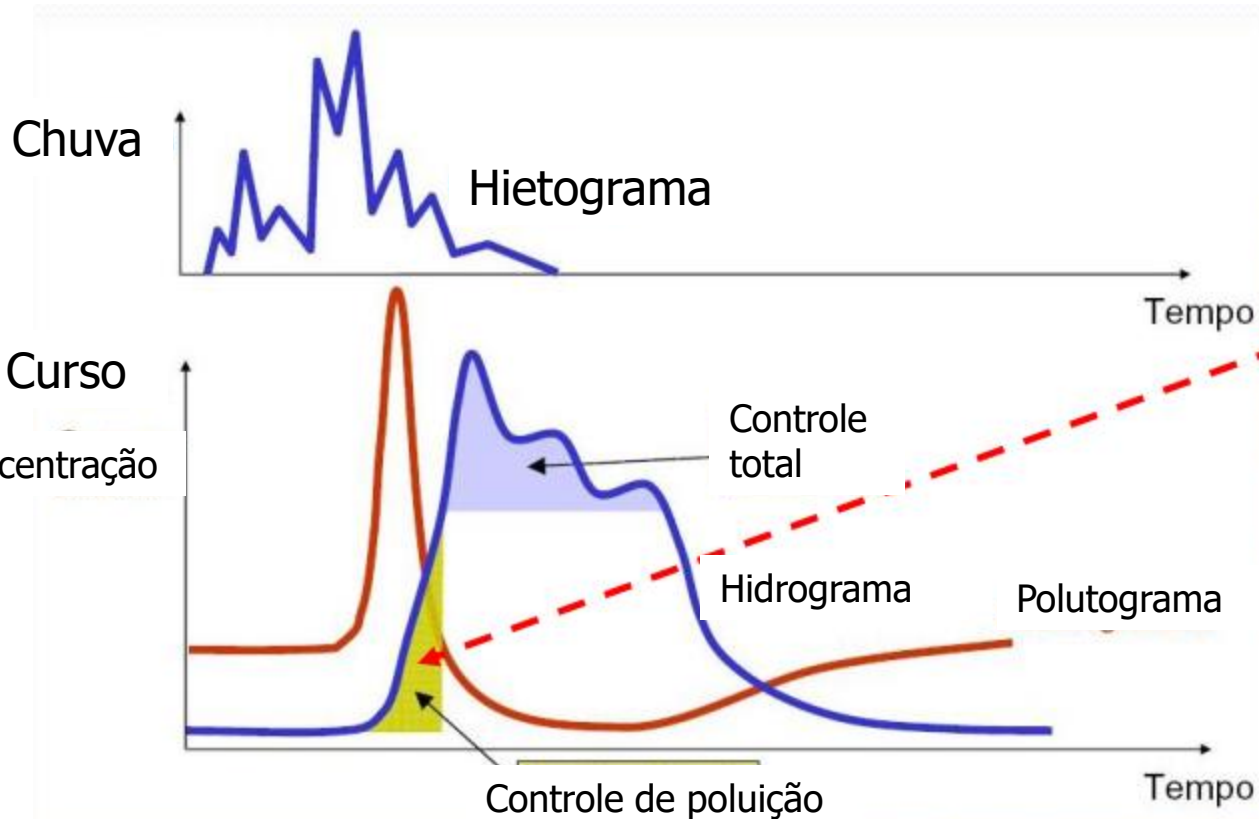
Tipos de sistemas de esgoto

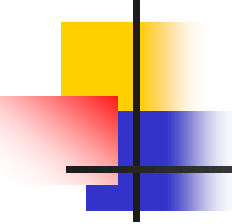
- Sistema de esgotamento separador absoluto com tratamento da carga difusa



Tipos de sistemas de esgoto

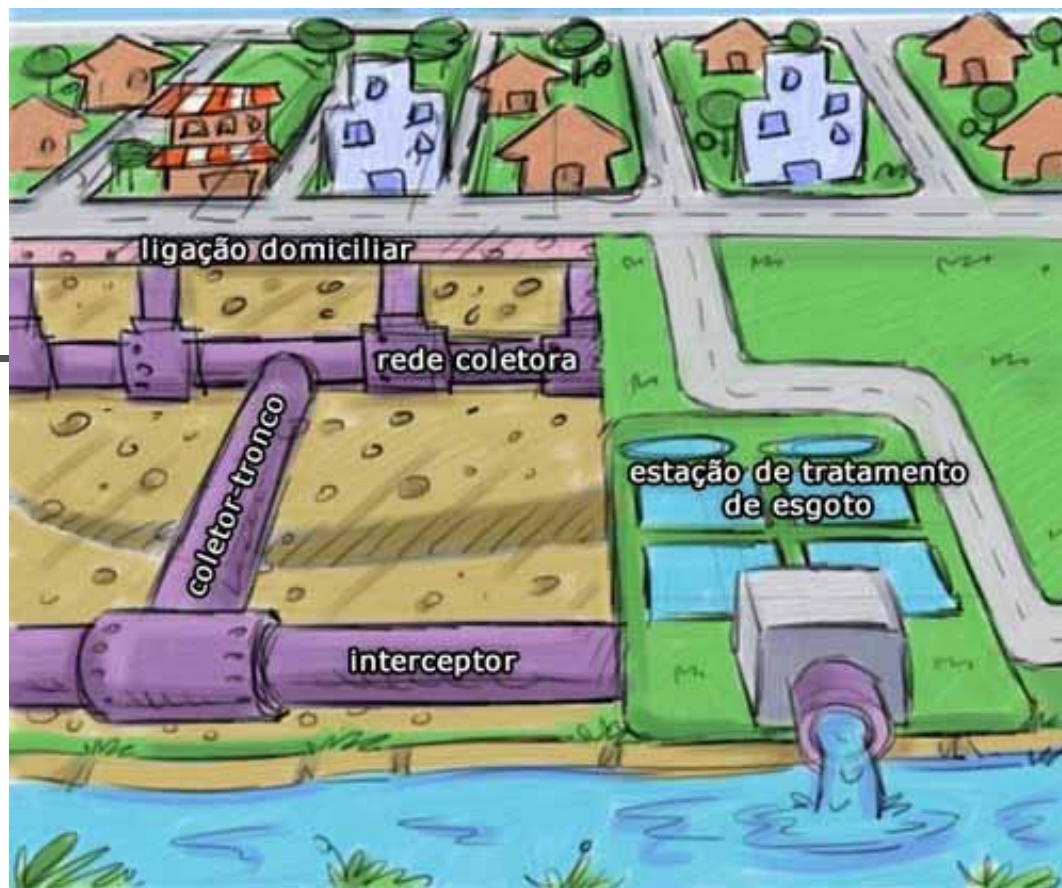
- Carga difusa e águas de 1ª chuva



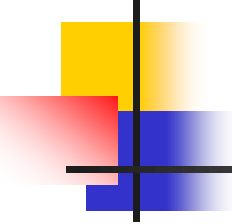


Tipos de sistemas de esgoto

- Sistema de esgotamento separador absoluto
 - Predominância no Brasil;
 - Vantagens:
 - Diversos pontos de lançamento das águas pluviais nos corpos d'água;
 - Emprego de diversos materiais para tubulação: cerâmicos, concreto, PVC ou ferro fundido (casos especiais);
 - Planejamento de execução das obras por partes (maior prioridade para a rede sanitária);
 - Não se condiciona e nem obriga a pavimentação de ruas;
 - Não extravasamento de esgoto doméstico por conta de chuvas intensas.

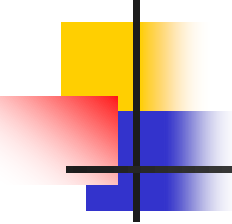


CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTO SANITÁRIO (SES)



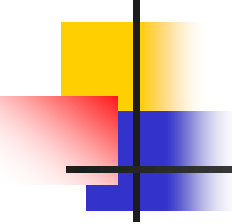
Concepção de sistemas de esgoto sanitário

“Conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimentos de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para a caracterização completa do sistema a projetar.”



Concepção de sistemas de esgoto sanitário

- Concepção do sistema: fase inicial do projeto;
- Objetivos:
 - Identificação e quantificação de todos os fatores intervenientes com o sistema de esgotos;
 - Diagnóstico do sistema existente, considerando a situação atual e futura;
 - Estabelecimento de todos os parâmetros básicos de projeto;
 - Pré dimensionamento das unidades dos sistemas, para as alternativas selecionadas.

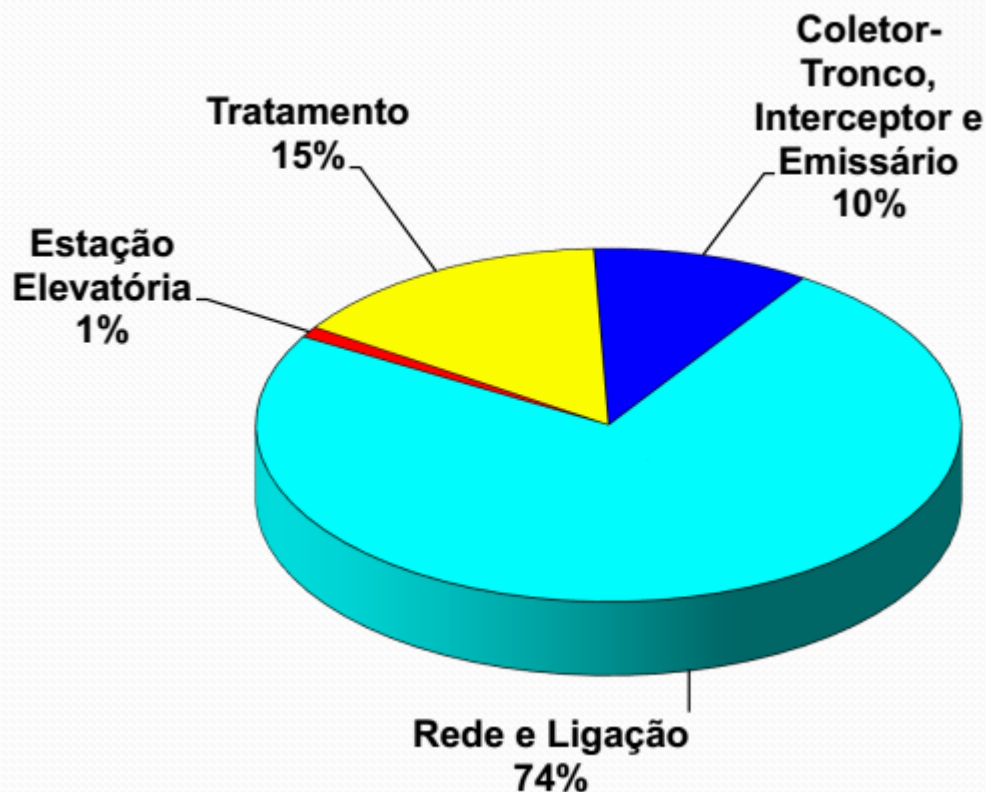


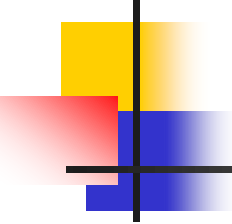
Concepção de sistemas de esgoto sanitário

- Concepção do sistema: fase inicial do projeto;
- Objetivos:
 - Escolha da alternativa mais adequada mediante a comparação técnica, econômica e ambiental, entre as alternativas;
 - Estabelecimento das diretrizes gerais de projeto e estimativa das quantidades de serviços que devem ser executados na fase de projeto.

Concepção de sistemas de esgoto sanitário

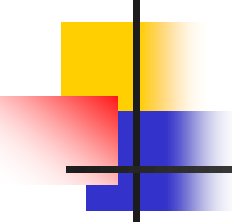
Indicadores de custo





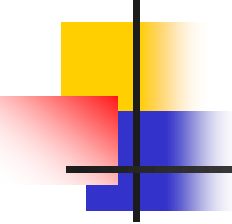
Partes de um sistema de esgoto sanitário

- **Rede coletora:** Conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios;
 - **Sistema de esgoto predial** liga diretamente na rede coletora por uma tubulação (coletor predial);
 - Composta de coletores secundários (recebem diretamente as ligações prediais) e coletores tronco (principal da bacia de drenagem).



Partes de um sistema de esgoto sanitário

- **Interceptor:** Canalização que recebe coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas;
- **Emissário:** Canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino conveniente (ETE e/ou lançamento) sem receber contribuições de marcha;
- **Sifão invertido:** Obra destinada à transposição de obstáculo pela tubulação de esgoto, funcionando sob pressão.

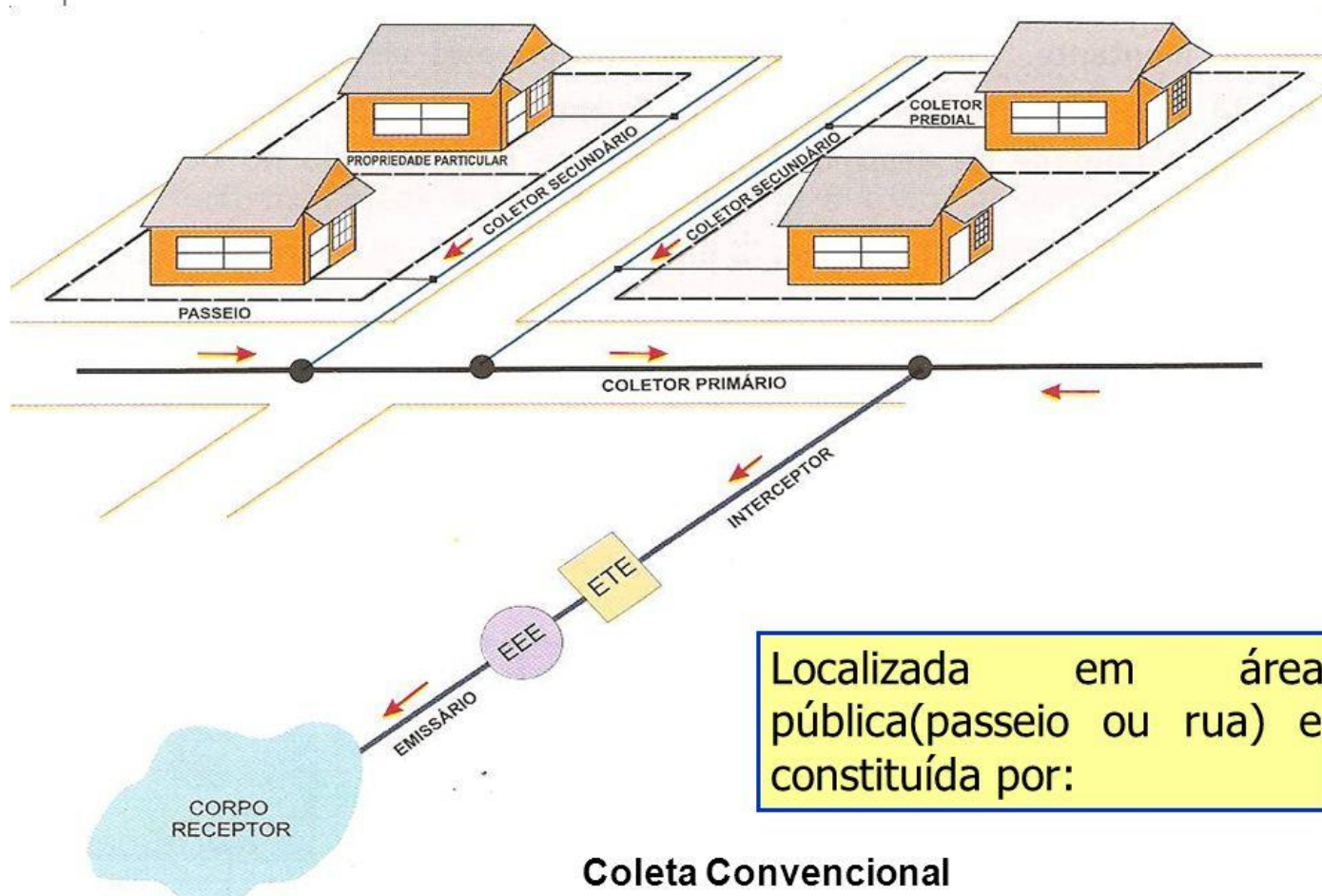


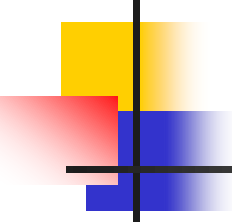
Partes de um sistema de esgoto sanitário

- **Corpo de água receptor:** corpo de água onde serão lançados os esgotos;
- **Estação elevatória:** Conjunto de instalações destinadas a transferir os esgotos de uma cota mais baixa para uma cota mais alta;
- **Estação de tratamento:** Conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes do lançamento.

Partes de um sistema de esgoto sanitário

Coleta Convencional de Esgoto Sanitário





Regime hidráulico de escoamento

- **Condutos livres**

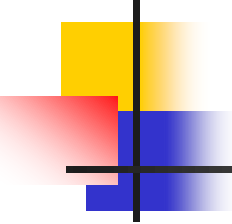
- Rede coletora;
- Interceptor;
- Emissários.

- **Condutos forçados (gravidade ou recalque)**

- Sifões invertidos;
- Linhas de recalque das elevatórias;
- Emissários submarinos.

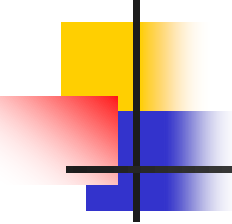
emissário submarino





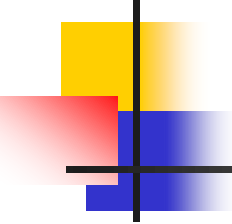
Normas para projetos de SES

- NBR 9648 – Estudo de **concepção** de sistemas de esgoto sanitário, 1986;
- NBR 9649 – Projeto de **redes coletoras** de esgoto sanitário, 1986;
- NBR 12207 – Projeto de **interceptores** de esgoto sanitário, 1989;
- NBR 12208 – Projeto de **estações elevatórias** de esgoto sanitário, 1989;
- NBR 12209 – Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de **estações de tratamento de esgotos sanitários**, 2011.



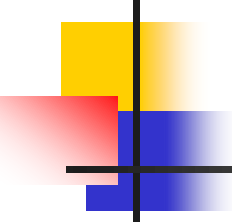
Estudo de concepção de SES

- Dados e características da comunidade;
- Análise do sistema de esgoto sanitário existente;
- Estudos demográficos e de uso e ocupação do solo;
- Critérios e parâmetros de projeto;
- Cálculo das contribuições (doméstica, industrial e de infiltração);
- Formação criteriosa das alternativas de concepção.



Estudo de concepção de SES

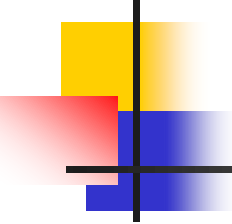
- Estudo dos corpos receptores;
- Pré-dimensionamento das unidades dos sistemas desenvolvidos para a escolha da alternativa;
- Estimativa de custo das alternativas estudadas;
- Comparação técnico-econômica e ambiental das alternativas;
- Alternativa escolhida;
- Peças gráficas do estudo de concepção;
- Memorial de cálculo.



REDES COLETORAS DE ESGOTO

Estudos de concepção

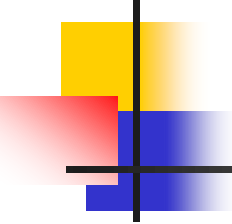
- Estudo da população da cidade e de sua distribuição na área (setores de densidades demográficas diferentes);
- Estabelecimento de critério para previsão de vazões;
- Estimativa dos grandes contribuintes;
- Determinação da vazão específica de esgoto para cada setor ($\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ou $\text{L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$);
- Divisão da cidade em bacias ou sub bacias de contribuição.



REDES COLETORAS DE ESGOTO

Estudos de concepção

- Traçado e pré-dimensionamento dos coletores tronco;
- Quantificação preliminar dos serviços que serão executados (pré-estimativa da extensão dos diversos diâmetros);
- Apresentação desses trabalhos:
 - Memorial descritivo e justificado;
 - Planta planialtimétrica da cidade (escala 1:5000 ou 1:10000), com curvas de nível a cada 5 m;
 - Pré-estimativa das quantidades de serviços e outros.



REDES COLETORAS DE ESGOTO

Estudos de concepção

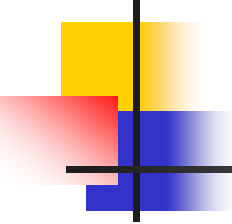
- Concepção de coletores secundários:
 - Fase inicial do projeto;
 - Traçado da rede;
 - Planta planialtimétrica (escala 1:2000 ou 1:1000), com nivelamento geométrico dos pontos de instalação dos órgãos acessórios (convenção adequada);
 - Localização da tubulação, unindo os órgãos acessórios com a indicação do sentido de escoamento por uma seta no traçado da tubulação.

REDES COLETORAS DE ESGOTO

Estudo de concepção

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

Custo Total (100%)	Implantação da Obra (3,8 %)	Canteiro e locação Tapumes e sinalização Passadiços	0,6 % 2,1 % 1,1 %
	Valas (61,2 %)	Levantamento de pavimento Escavação Escoramento Reaterro	1,3 % 10,6 % 38,8 % 10,5 %
	Assentamento de tubulações (25,1 %)	Transporte Assentamento Poços de visita Ligações prediais Cadastro	0,4 % 4,1 % 15,5 % 4,6 % 0,5 %
	Serviços Complementares (9,9 %)	Lastros e bases adicionais Reposição do pavimento Recomposição de G.A.P.	0,7 % 9,2 % 0,1 %



REDES COLETORAS DE ESGOTO - Orgãos acessórios

- Esgoto – presença de grande quantidade de sólidos orgânicos e minerais;
- Rede coletora – conduto livre;
- Necessidade de dispositivos de controle – evitar ou minimizar entupimentos nos pontos singulares das tubulações (curvas, pontos de afluência) e pontos de acesso a pessoas ou equipamentos;

REDES COLETORAS DE ESGOTO - Orgãos acessórios

- **Poço de visita (PV):** Dispositivo visitável que pode ser substituído por qualquer um dos dispositivos seguintes;
- **Terminal de limpeza (TL):** Tubo que permite a introdução de equipamentos de limpeza e substitui o PV no início dos coletores (pontos de montante da rede);
- **Caixa de passagem (CP):** Câmara sem acesso, utilizada em mudanças de material, direção ou declividade;
- **Tubo de inspeção e limpeza (TIL):** Dispositivo não visitável, permite a introdução de equipamentos de limpeza.

REDES COLETORAS

Orgãos acessórios

- Início dos coletores } **TL**
 - Mudanças de direção
 - Mudanças de declividade
 - Mudanças de material
 - Degraus
 - Reunião de até 3 coletores
 - Tubo de queda
 - Reunião com mais de 3 coletores
 - $\varnothing \geq 400 \text{ mm}$
 - Profundidade $\geq 3,0 \text{ m}$
- CP**
- TIL**
- PV**



REDES COLETORAS

Orgãos acessórios - PV

- Acesso de pessoas e equipamentos para a manutenção;
- Tradicionalmente – pontos singulares da rede (início dos coletores, mudanças de direção, declividade, diâmetro e material, reunião de coletores, degraus e tubos de queda);
- Distância máxima: 100 m;
- Disposição de equipamentos adequados de limpeza da rede: Substituição por TIL, TL e CP.

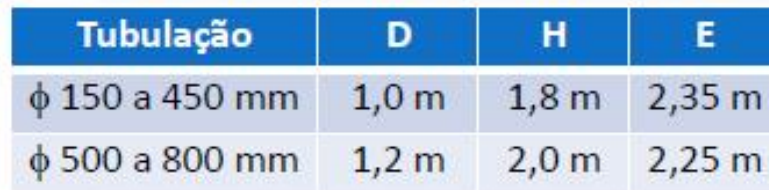
REDES COLETORAS

Orgãos acessórios - PV

- Obrigatoriedade:

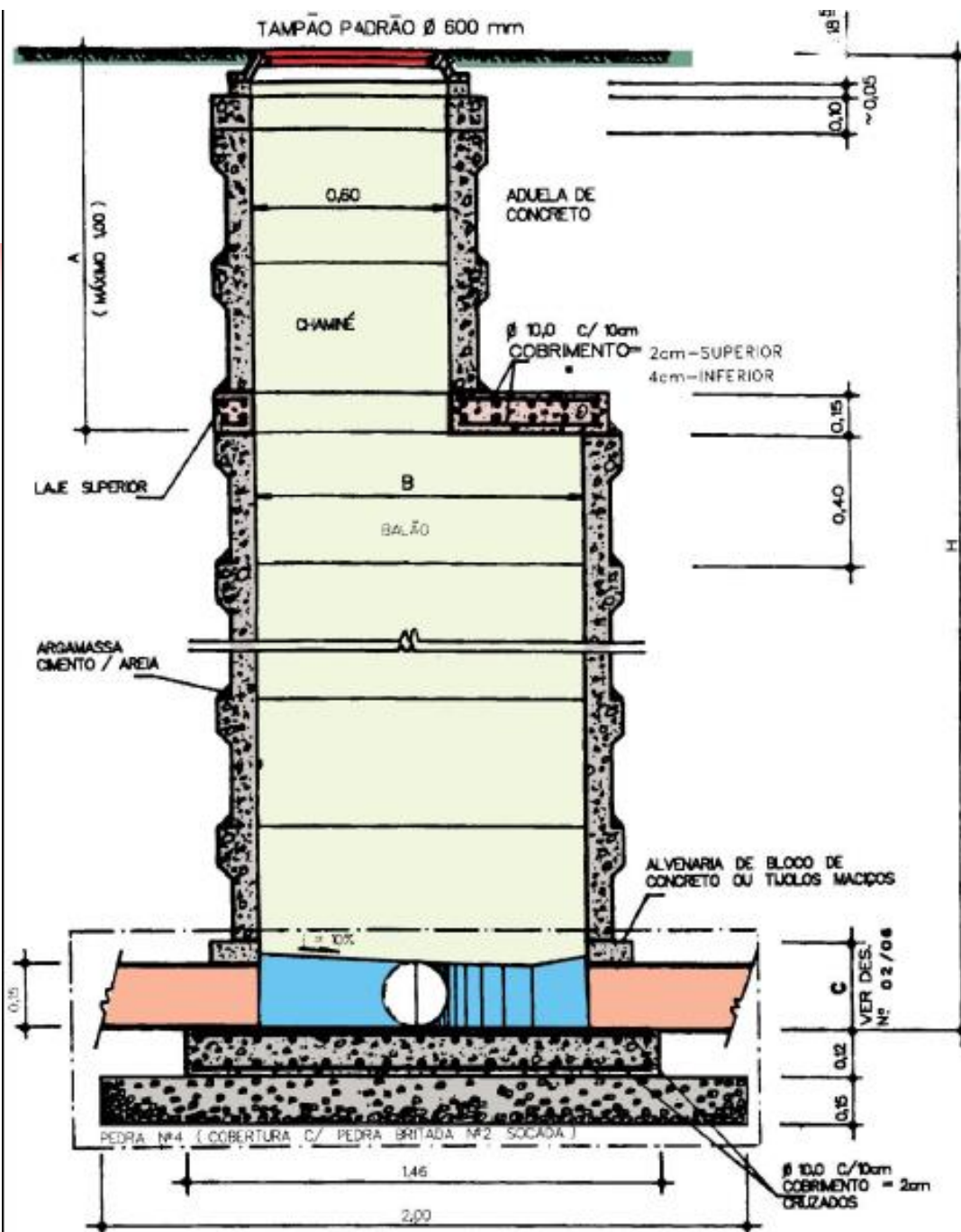
- Reunião de coletores com mais de três entradas;
- Reunião de coletores quando há a necessidade de tubo de queda;
- Nas extremidades de sifões invertidos e passagens forçadas;
- Profundidades maiores que 3,0 m;
- Diâmetros de tubos igual ou superior a 400 mm.

com tubo de queda (TQ) neste exemplo...



Detalhe do Fundo do PV → canaletas de argamassa para direcionamento do fluxo





PV em aduelas de concreto armado pré moldado

Tubulação	B
Ø 150 a 450 mm	1,0 m
Ø 500 a 800 mm	1,2 m

NOTAS:

- 1) Executar chaminé somente quando $H > 2,50$ m
- 2) Medidas em metros

REDES COLETORAS

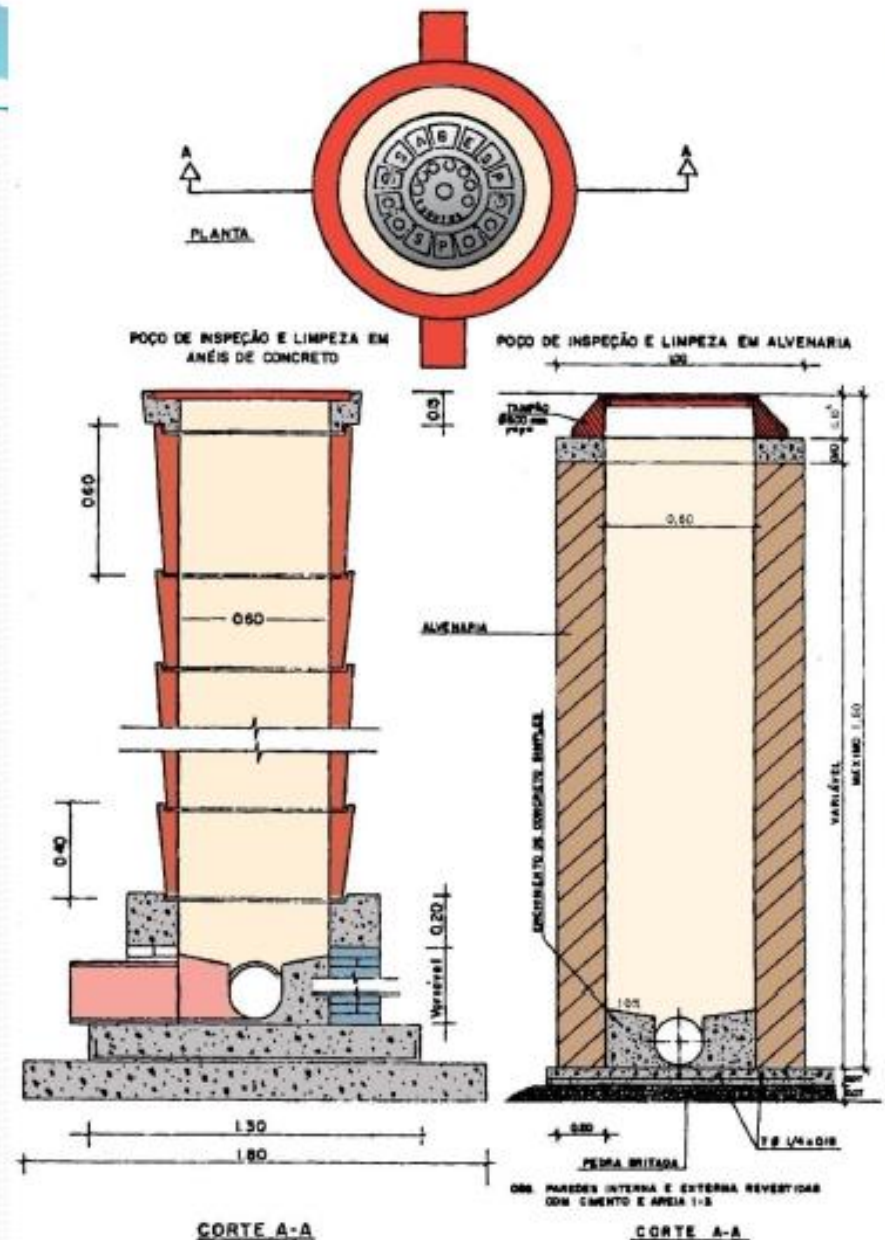
Orgãos acessórios - TIL

- Usado em substituição de PV nos seguintes casos:
 - Reunião de coletores com até três entradas e uma saída;
 - Nos postos com degrau de altura inferior a 0,60 m;
 - A jusante de ligações prediais cujas contribuições podem causar problemas de manutenção;
 - Em profundidades de até 3,0 m;
 - Materiais: Alvenaria ou concreto armado;
 - Alvenaria: profundidade de até 1,8 m;
 - Aduelas de concreto: profundidade de até 3,0 m.

Tubo de Inspeção e Limpeza (TIL)



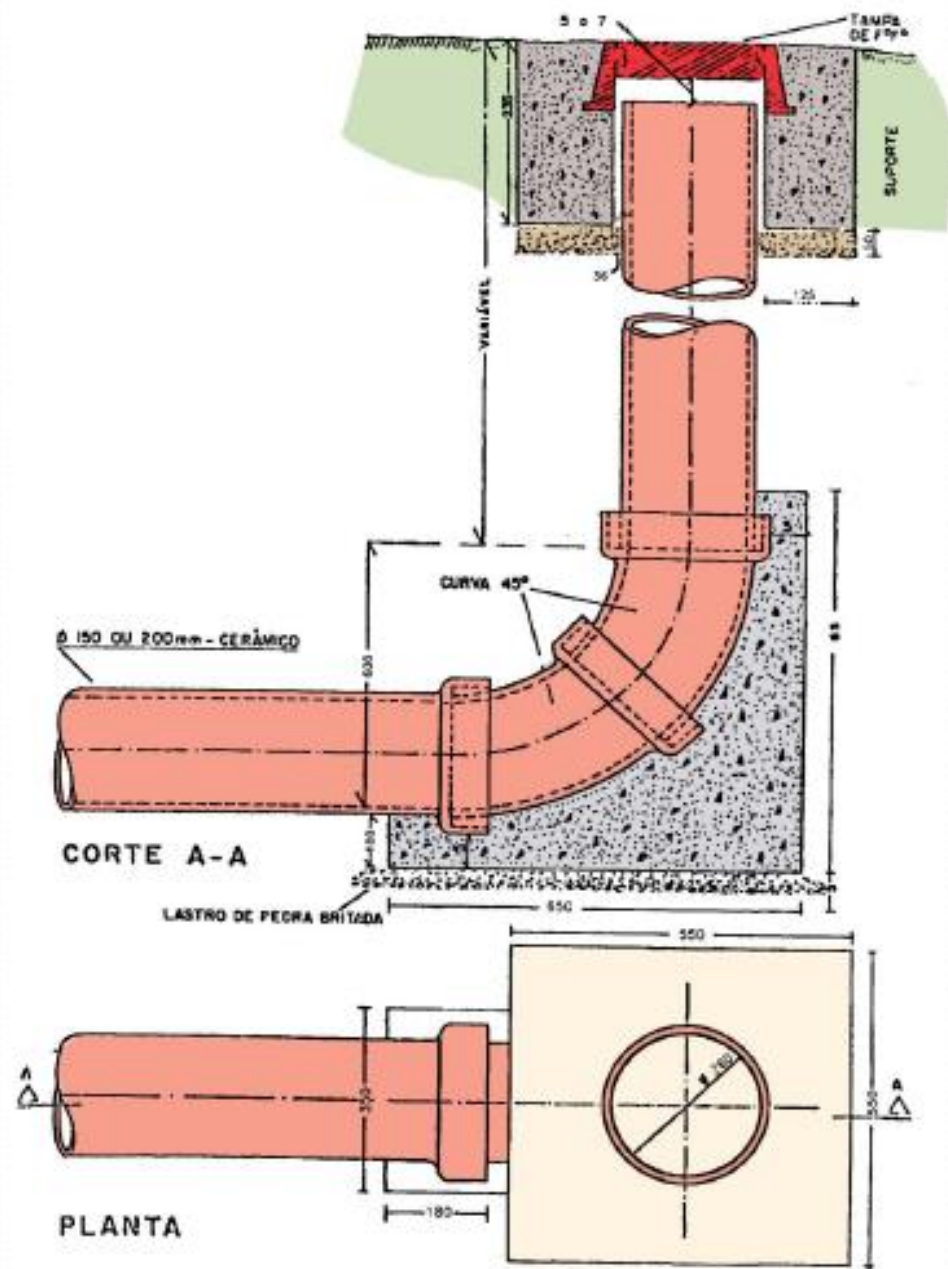
TIL (plástico)



TIL (concreto)

TIL (alvenaria)

Terminal de Limpeza (TL)



REDES COLETORAS

Orgãos acessórios - CP

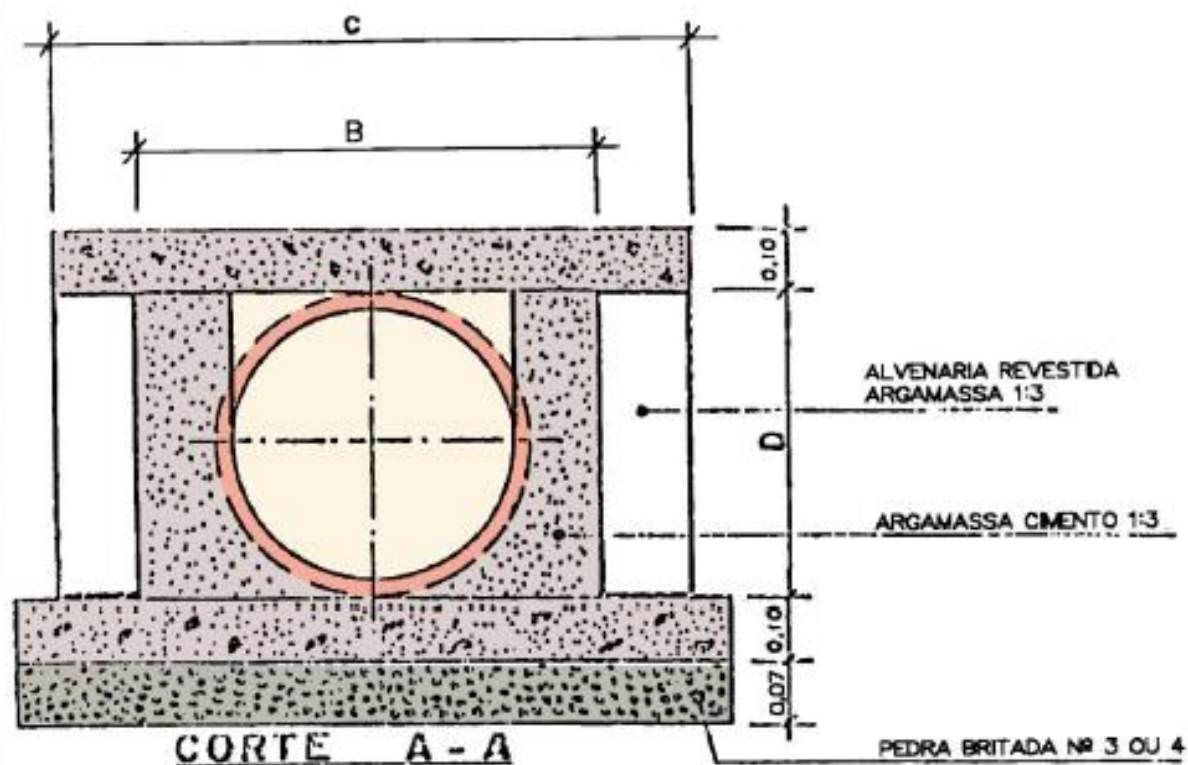
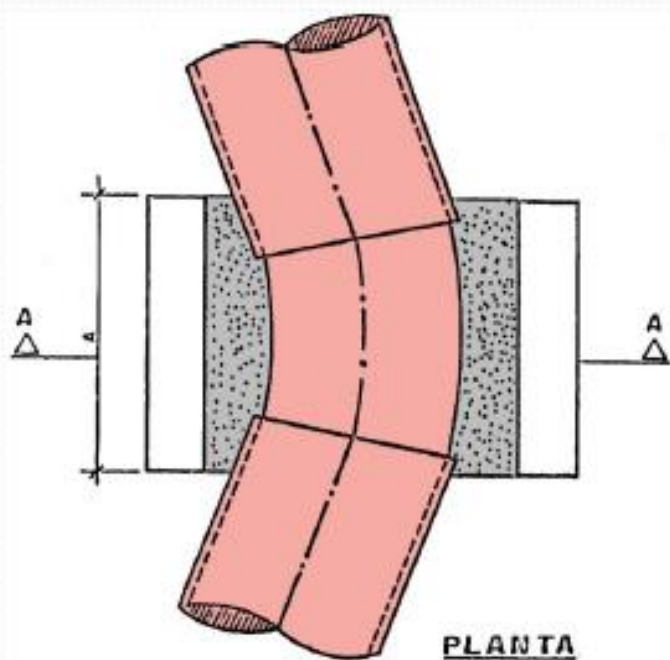
- Para a construção de uma única caixa:
 - Ângulo de mudança de direção: 45° .
- Para a construção de duas ou mais caixas:
 - Somatória dos ângulos das caixas em relação a horizontal a partir do PV ou TIL não deve ser maior que 45° .
- Condições de execução:
 - Declividade de montante maior ou igual a 0,007 m/m, para diâmetro de 150 mm, e 0,005 m/m, para diâmetro de 200 mm, com exceção dos pontos de cabeceira.

REDES COLETORAS

Orgãos acessórios - CP

- CP pode ser substituída por conexões nas mudanças de declividade e direção;
 - Coincidem com as deflexões;
 - Devem ser ancoradas.
- Posições de CP e conexões devem ser cadastradas;
- SABESP: não são mais utilizadas;
 - Rejeição: fora de especificações e dificuldades de localização.

Caixa de Passagem (CP)



ϕ (mm)	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)
150	0,45	0,23	0,53	0,18
200	0,60	0,30	0,60	0,24
250	0,75	0,38	0,68	0,30
300	0,90	0,45	0,75	0,36

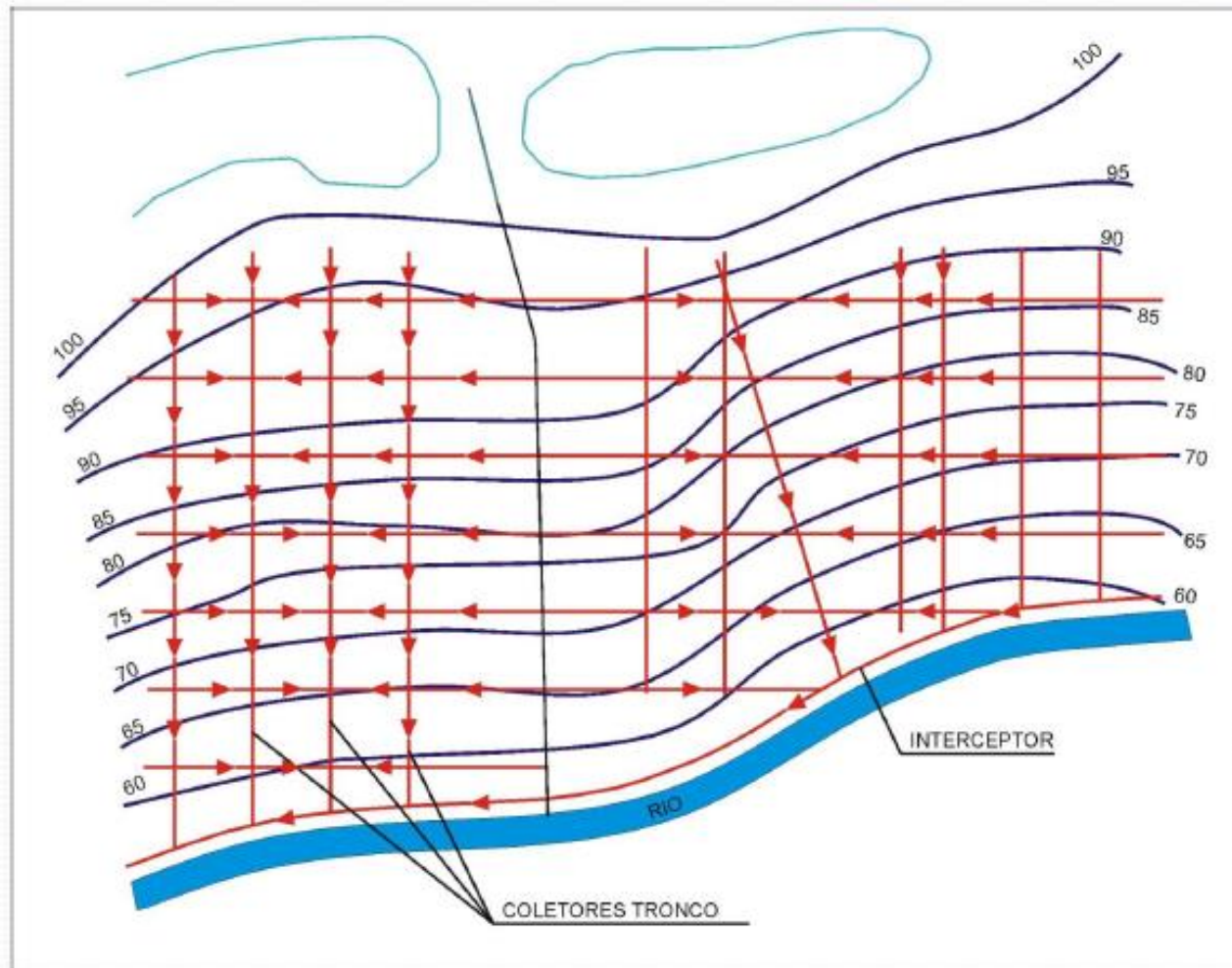
REDES COLETORAS

Traçados de rede - Perpendicular

- Cidades circundadas ou atravessadas por cursos d'água;
- Vários coletores tronco independentes;
- Traçado mais ou menos perpendicular ao curso d'água;
- Interceptor marginal recebe os coletores;
- Coletores principais perpendiculares ao interceptor.

REDES COLETORAS

Traçados de rede - Perpendicular



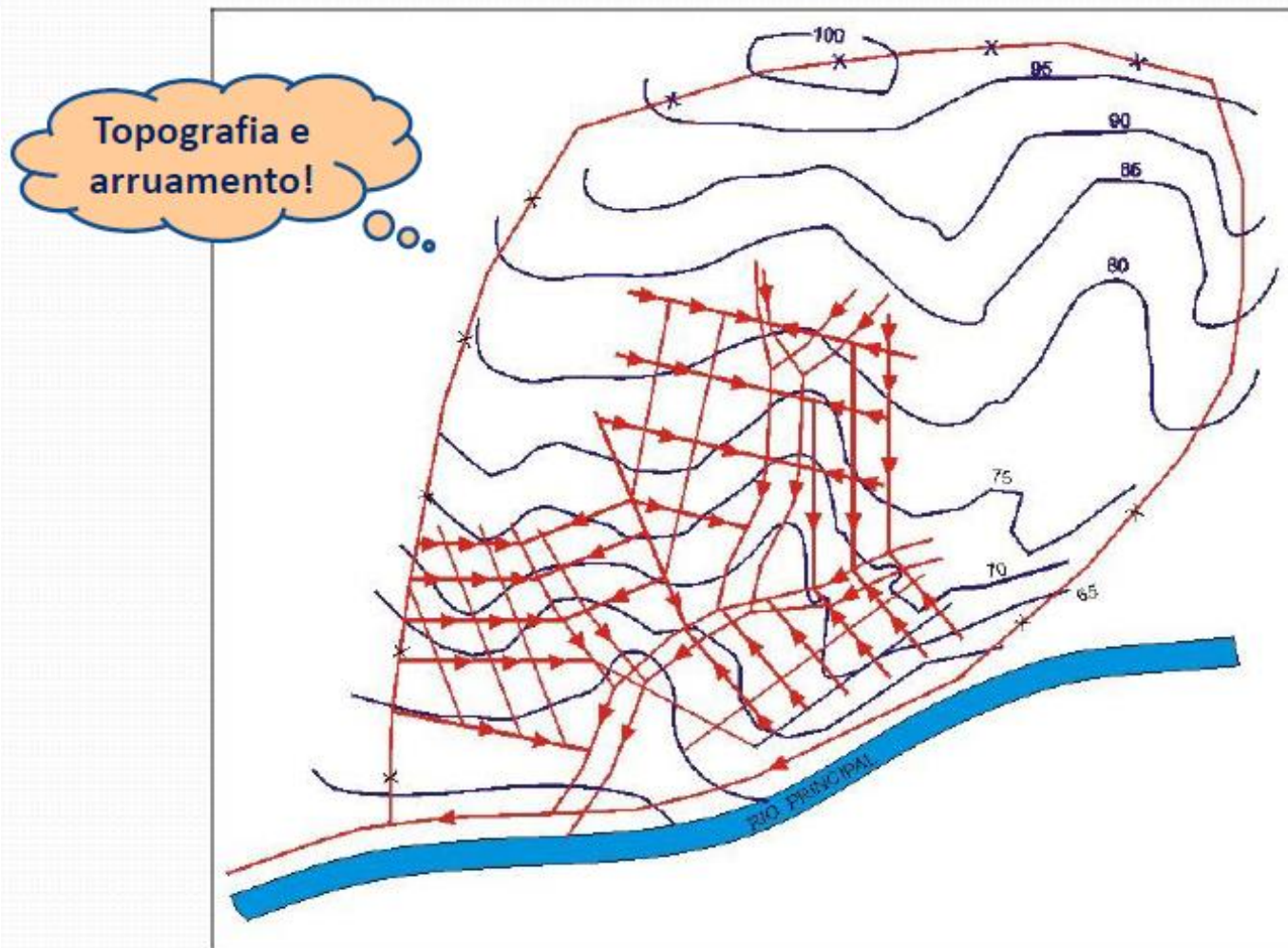
REDES COLETORAS

Traçados de rede - Leque

- Traçado próprio de terrenos acidentados;
- Coletores tronco – fundo do vale, parte mais baixa da bacia;
- Alimentação pelos coletores secundários;
- Traçado leque ou espinha de peixe;
- Exemplo: Cidade de São Paulo

REDES COLETORAS

Traçados de rede - Leque



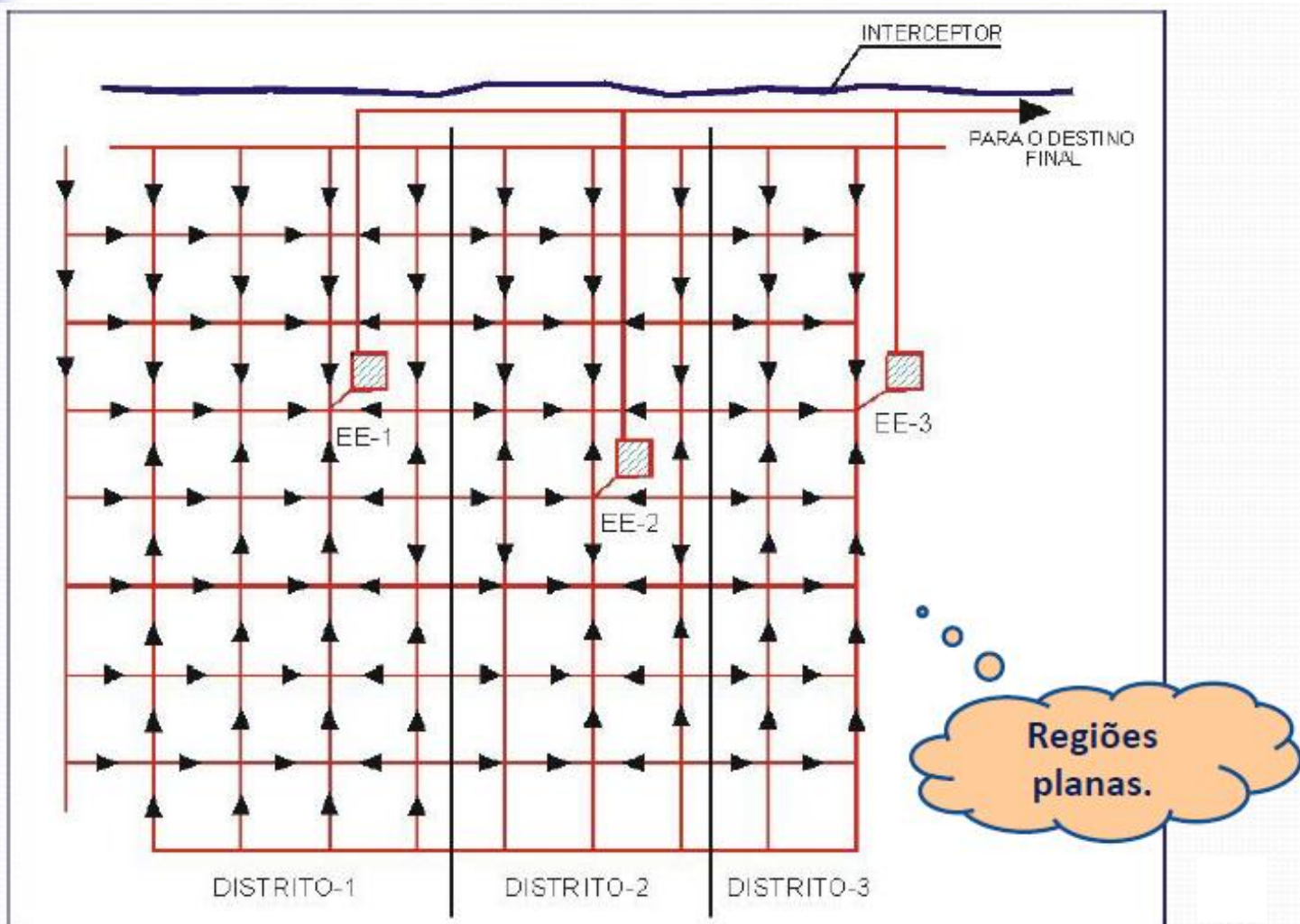
REDES COLETORAS

Traçados de rede – Radial ou distrital

- Característico de cidades planas;
- Divisão da cidade: distritos ou setores independentes;
- Cada setor – criação de pontos baixos para direcionamento do esgoto;
- Ponto mais baixo: recalque para distrito vizinho ou destino final;
- Exemplos: Santos, Guarujá e Rio de Janeiro.

REDES COLETORAS

Traçados de rede – Ramal ou distrital



REDES COLETORAS DE ESGOTO

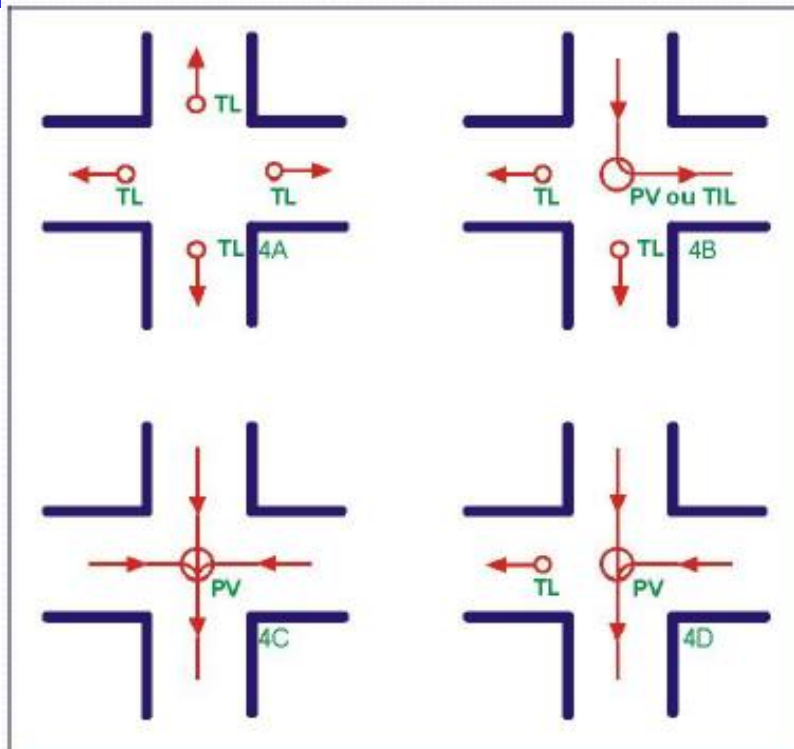
Acessórios x traçado

■ Traçado:

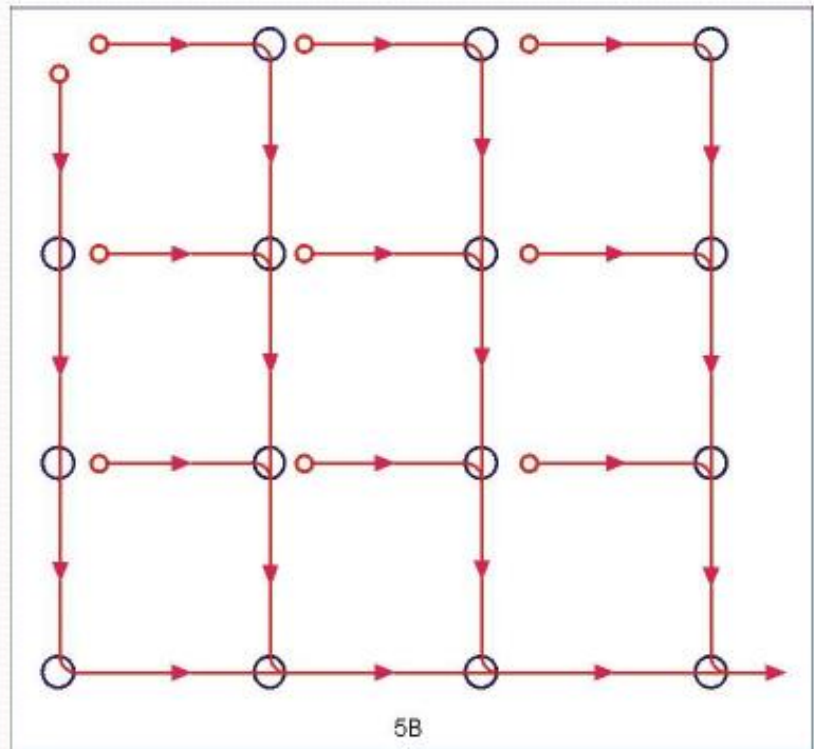
- Início nas cotas mais altas e instalação de um TL;
- Seguir ao máximo às declividades do terreno evitando-se declividades contrárias a da topografia, salvo em trechos curtos onde não há opção;
- O PV e TIL podem receber mais de uma ligação afluente, mas devem apresentar somente **uma saída**;
- Deve-se reduzir a mínimo possível o número de bacias de drenagem, minimizando-se assim também o número de elevatórias e a extensão de interceptores.

REDES COLETORAS DE ESGOTO

Acessórios x traçado



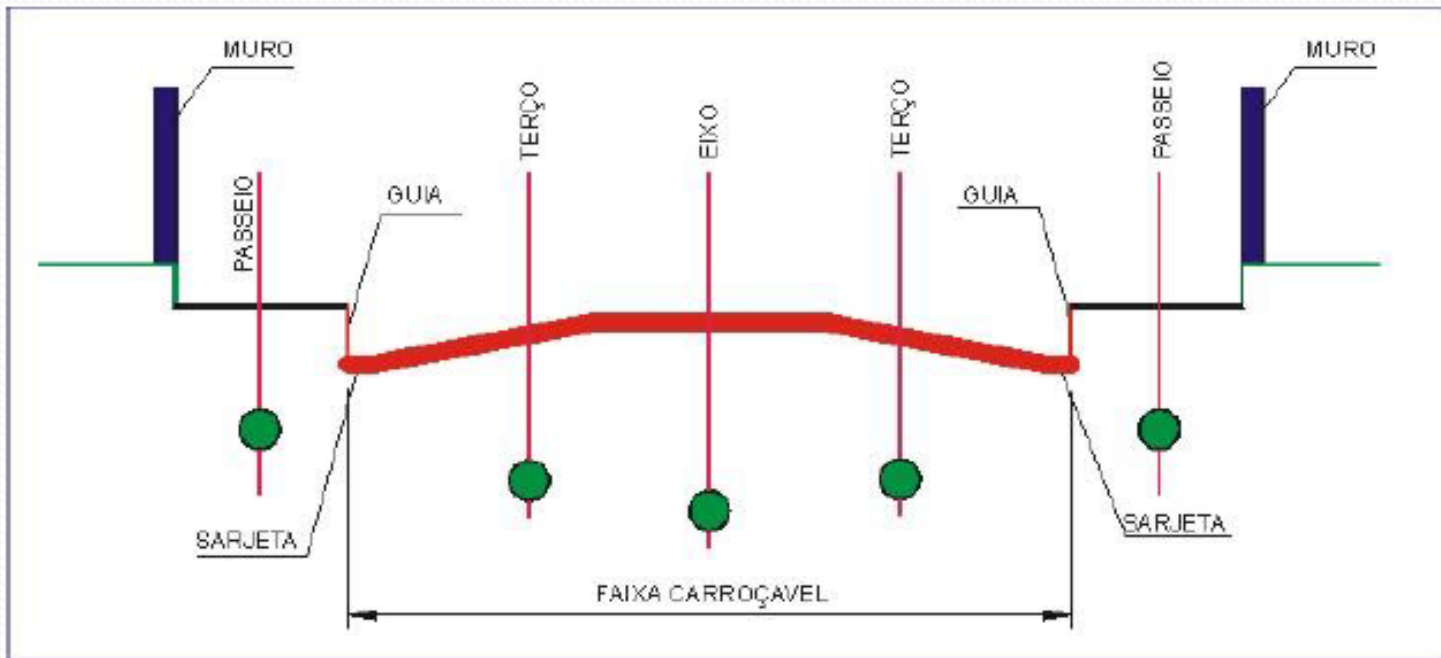
Orientação do fluxo dos esgotos
nos órgãos acessórios



Traçado de rede conforme
orientação do fluxo

REDES COLETORAS DE ESGOTO

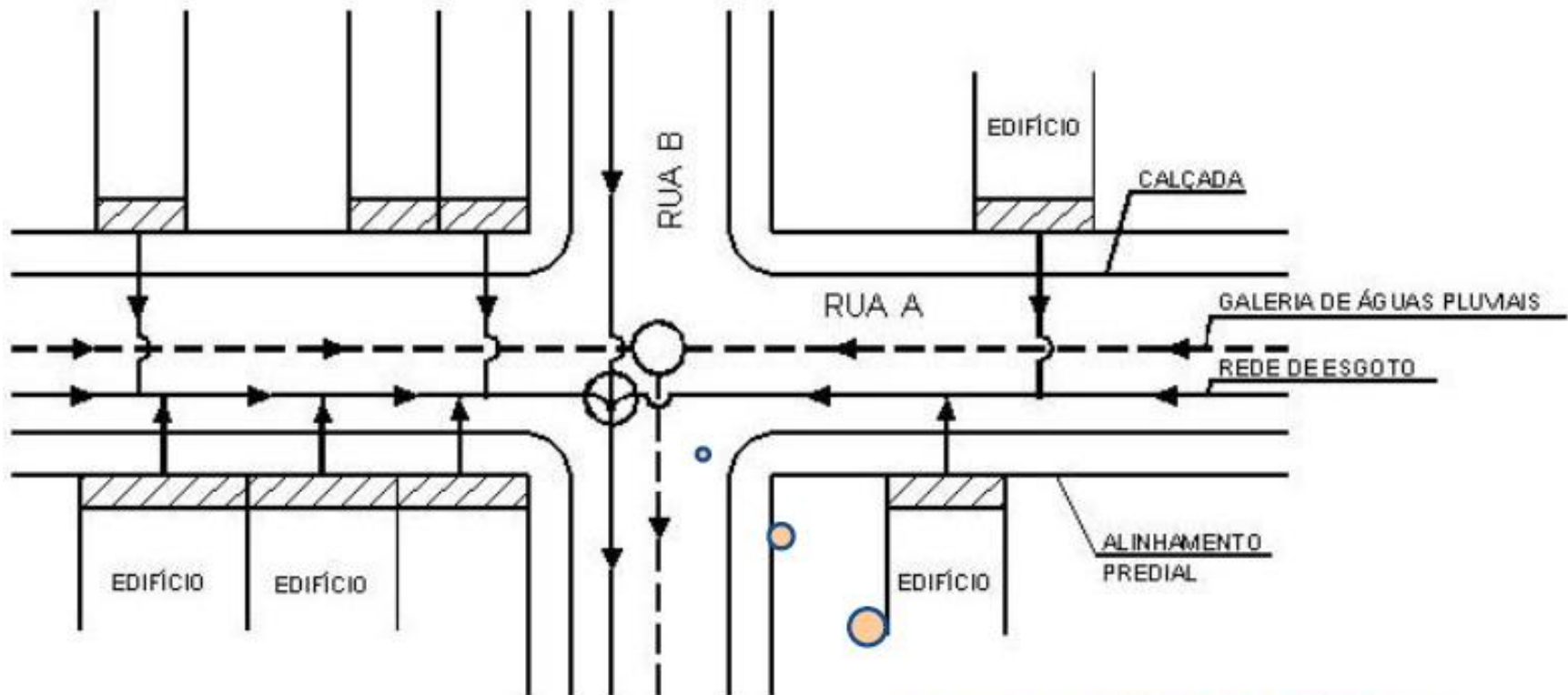
Localização da tubulação na via pública



Depende dos seguintes fatores: interferências (galerias de águas pluviais, cabos telefônicos e elétricos, adutoras, redes de água, tubulação de gás); profundidade dos coletores; tráfego; largura da rua; soleiras dos prédios, etc.

REDES COLETORAS DE ESGOTO

Localização da tubulação na via pública em planta



A distância vertical entre tubulações que se cruzam deve ser igual ou superior a 0,5 m.

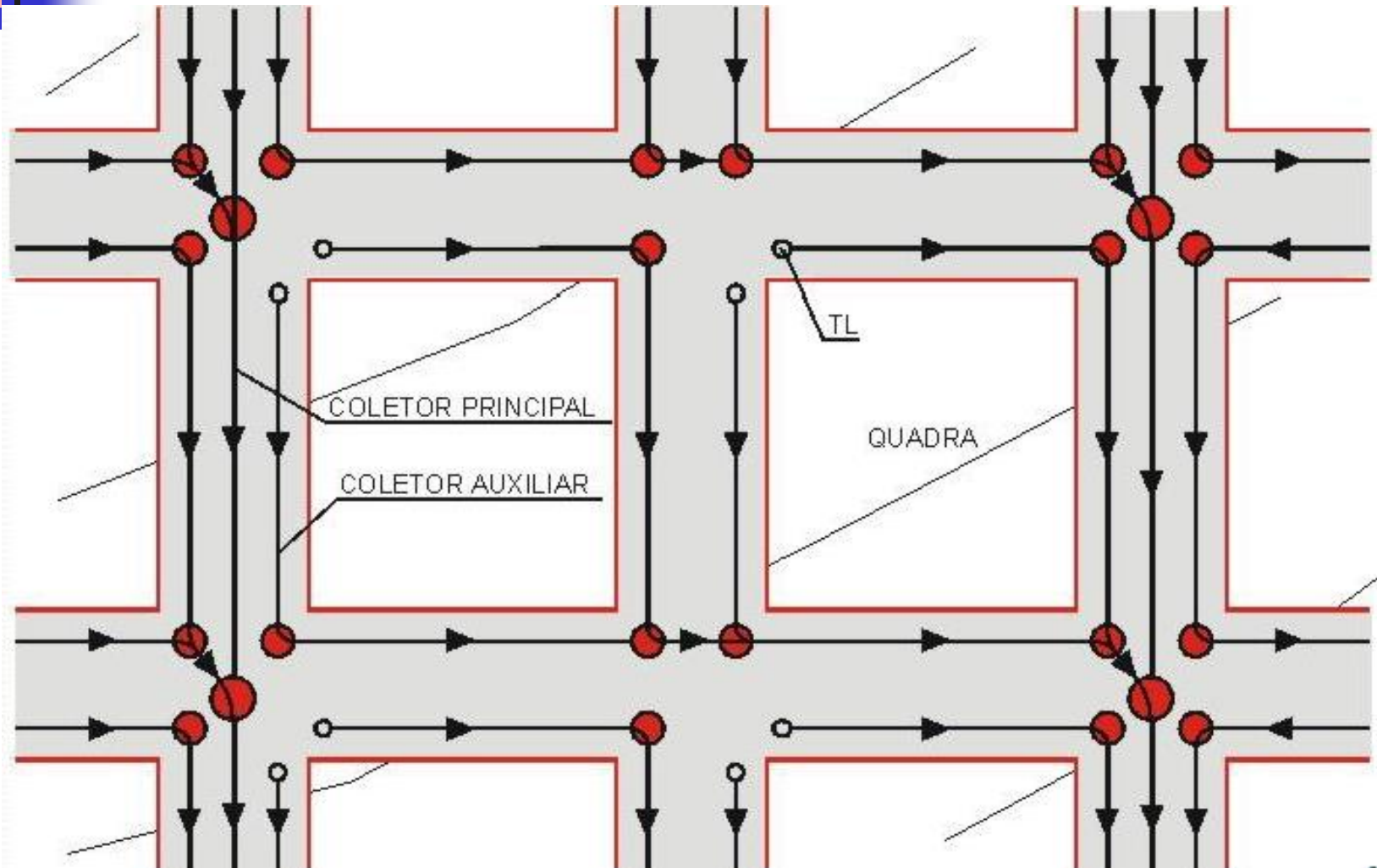
REDES COLETORAS DE ESGOTO

Rede dupla – Condições de uso

- Vias com tráfego intenso;
- Vias com largura entre os alinhamentos dos lotes maior ou igual a 14 m para ruas asfaltadas e 18 m para ruas de terra;
- Vias com interferência que impossibilitam o assentamento do coletor no leito carroçável, ou que constituam empecilho a ligações prediais.
 - Nesses casos, a tubulação poderá ser assentada no passeio desde que a sua largura seja de preferência superior a 2,0 ou 2,5 m, dependendo do tipo de solo, e que não existam interferências que dificultem a obra.

REDES COLETORAS DE ESGOTO

Rede dupla em paralelo com coletor tronco ou profundo



REDES COLETORAS DE ESGOTO

Rede simples – Condições de uso

- Utilizadas quando não ocorrer nenhum dos casos citados anteriormente;
- Os coletores serão lançados no eixo carroçável, ou no terço do eixo carroçável. Caso um dos lados da rua existam soleiras negativas, o coletor deverá ser lançado no terço correspondente.

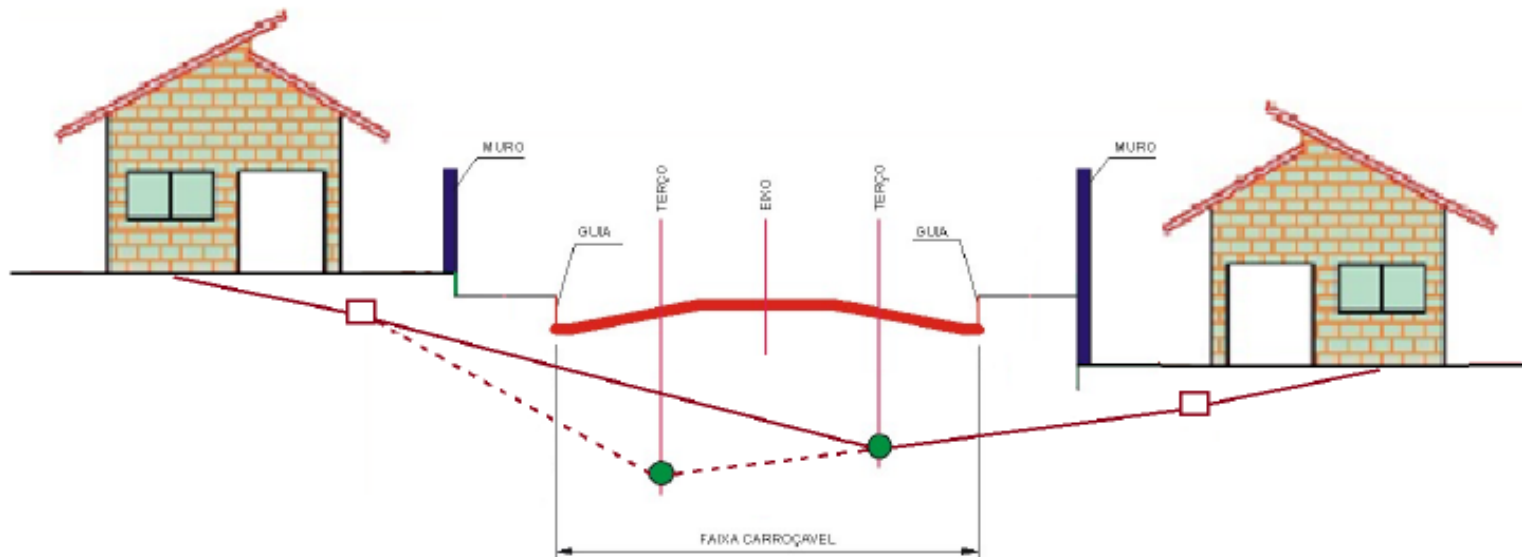
REDES COLETORAS DE ESGOTO

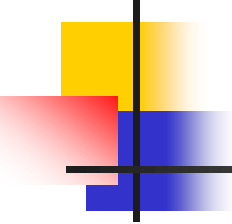
Rede simples – Condições de uso

Posicionada do lado da soleira negativa, a rede fica mais rasa

Soleira Positiva

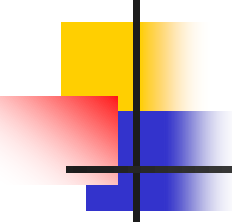
Soleira Negativa





INTERCEPTORES

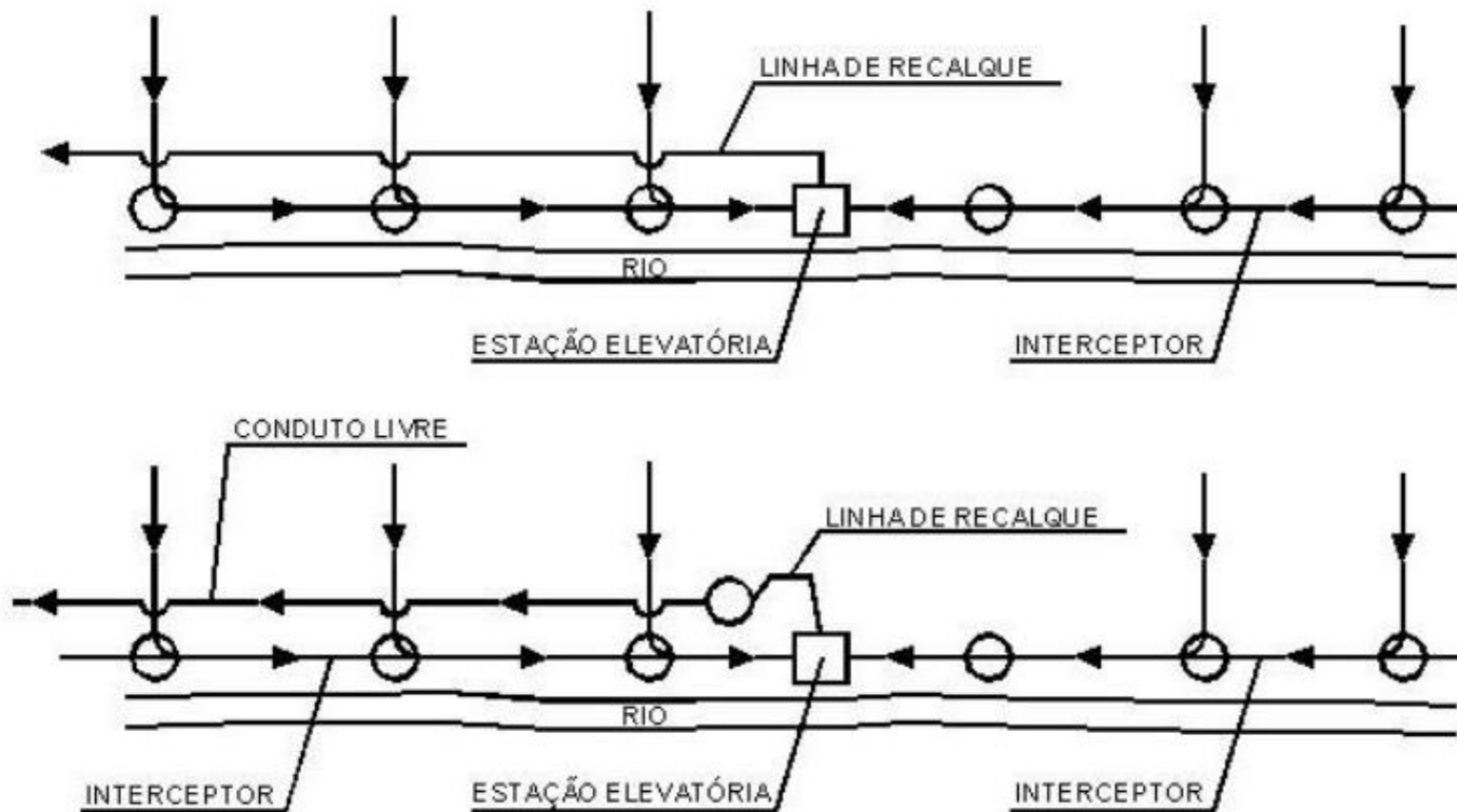
- Após definição do traçado da rede coletora e ponto de lançamento;
- Consequência da rede coletora;
- Grande número de casos – fundos de vales não urbanizados e terrenos particulares;
 - Faixa a disposição dos serviços de esgoto: 4-8 m;
 - Processos de desapropriação ou servidão;
- Traçado – minimização de áreas a serem desapropriadas;

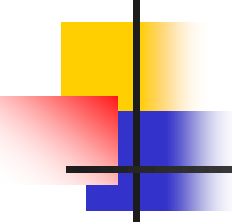


INTERCEPTORES

- Interferências de projetos – tubulações de grande porte;
 - Transposição de cursos d'água ou galerias de águas pluviais;
 - Utilização de sifões invertidos – quando não houver possibilidade de aprofundar o interceptor;
 - Grandes profundidades – vantagem para construção de elevatórias – alternativas:
 - Elevatória atendendo dois ramos de interceptores que para ela convergem (recalque até a ETE);
 - Simples elevação até cota mínima para transporte em conduto livre.

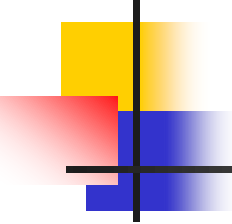
INTERCEPTORES





SISTEMAS ALTERNATIVOS

- Sistema condominial de esgoto;
- Redes pressurizadas;
- Redes à vácuo;
- Dispositivo gerador de descarga.



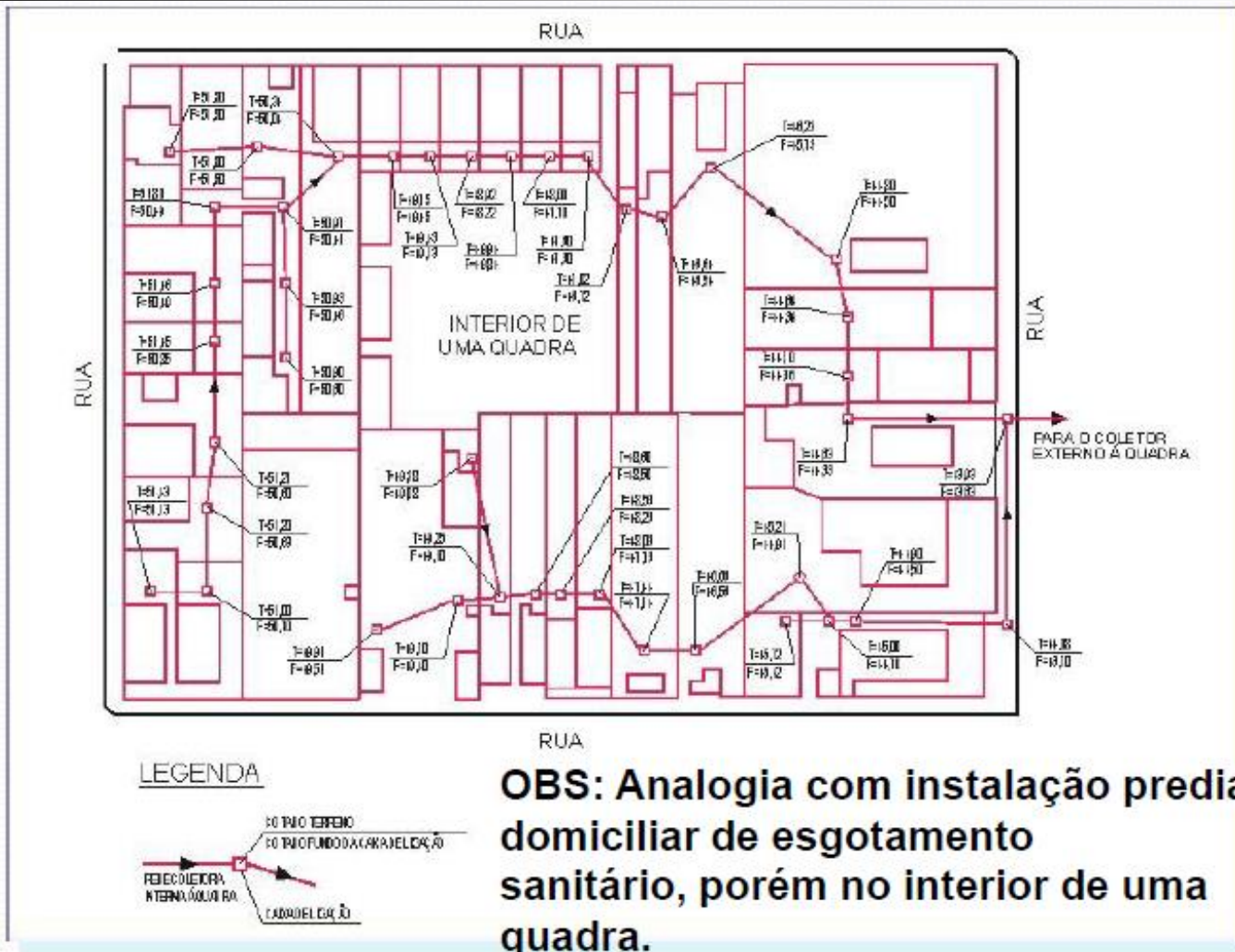
SISTEMAS ALTERNATIVOS

Sistema condominial

- Origem: Rio Grande do Norte
- Características:
 - Outra forma de concepção de traçado de redes;
 - Formação de condomínio;
 - Operação e manutenção: Condomínio;
 - Dimensionamento hidráulico: Convencional;
 - Declividade mínima: 0,006 m/m

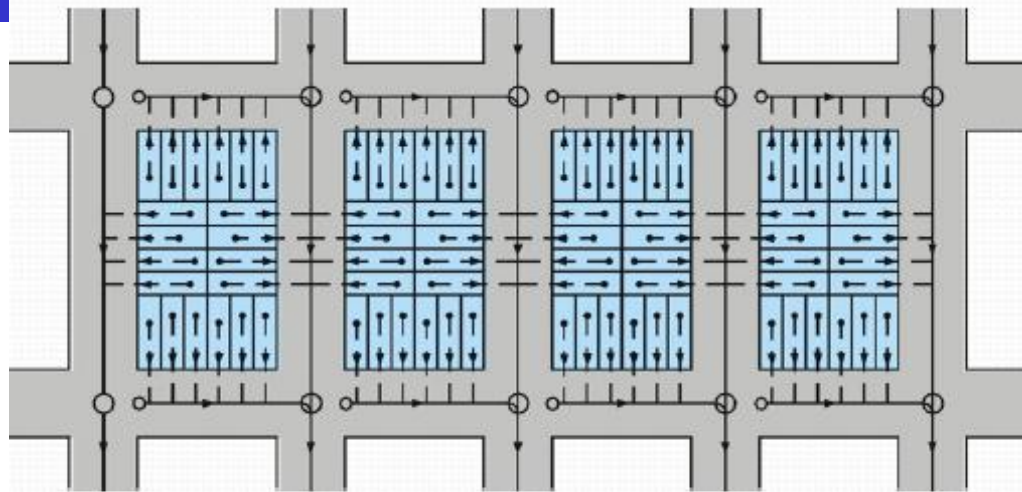
SISTEMAS ALTERNATIVOS

Sistema condominial



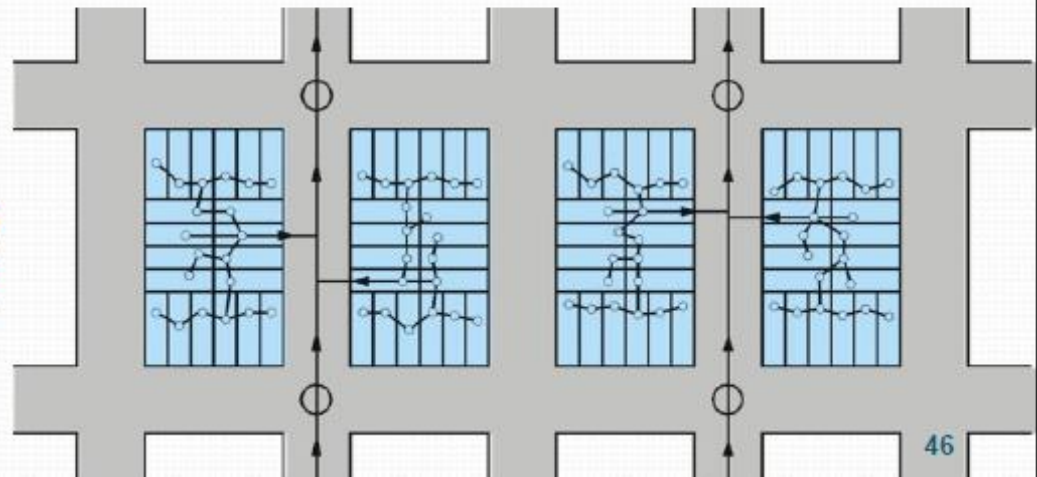
SISTEMAS ALTERNATIVOS

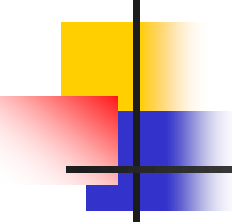
Sistema condominial



Sistema
convencional

Sistema
condominial



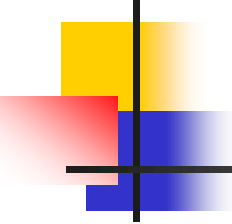


SISTEMAS ALTERNATIVOS

Sistema condominial

■ Características:

- Diâmetro da ligação ao ramal condominial: 100 mm, com declividade de 1 %;
- Diâmetro mínimo do ramal condominial: 100 mm, com declividade mínima de 0,006 m/m;
- Utilização de caixas de inspeção no interior das quadras, com recobrimento mínimo de 0,30 m.



SISTEMAS ALTERNATIVOS

Sistema condominial

■ Vantagens:

- Menor extensão das ligações prediais e coletores públicos;
- Baixo custo de construção dos coletores, cerca de 57 % mais econômicos que os convencionais;
- Custo menor de operação;
- Maior participação dos usuários.

SISTEMAS ALTERNATIVOS

Sistema condominial

■ Desvantagens:

- Uso indevido dos coletores de esgoto, tais como, lançamento de águas pluviais e resíduos sólidos urbanos podem comprometer seu funcionamento;
- Menor atenção na operação e manutenção dos coletores por parte das concessionárias;
- Coletores assentados em lotes particulares, podendo haver dificuldades na inspeção, operação e manutenção pelas empresas que operam o sistema;
- O êxito desse sistema depende fundamentalmente dos usuários (treinamento, comunicação explicação e persuasão).

SISTEMAS ALTERNATIVOS

Redes pressurizadas e à vacuo

- Topografia adequada – preferencialmente por gravidade;
- Utilizado em casos onde a topografia é desfavorável – linhas de recalque ou elevatórias;
 - Lençol freático alto;
 - Solo estruturalmente instável ou rochoso.
- Melhoramento destes tipos de sistemas – obtenção de dados operacionais, pesquisa bibliográfica e consulta aos fabricantes de equipamentos.

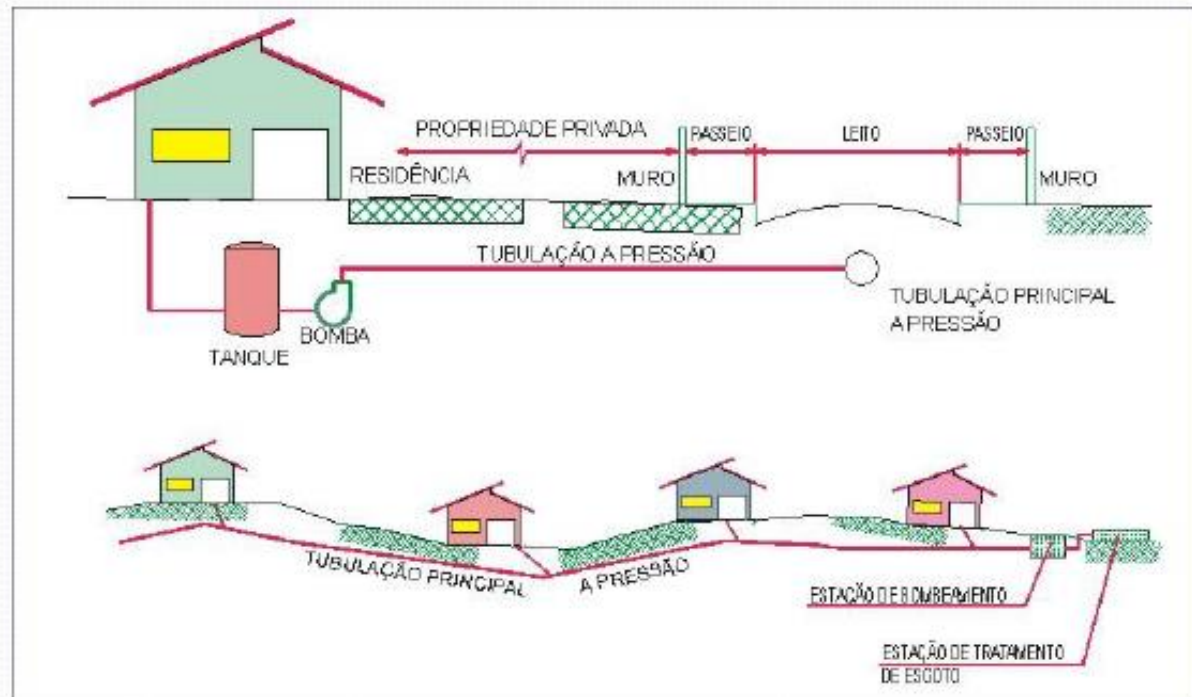
SISTEMAS ALTERNATIVOS

Redes pressurizadas

- Esgotos do estabelecimentos são coletados por gravidade;
- Lançamento em tanques – reservatório;
- Lançado periodicamente a tubulação principal sob pressão – bomba trituradora (triturar sólidos presentes no esgoto);
- Cada ponto de lançamento sob pressão – tanque e bomba;
- Redução de custos – 1 tanque e bomba para várias casas.

SISTEMAS ALTERNATIVOS

Redes pressurizadas



Parâmetros de projeto para o dimensionamento de redes pressurizadas

Parâmetros do Projeto	Faixa de Valores	Valor Típico
Bomba, kW	0,75 – 1,5	1,12
Pressão na bomba, kN/m ²	200 – 275	240
Diâmetro de recalque, mm	25 – 50	30
Diâmetro da tubulação principal, mm	50 – 300	*

SISTEMAS ALTERNATIVOS

Redes pressurizadas

- Tubulação principal sob pressão vai para coletor por gravidade ou para a ETE;
- Elimina a necessidade de pequenas elevatórias;
- Custos de manutenção e operação, além do custo inicial;
- Não existe no Brasil.

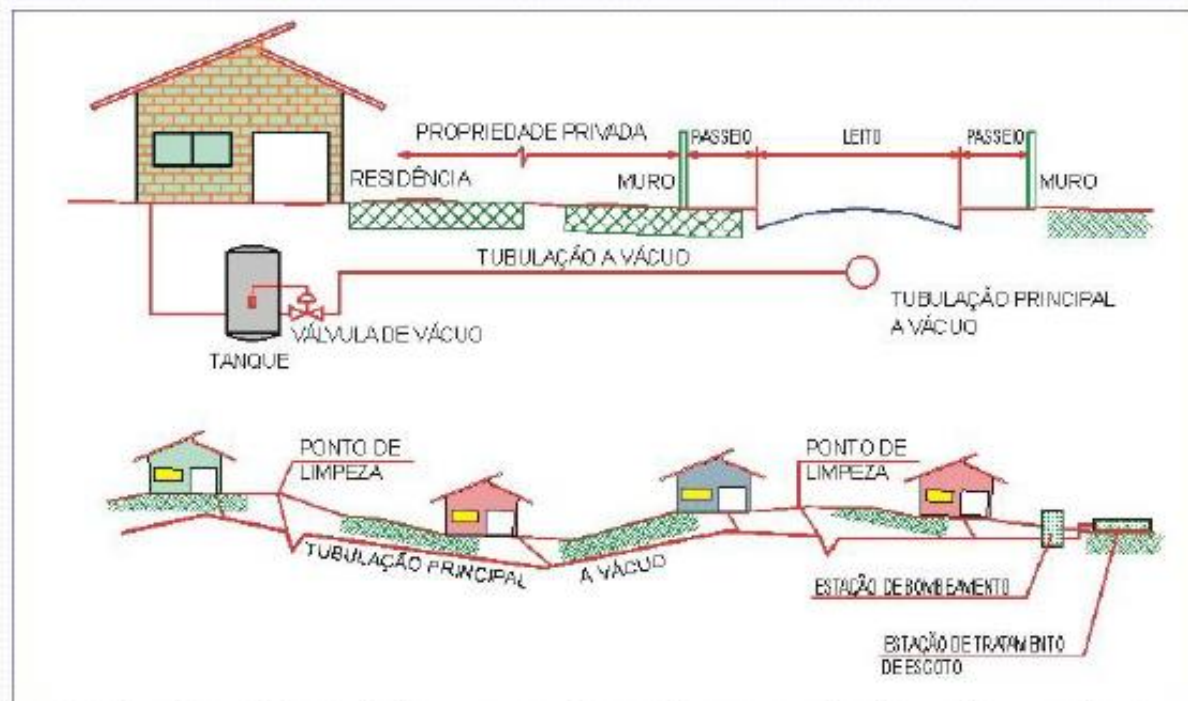
SISTEMAS ALTERNATIVOS

Redes à vácuo

- Coletor de esgoto – gravidade ao injetor de vácuo (especialmente projetado);
- Sistema fechado até tubulação principal;
- Válvula sela a linha a tubulação principal;
 - Acúmulo de esgoto a montante da válvula – abertura e fechamento programados.
- Manutenção do vácuo: estação de bombeamento à vácuo;
 - Localização: próxima a ETE ou outro ponto de lançamento.

SISTEMAS ALTERNATIVOS

Redes à vácuo



Parâmetros de projeto para o dimensionamento de redes a vácuo.

Parâmetros do Projeto	Faixa de Valores	Valor Típico
Altura do nível de água na válvula de descarga a vácuo, mm	75 – 1000	750
Diâmetro da tubulação a vácuo, mm	75 – 125	100
Vácuo mantido no tanque da elevatória, mm Hg	300 – 500	400

SISTEMAS ALTERNATIVOS

Dispositivo gerador de descarga

- Áreas planas ou com baixa declividade
 - Alto custo para implantação e operação de redes coletoras de esgotos;
 - Muito comum – cidades litorâneas;
 - Construções especiais: escoramento contínuo de valas, rebaixamento de lençol freático, fundações especiais para tubulações, etc.
 - Custos de escavação, escoramento, reaterro e recomposição da via – 80-90% dos custos de implantação;
 - Alto custo: necessidade de elevatórias;

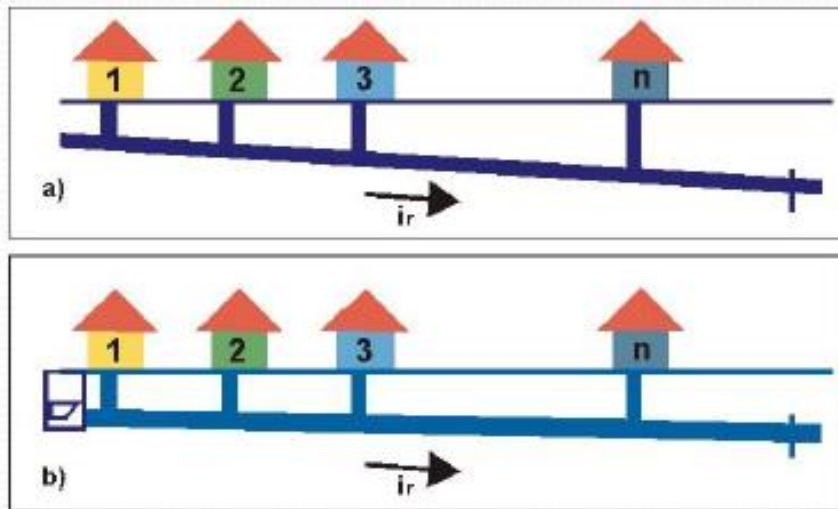
SISTEMAS ALTERNATIVOS

Dispositivo gerador de descarga

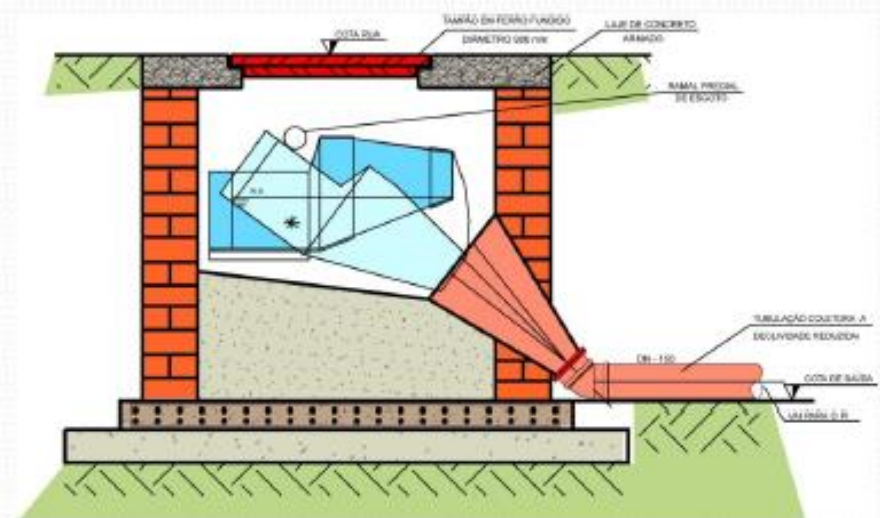
- Desenvolvimento de redes coletoras de baixa declividade
 - Declividades drasticamente reduzidas (menores que as obtidas em cálculos de dimensionamento);
 - Desenvolvimento do dispositivo gerador de descarga (DGD): Eng. Wolney Castilho Alves do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de SP;
 - Emprego na cabeceira da rede e em pontos intermediários;
 - Fenômeno de transporte hidráulico de sólidos;
 - Custo: 20-25 % menor do sistema convencional.

SISTEMAS ALTERNATIVOS

Dispositivo gerador de descarga



Concepção básica do funcionamento de redes coletoras de baixa declividade, com o uso do DGD.

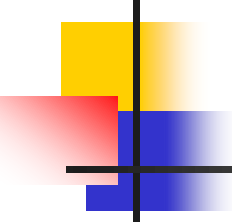


Detalhe de instalação do **DGD** na cabeceira da rede.

DISPOSITIVO GERADOR DE DESCARGA

Sistema de
Esgoto
Sanitário
Guarujá





PROFUNDIDADE DE COLETORES

- Máximas:

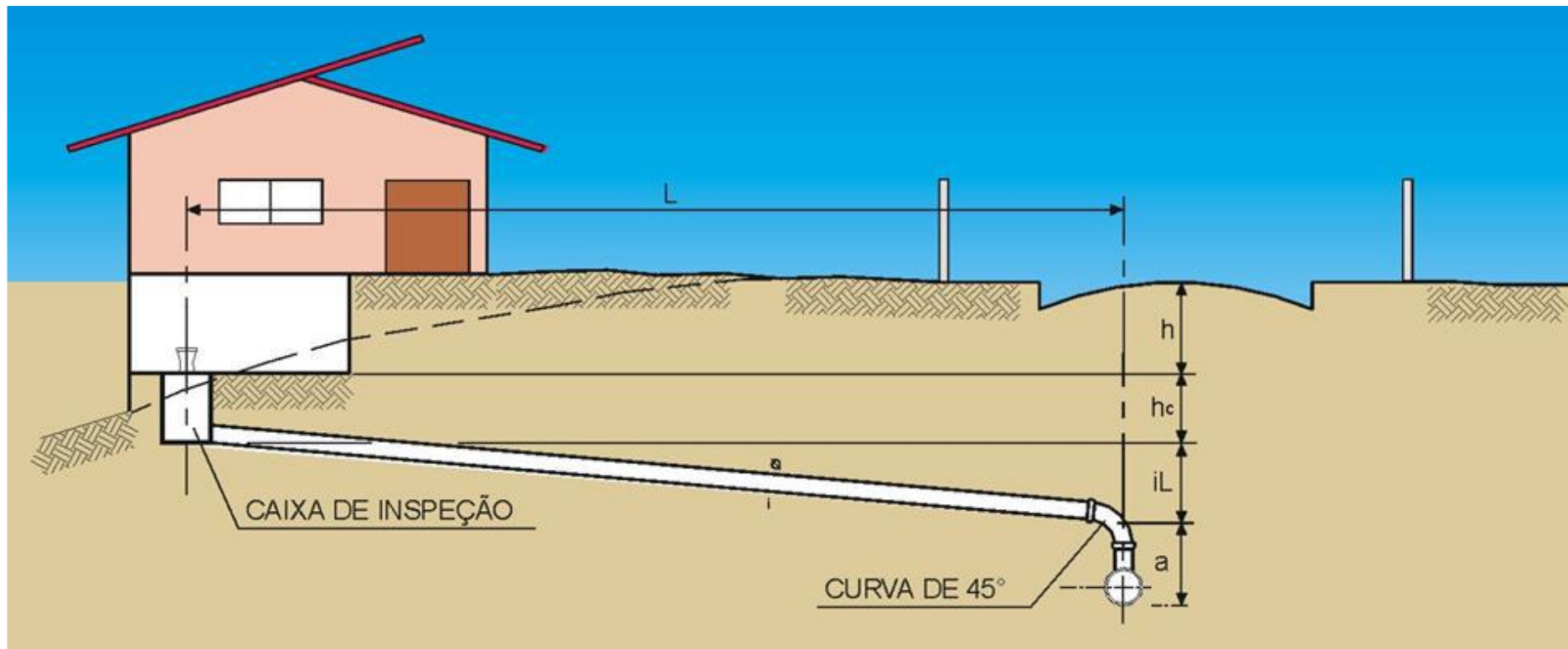
- Passeio: 2,0 – 2,5 m;
- Eixo ou terço: 3,0 – 4,0 m;
- Coletores situados abaixo de 4,0 m: projetar coletores auxiliares para receber ligações prediais.

- Mínimas:

- Proteção da tubulação;
- Permite a ligação predial.

Norma: Recobrimento mínimo de 0,90 m no leito e 0,65 m no passeio.

PROFUNDIDADE MÍNIMA DO COLETOR



PROFUNDIDADE MÍNIMA DO COLETOR

$$p = a + i.L + h + h_c$$

onde:

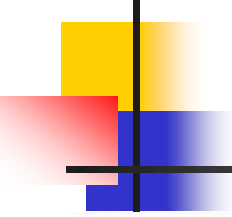
p = profundidade mínima do coletor público (m)

L = distância entre o coletor público e caixa de inspeção (m)

h = desnível entre o leito da via pública e o piso do compartimento a esgotar (m)

h_c = altura da caixa de inspeção (normalmente igual a 0,50 m)

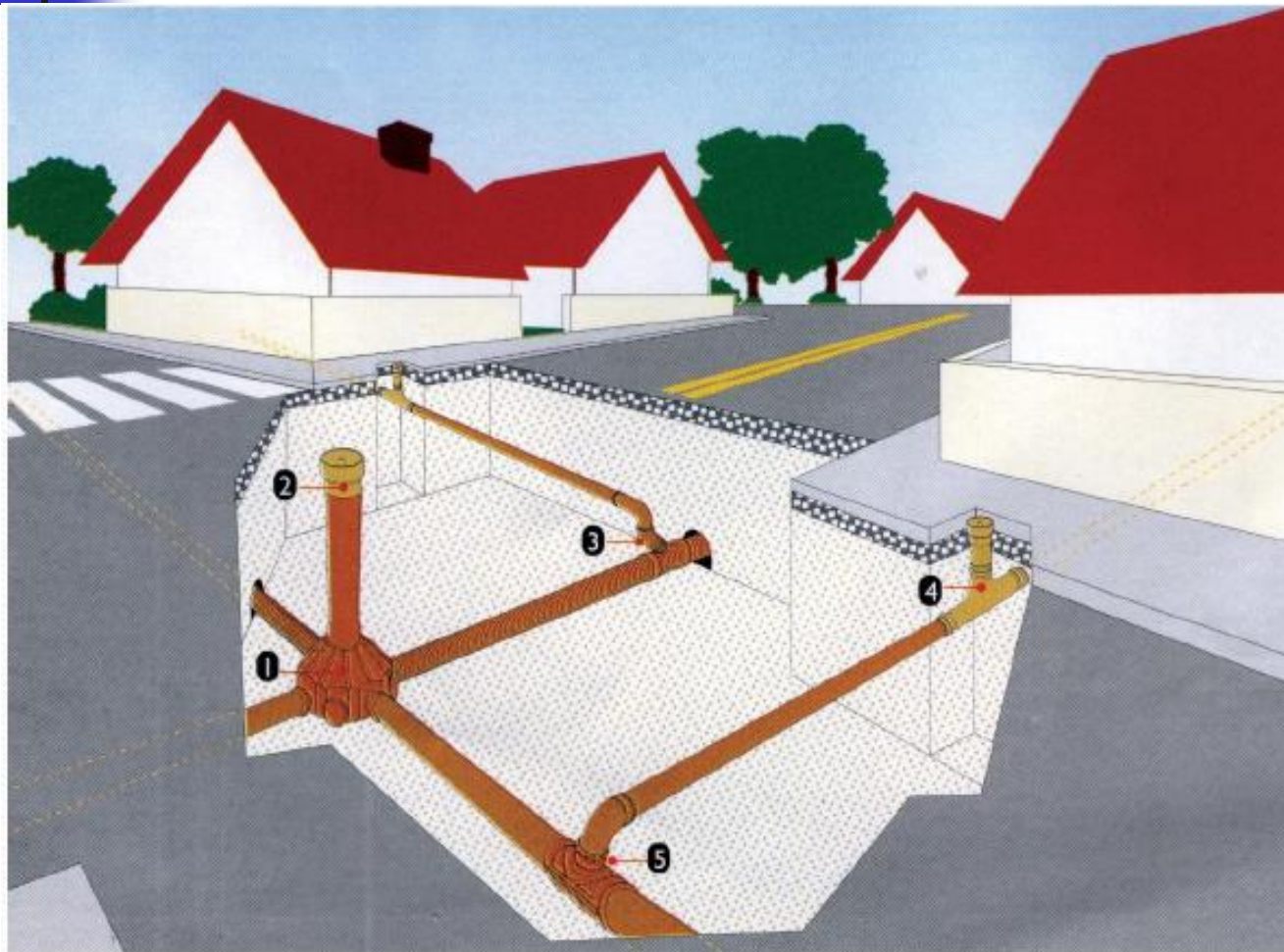
Diâmetro do coletor público (mm) \ Diâmetro do coletor predial (mm)	Valores de a (m)		
	$\varnothing 100$ $i = 2 \%$	$\varnothing 150$ $i = 0,7 \%$	$\varnothing 200$ $i = 0,5 \%$
150	0,20		
200	0,25	0,24	0,23
300	0,35	0,34	0,32
450	0,48	0,47	0,46



MATERIAIS UTILIZADOS EM TUBULAÇÕES DE ESGOTO

- **Tubos cerâmicos:** $\varnothing$ 100, 150, 200, 250, 300, 350, 375, 400 mm - junta: asfalto / elástica (redes coletoras)
- **Tubos PVC:** $\varnothing$ 100 a 400 mm - junta elástica (redes coletoras e linhas de recalque)
- **Tubos de concreto:** $\varnothing$ 400 a 2000 mm - junta elástica (coletores tronco, emissários e interceptores)
- **Tubos de ferro fundido dúctil:** $\varnothing$ 150 a 1200 mm - junta elástica (linhas de recalque)
- **Tubos de polietileno:** $\varnothing$ 63 a 1600 mm (linhas de recalque, emissários submarinos) – Conduitos forçados
- **Tubos de poliéster reforçados com fibra de vidro (PRFV):** $\varnothing$ 150 a 3000 mm - junta elástica (rede e linhas de recalque)

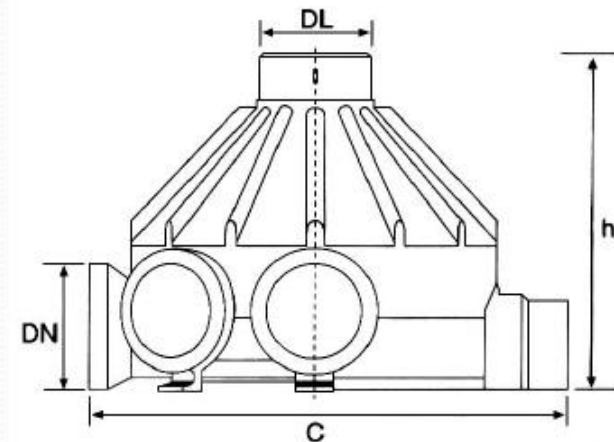
REDE COLETORA – EXEMPLO 100% PLÁSTICO



- 1 • Til Radial Rede
- 2 • Tampão para Til
- 3 • Ligação domiciliar com Junção 45°
- 4 • Til Ligação Predial
- 5 • Ligação domiciliar com Selim

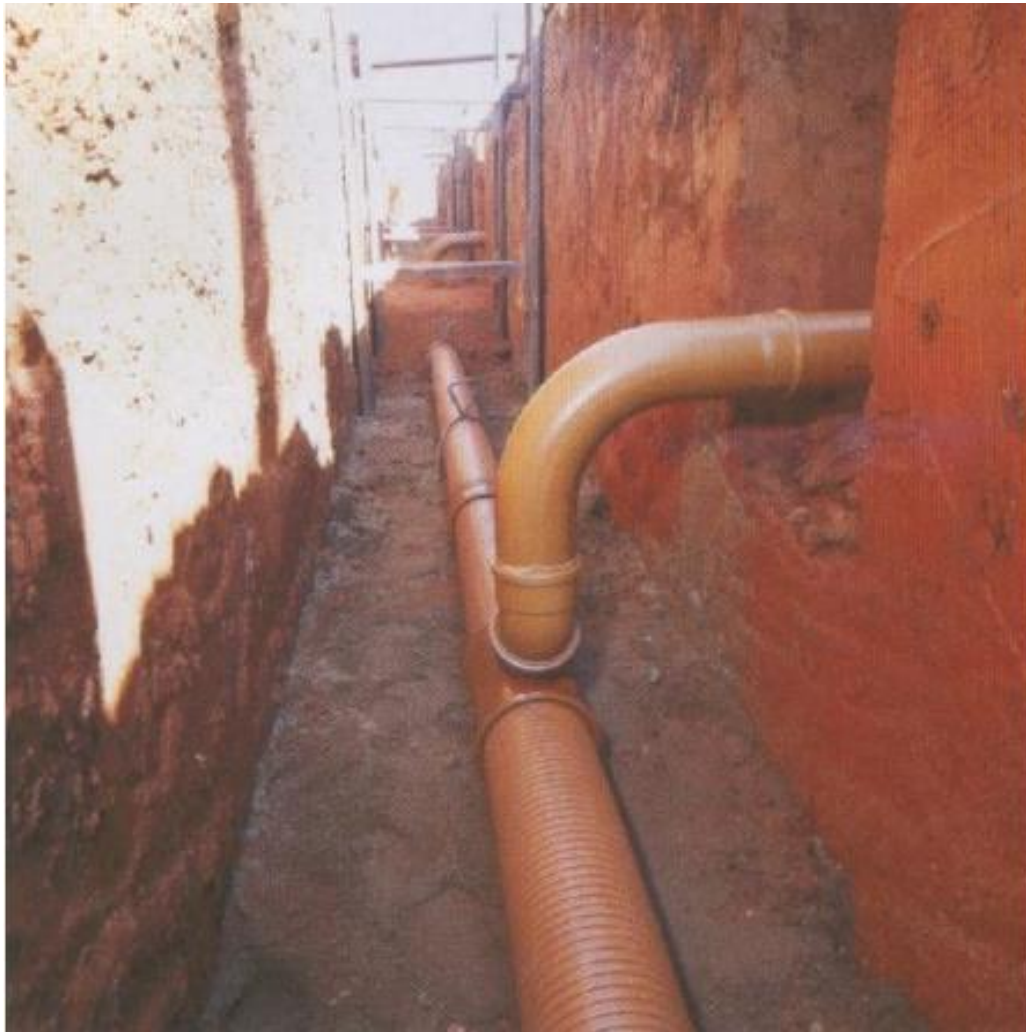
MATERIAIS UTILIZADOS EM TUBULAÇÕES DE ESGOTO

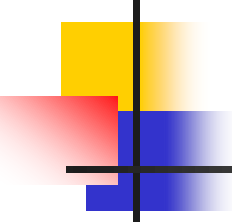
■ TIL radial



DN nº	DL nº	C mm	h mm	Massa kg
150	200	870	610	16
*300	250	1000	980	45
* Possui 3 entradas				

LIGAÇÃO PREDIAL



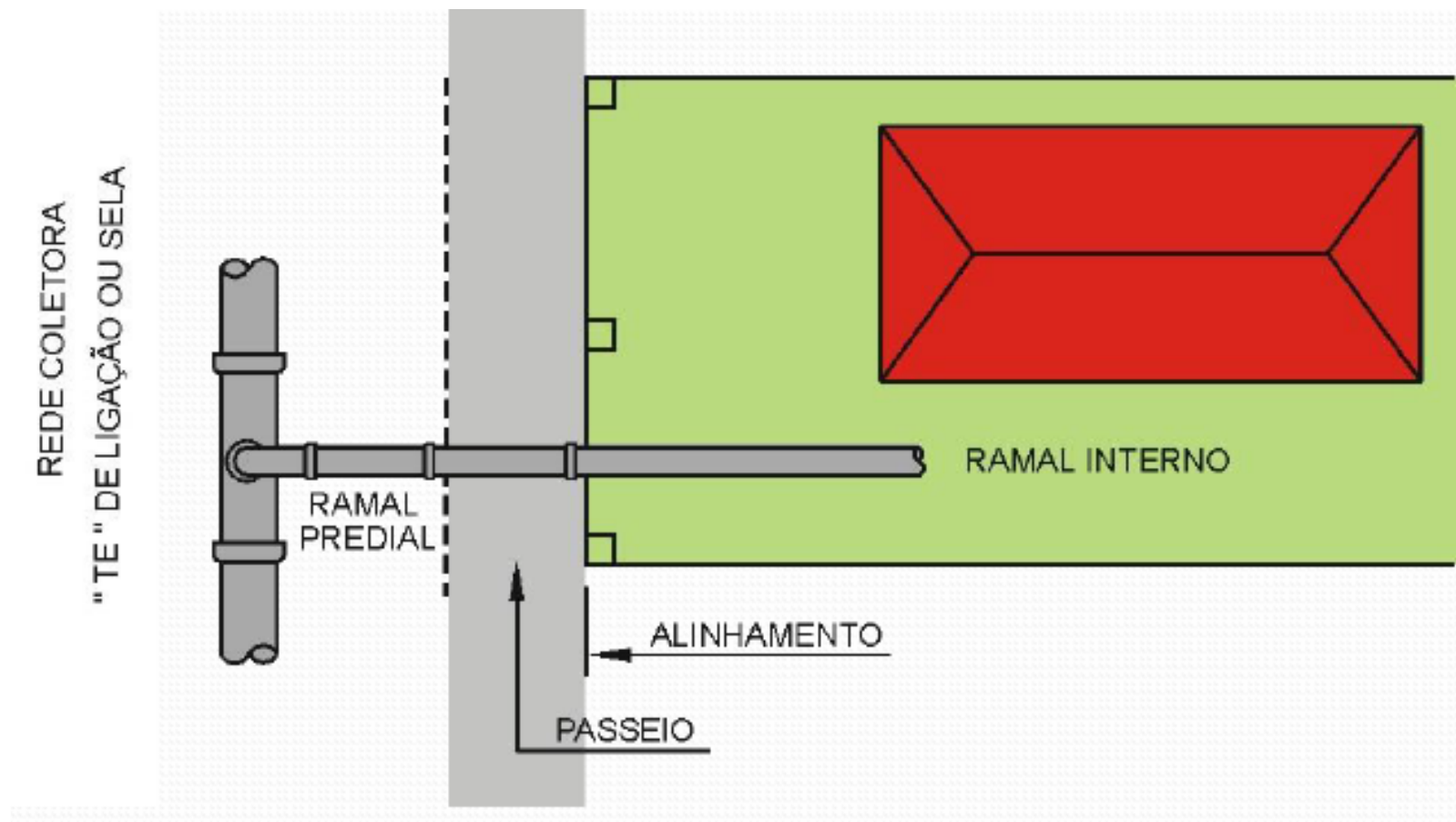


LIGAÇÃO PREDIAL

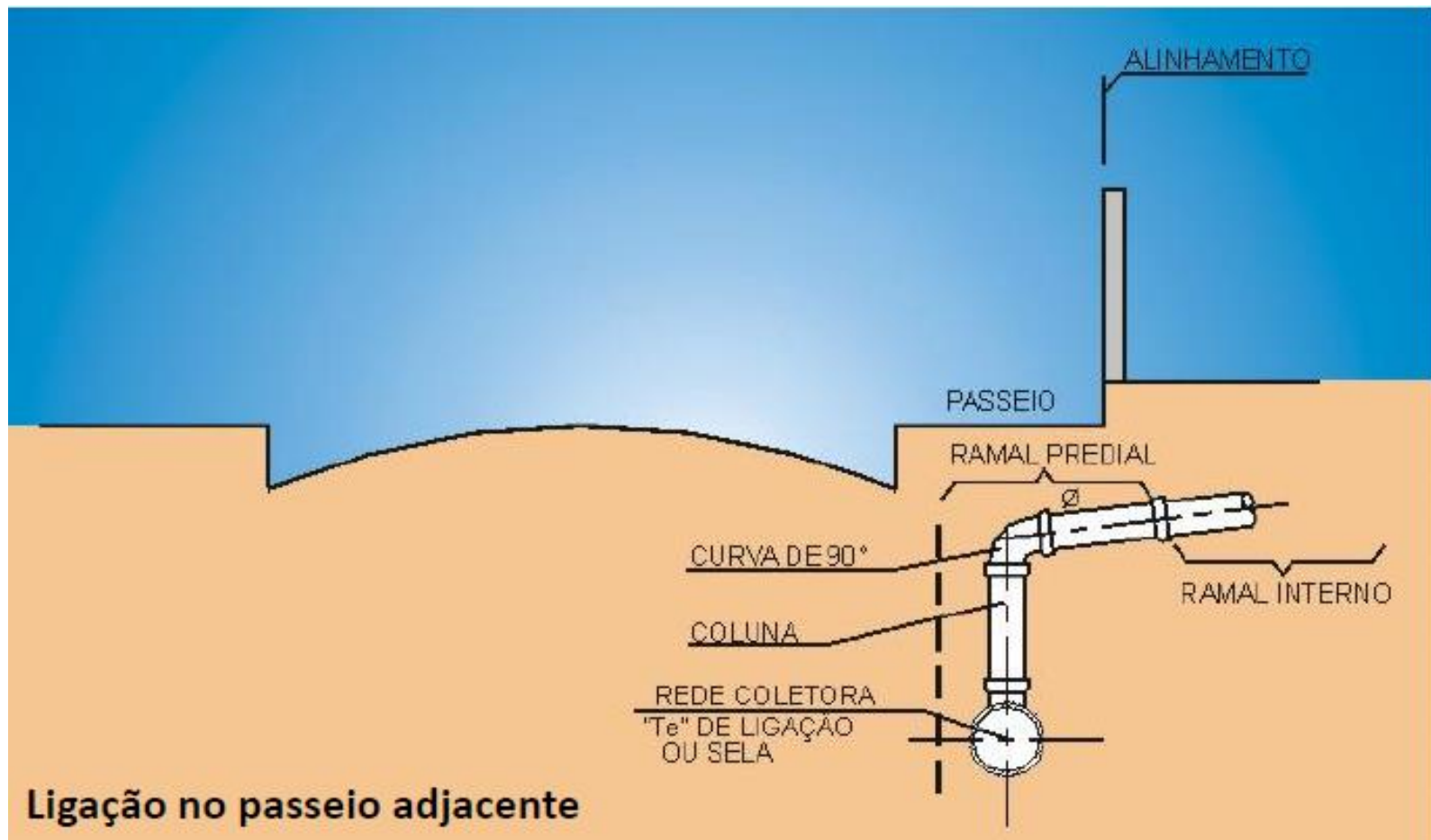
- Trecho da canalização, que partindo do coletor, alcança o alinhamento da rua;
- A partir deste ponto – instalação predial (dentro da propriedade beneficiada);
- Execução de ligação predial – solicitação do usuário quando a rede coletora encontra-se em execução ou em funcionamento.

LIGAÇÕES PREDIAIS

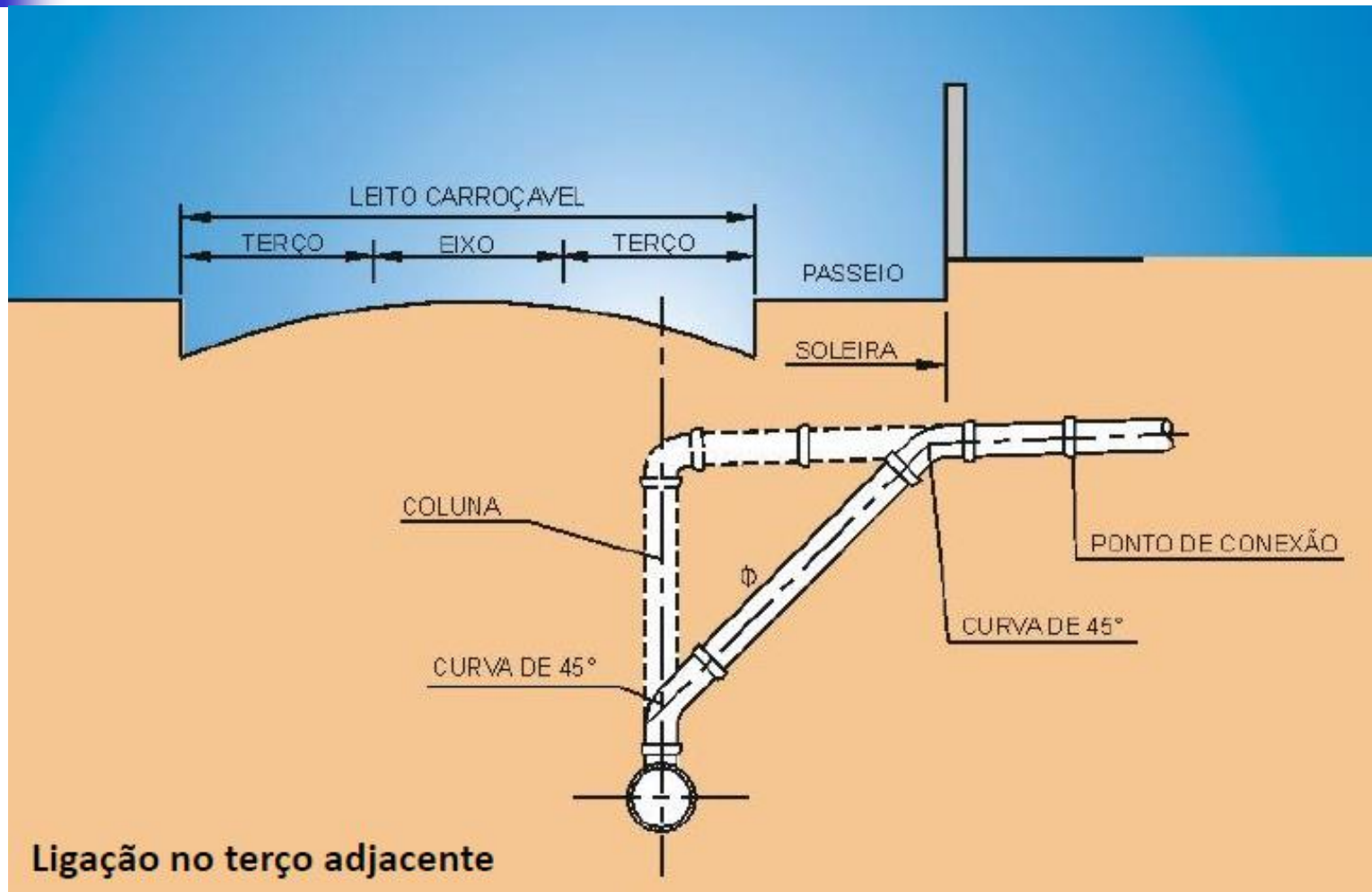
Sistema ortogonal – ligação simples



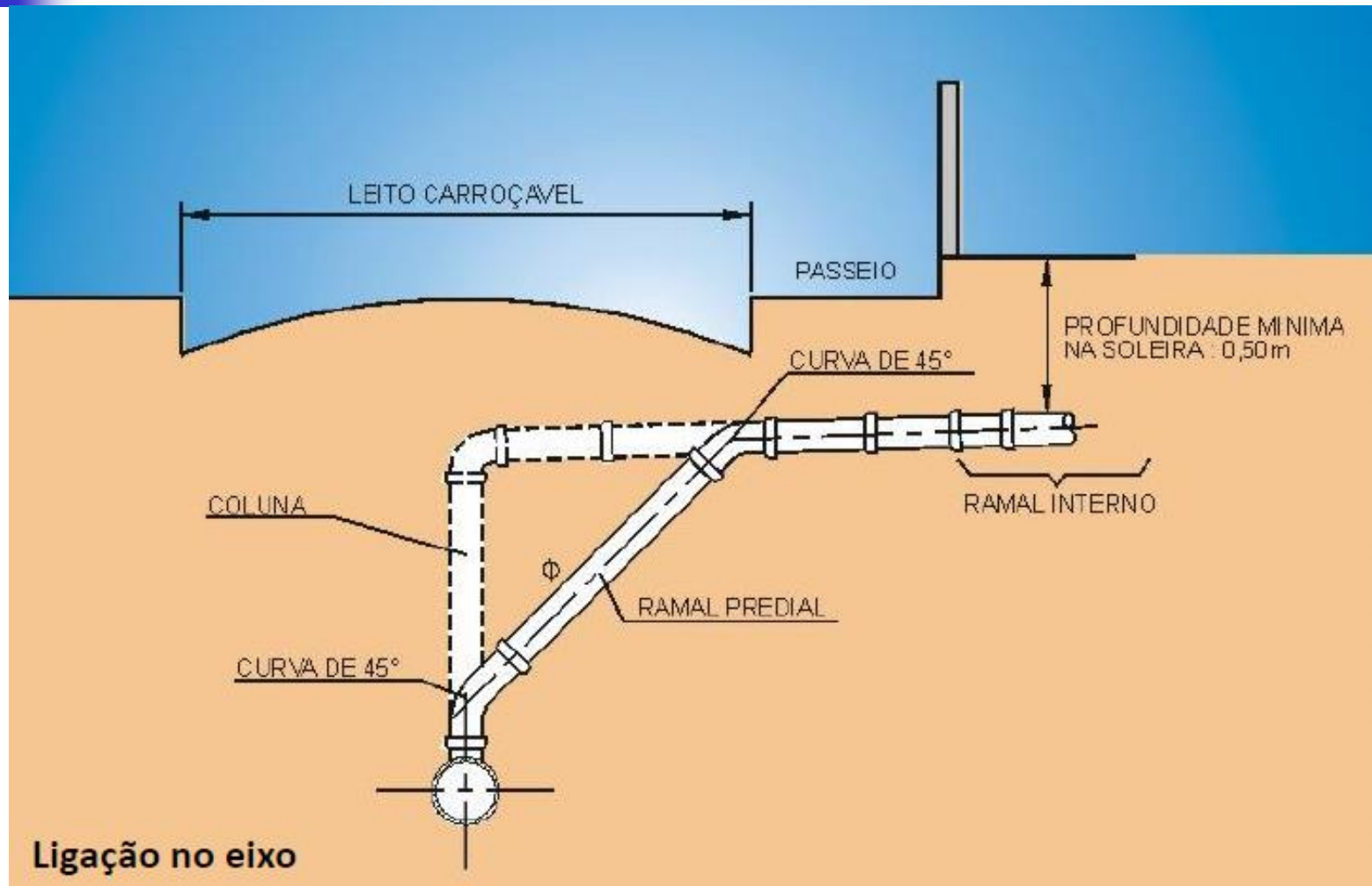
LIGAÇÕES DE ESGOTO QUANTO À POSIÇÃO DA REDE COLETORA



LIGAÇÕES DE ESGOTO QUANTO À POSIÇÃO DA REDE COLETORA

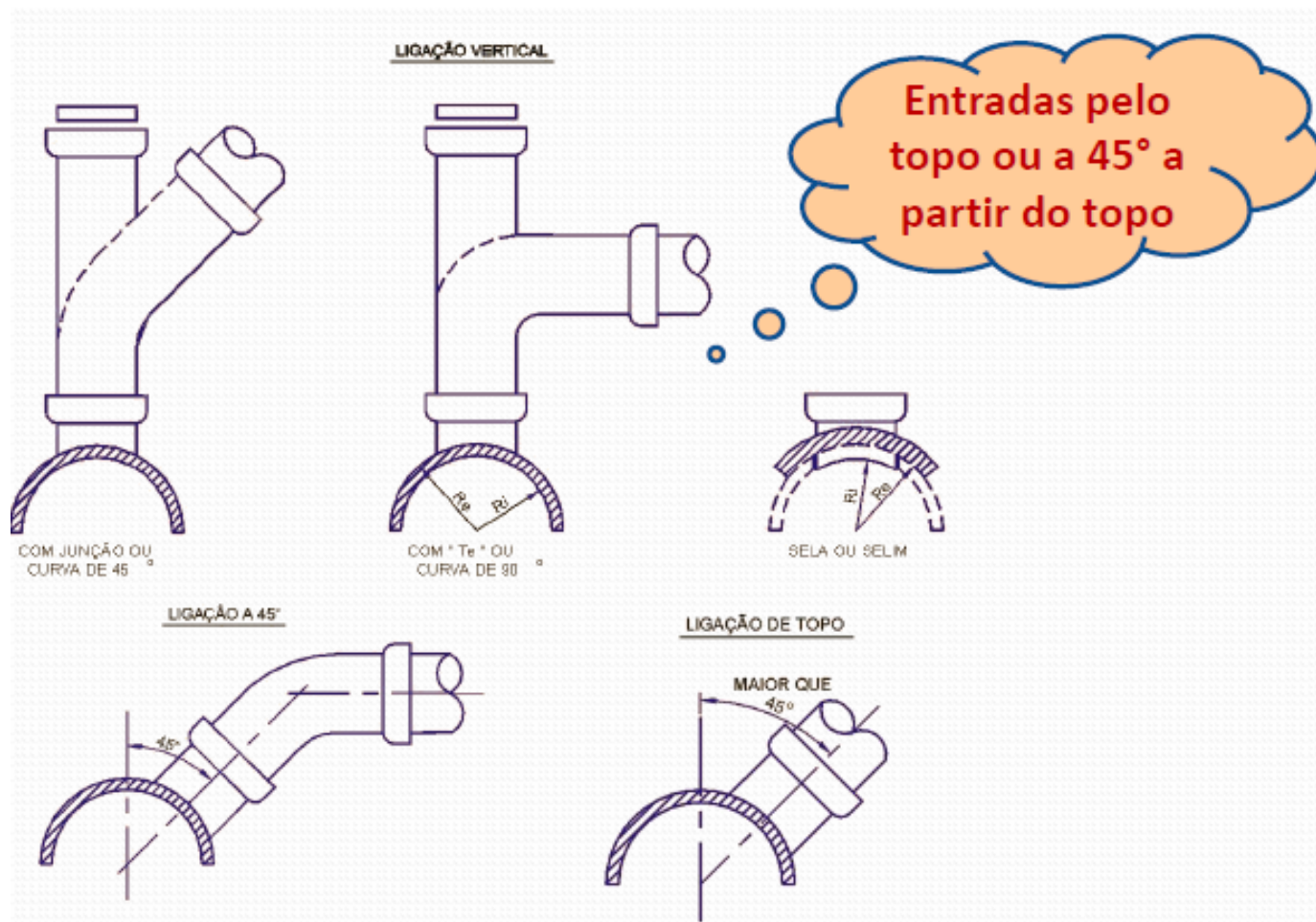


LIGAÇÕES DE ESGOTO QUANTO À POSIÇÃO DA REDE COLETORA



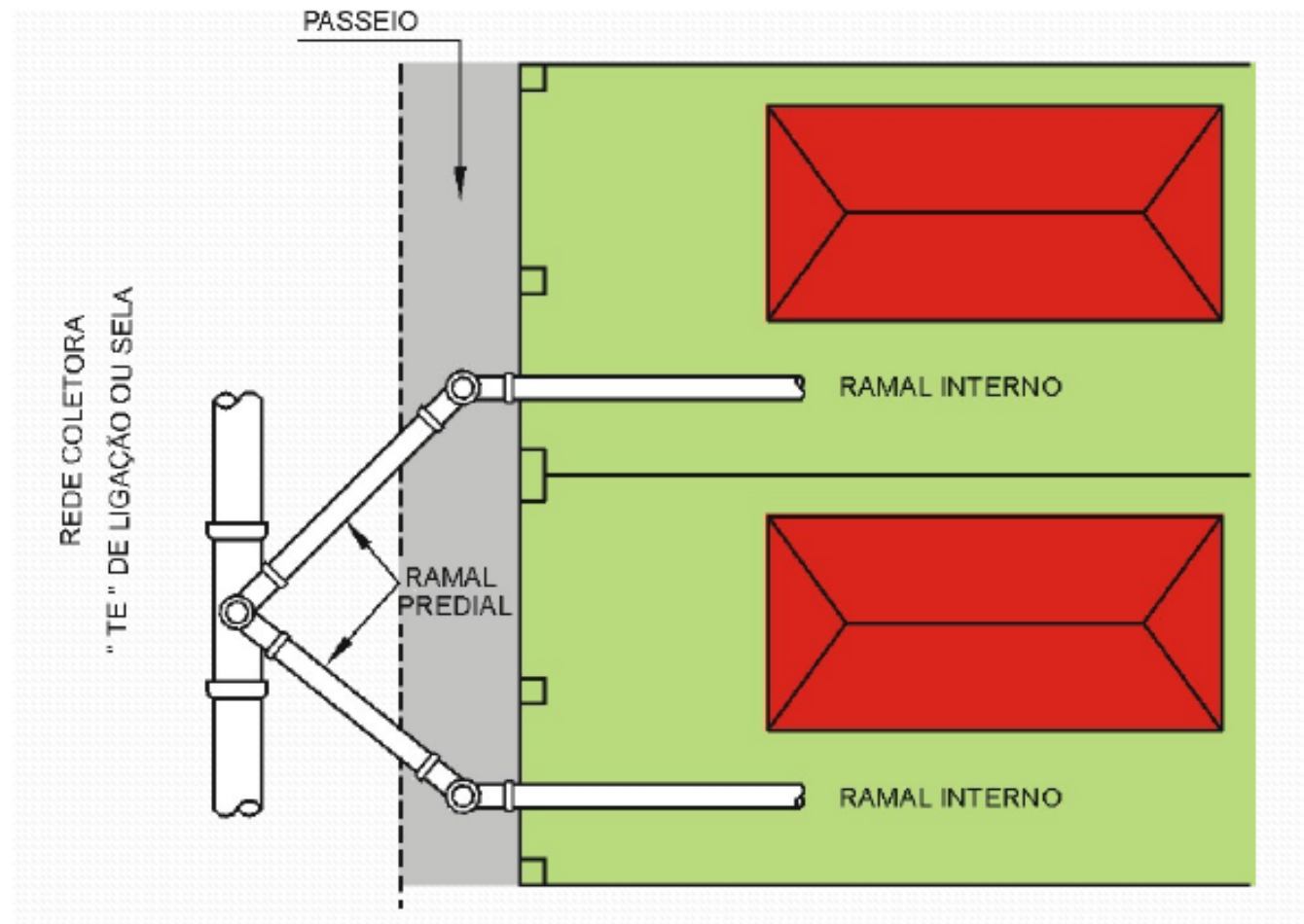
LIGAÇÕES PREDIAIS

Sistema ortogonal – ligação simples



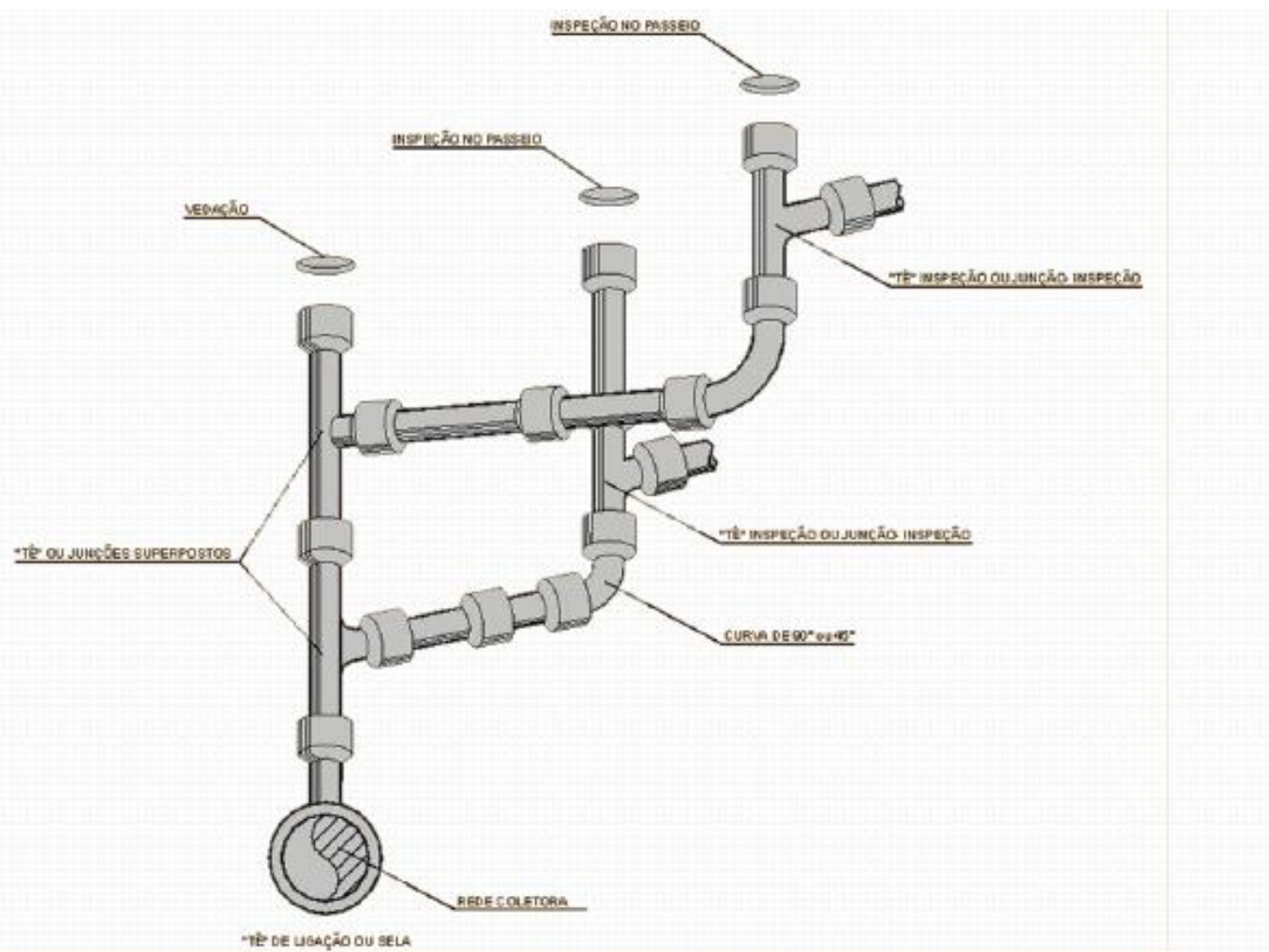
LIGAÇÕES PREDIAIS

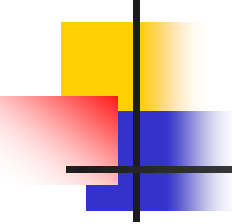
Sistema ortogonal – ligações múltiplas



LIGAÇÕES PREDIAIS

Sistema radial – ligações múltiplas





ESGOTO SANITÁRIO

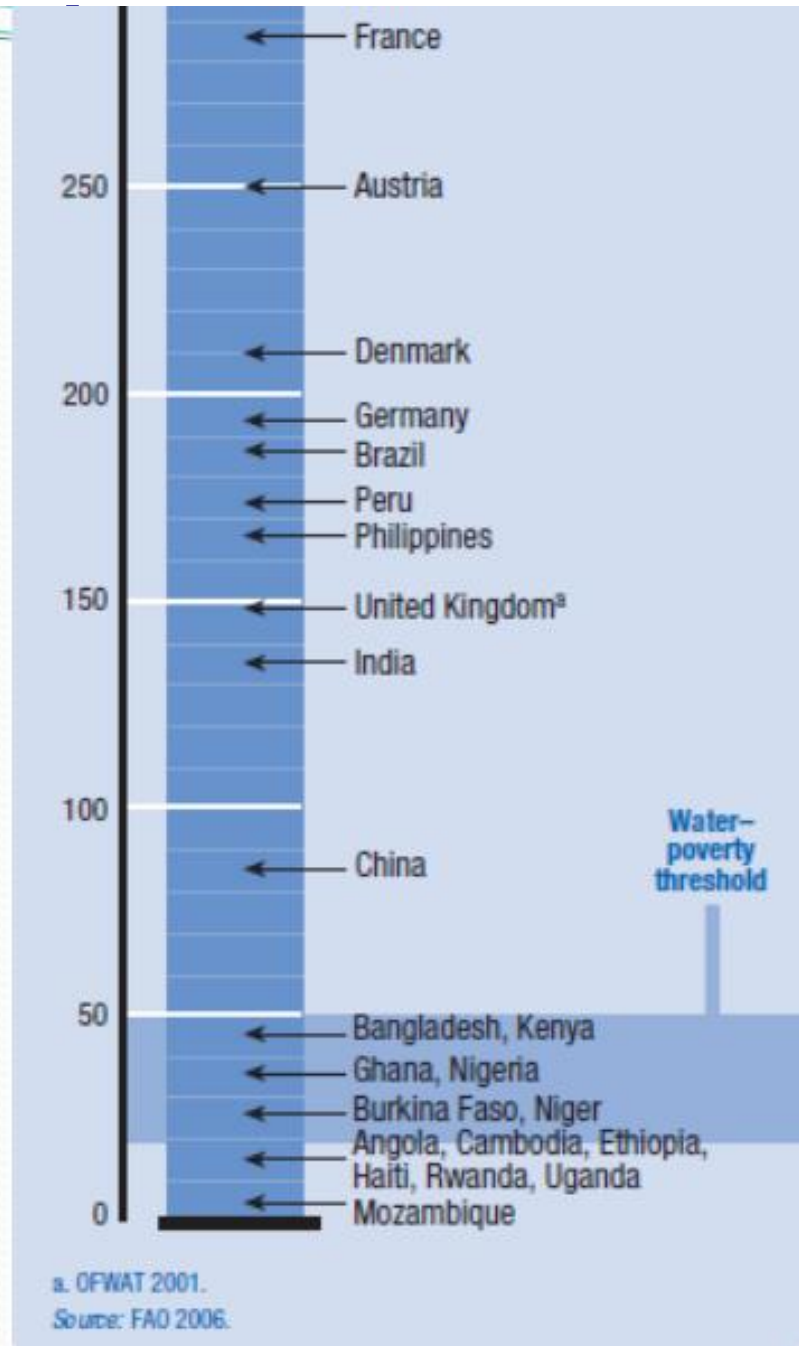
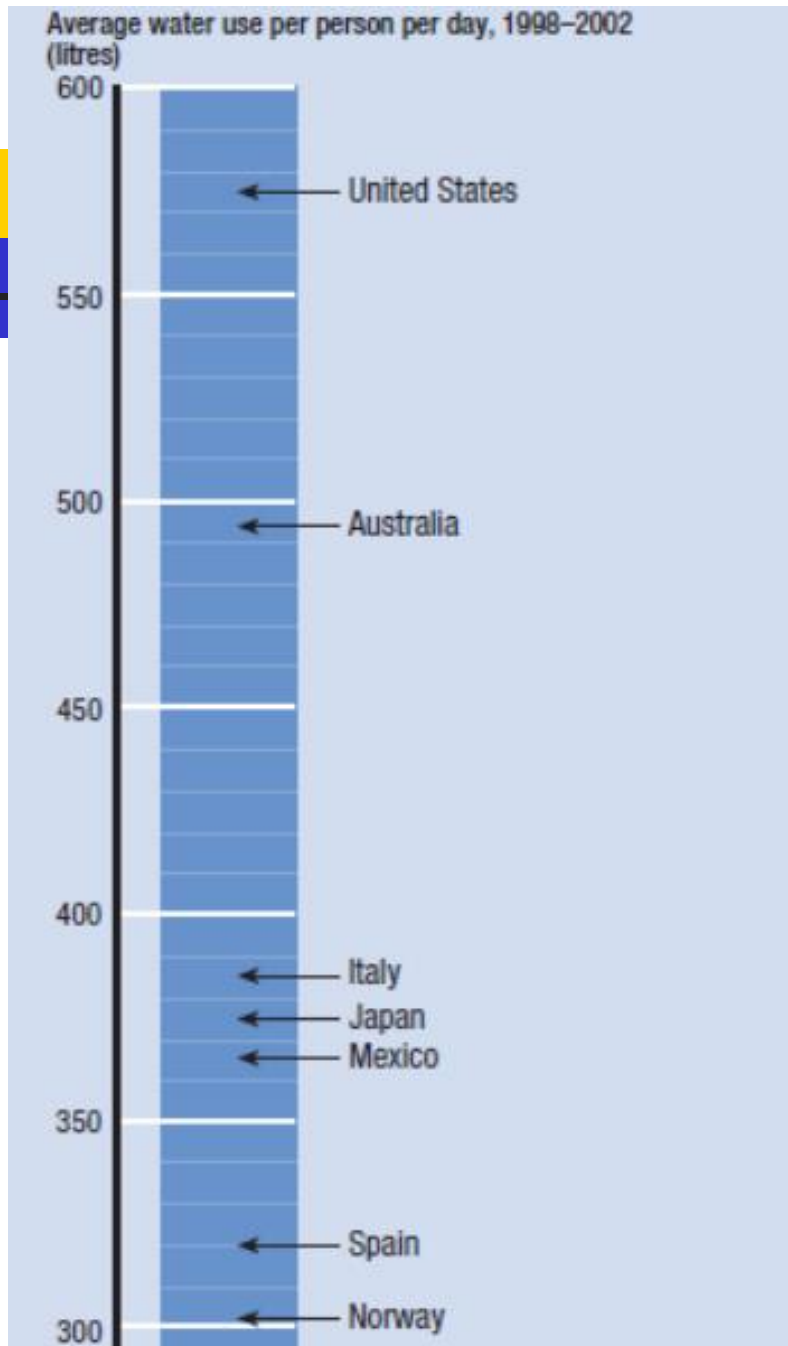
- Esgoto doméstico;
- Esgoto industrial;
- Águas de infiltração.

ESGOTO SANITÁRIO

Vazões

- Contribuição do esgoto doméstico:
 - População: estudo de crescimento populacional;
 - Consumo de água efetivo “per capita” (q_e);
 - Coeficiente de retorno esgoto/água: C
 - Coeficientes de variação de vazão:
 - Coeficiente do dia de maior consumo (K_1);
 - Coeficiente da hora de maior consumo (K_2);

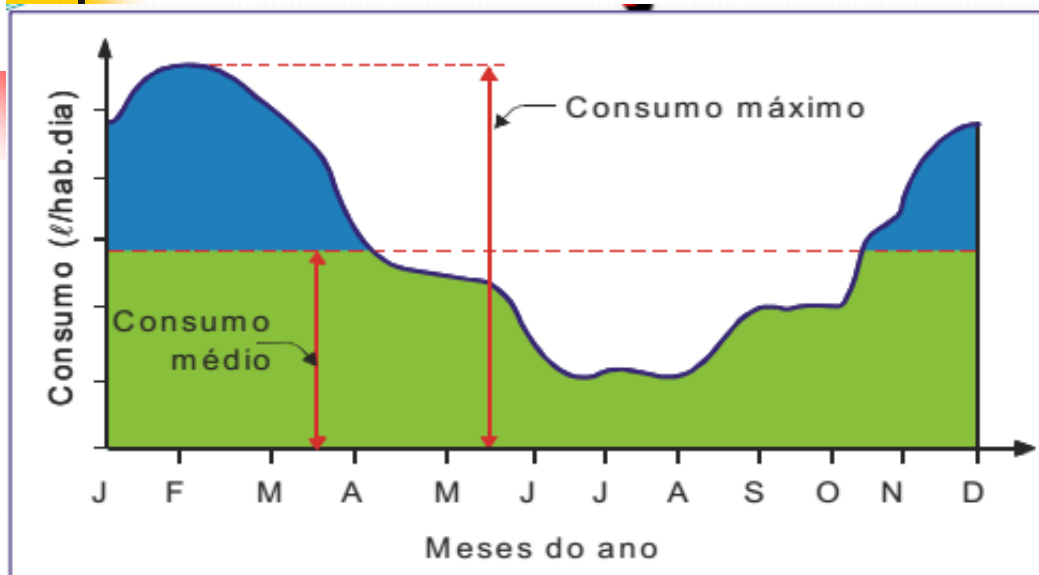
Consumo “per capita” medido em outros países



Coeficientes de retorno obtidos por medição ou recomendados para projeto

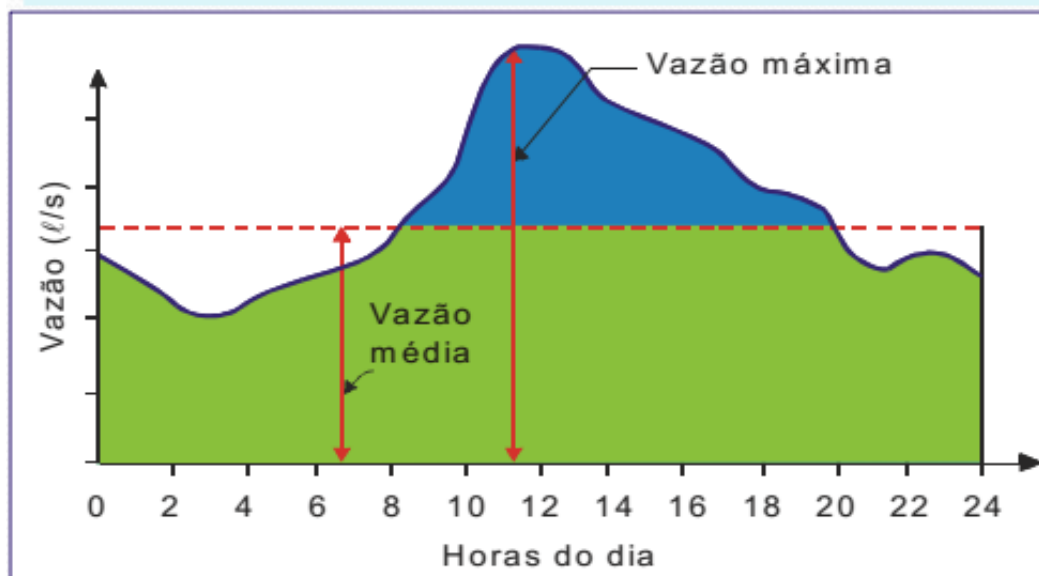
Autor	Local	Ano	Coeficiente de retorno	Condições de obtenção dos valores
José A. Martins	São Paulo	1977	0,7 a 0,9	Recomendações para projeto
Azevedo Netto	São Paulo	1981	0,7 a 0,8	Recomendações para projeto
NBR 9649 - ABNT	Brasil	1986	0,8	Recomendações para projeto
Luis P. Almeida Neto, Gilberto O. Gaspar, João B. Comparini & Nelson L. Silva	Cardoso, Guarani D'Oeste e Valentil Gentil (Estado de São Paulo)	1989	0,35 a 0,68	Medições em sistemas operando há vários anos
SABESP	São Paulo	1990	0,85	Recomendações para projeto - Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo
João B. Comparini	Cardoso, Pedranópolis, Guarani D'Oeste e Indiaporã (Estado de São Paulo)	1990	0,42 a 0,73	Medições em sistemas operando há vários anos
Milton T. Tsutiya & Orlando Z. Cassettari	Tatui (Estado de São Paulo)	1995	0,52 a 0,84	Medições em sistema operando há vários anos
Steel	EUA	1960	0,7 a 1,3	Para as condições norte-americanas
Fair, Geyer & Okun	EUA	1968	0,6 a 0,7	Recomendações para projeto
Metcalf & Eddy Inc.	EUA	1981	0,7	Recomendações para projeto

Variação de consumo



Variação do consumo anual

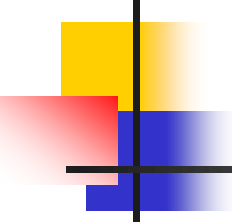
$$K_1 = \frac{Q \text{ máxima diária no ano}}{Q \text{ média diária no ano}}$$



Variação do consumo diária

$$K_2 = \frac{Q \text{ máxima horária no dia}}{Q \text{ média horária no dia}}$$

$$K_3 = \frac{Q \text{ mínima horária no dia}}{Q \text{ média horária no dia}}$$



ESGOTO SANITÁRIO

Água de infiltração

- Depende das condições locais
 - NA do lençol freático;
 - Tipo de solo;
 - Material da tubulação;
 - Tipo de junta;
 - Qualidade nos assentamentos dos tubos

NBR 9649 – Taxa de infiltração (TI) = 0,05 a 1,00 L/(s.km)

Autor	Local	Ano	Taxa de infiltração	Condições de obtenção dos valores
Saturnino de Brito	Santos e Recife	1911	0,1 a 0,6	Medições.
Jesus Netto	São Paulo	1940	0,3 a 0,7	Medições em redes secas.
Azevedo Netto	São Paulo	1943	0,4 a 0,9	Medições em redes novas.
Greeley & Hansen	São Paulo	1952	0,5 a 1,0*	Medições.
Des. Sursan	Rio de Janeiro	1959	0,2 a 0,4	Medições.
Hazen & Sawyer	São Paulo	1965	0,3 a 1,7*	Medições.
SANESP/Max A. Veit	São Paulo	1973	0,3	Medições.
Dario P. Bruno & Milton T. Tsutiya	Cardoso, Ibiúna, Lucélia, e São João da Boa Vista	1983	0,02 a 0,10	Medições em redes secas, localizadas acima e abaixo do lençol freático. Medições em redes operando há vários anos.
SABESP	Estado de São Paulo	1984	0,05 a 0,50	Recomendações para projeto
Carlos A. Santos & Adejalmo F. Gazen	Canoas, Santa Maria, Tramandaí, Capão da Canoa, Guaíba e Alvorada (Estado do Rio Grande do Sul)	1985	0,013 a 0,720	Medições em redes secas, localizadas acima e abaixo do lençol freático, com tubulações de junta elástica e não elástica
NBR 9649 - ABNT	Brasil	1986	0,05 a 1,0	Recomendações para projetos. O valor deve ser justificado.
Luis P. Almeida Neto, Gilberto O. Gaspar, João B. Comparini & Nelson L. Silva	Cardoso, Indaiaporã, Guarani D'Oeste e Valentim Gentil (Estado de São Paulo)	1989	0,010 a 0,116	Medições em sistemas operando há vários anos.
João B. Comparini	Cardoso, Indaiaporã, Guarani D'Oeste e Pedranópolis (Estado de São Paulo)	1990	0,021 a 0,038	Medições em sistemas operando há vários anos.
Lineu R. Alonso, Rodolfo J. Costa e Silva Jr., Francisco J.F. Paracampus	São Paulo	1990	0,24 a 0,35	Medições em sistemas operando há vários anos.
Milton T. Tsutiya & Orlando Z. Cassettari	Tatui (Estado de São Paulo)	1995	0,33	Medições em sistema operando há vários anos.
Frederico Y. Hanai & José R. Campos	Araraquara (Estado de São Paulo)	1997	0,17	Medições em sistema operando há vários anos.
T. Merriman	EUA	1941	0,03 a 1,4	Medições.
E.W. Steel	EUA	1960	0,40 a 1,37	Recomendações para projeto.
I.W. Santry	EUA	1964	0,3 a 1,4	Medições.
WPCF	EUA	1969	0,27 a 1,09	Recomendações para projeto.
Metcalf & Eddy Inc.	EUA	1981	0,15 a 0,60*	Recomendações para projeto.

* Valores para 160 m de rede por ha. Dados originais em função de área esgotada

ESGOTO SANITÁRIO

Água de infiltração



ESGOTO SANITÁRIO

Esgoto industrial

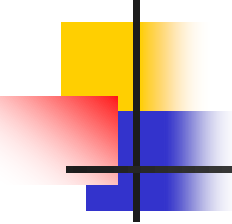
■ Decreto nº 8468/1976 – SP

- Art. 18 – VIII: Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média diária.
- Art. 19: Onde houver sistema público de esgoto, em condições de atendimento, os efluentes de qualquer fonte poluidora deverão ser neles lançados.
- Art. 19 A: Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados em sistema público de esgoto provido de estação de tratamento, se obedecerem às seguintes condições:
 - I — pH entre 5,0 e 9,0;
 - II — temperatura inferior a 40°C;
 - III – Materiais sedimentáveis até 10 mL/L;

ESGOTO SANITÁRIO

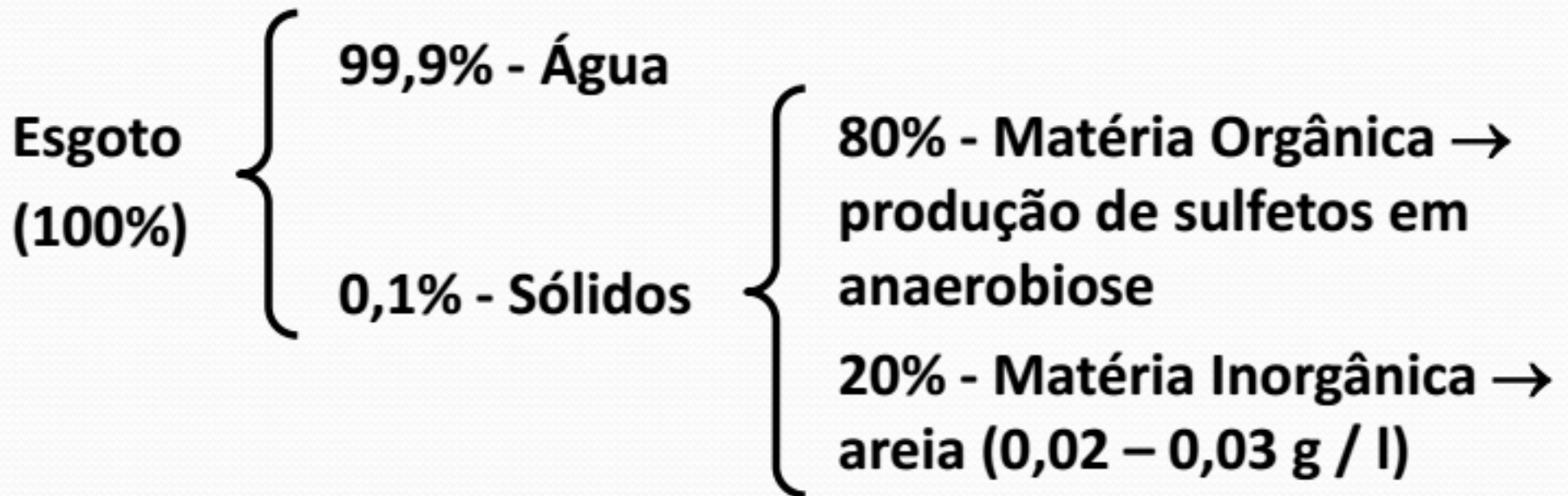
Esgoto industrial

- Resolução CONAMA nº 430/2011 – Nacional
 - Art. 16: Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média diária.
 - Art. 21: Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:
 - I — pH entre 5,0 e 9,0;
 - II — temperatura inferior a 40°C;
 - III – Materiais sedimentáveis até 1 mL/L;
 - IV – DBO (5 dias a 20°C): máx. 120 mg/L;



ESGOTO SANITÁRIO

Composição



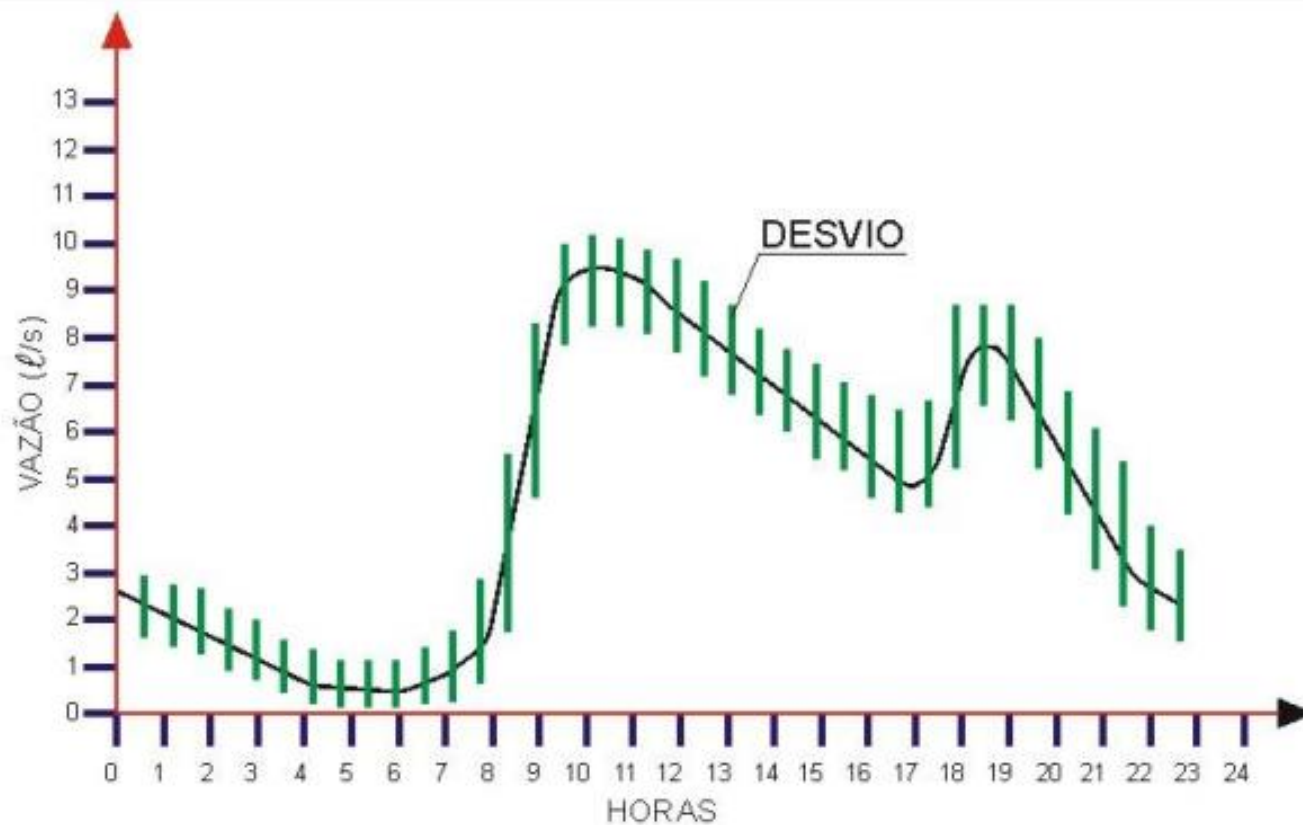
ESGOTO SANITÁRIO

Transporte

- **Hidráulica:** Transporte de vazões mínimas e máximas como condutos livres (capacidade de vazão);
- **Reações bioquímicas:** Controle de ácido sulfídrico;
- **Deposição de materiais sólidos:** Ação de autolimpeza;

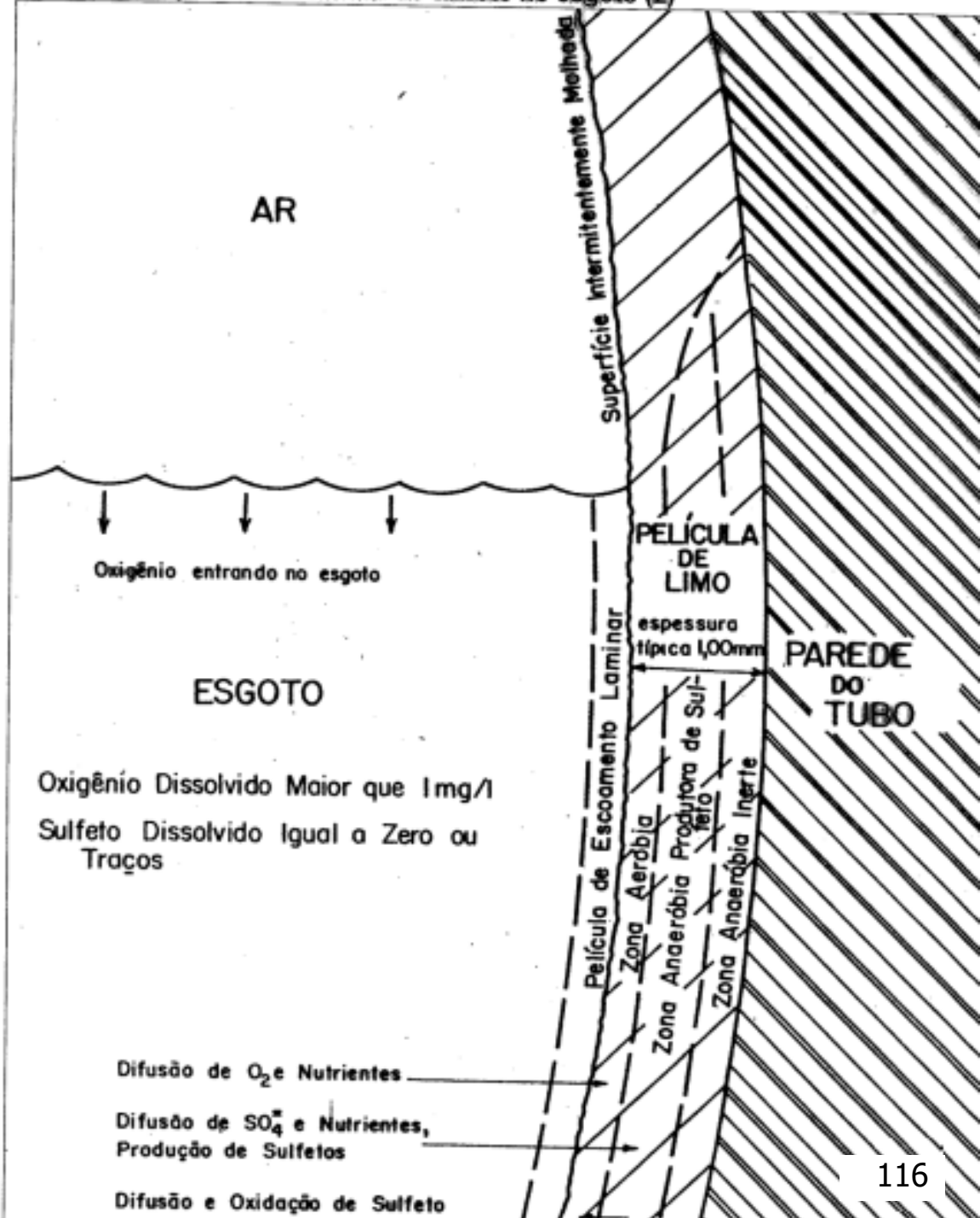
ESGOTO SANITÁRIO

Transporte

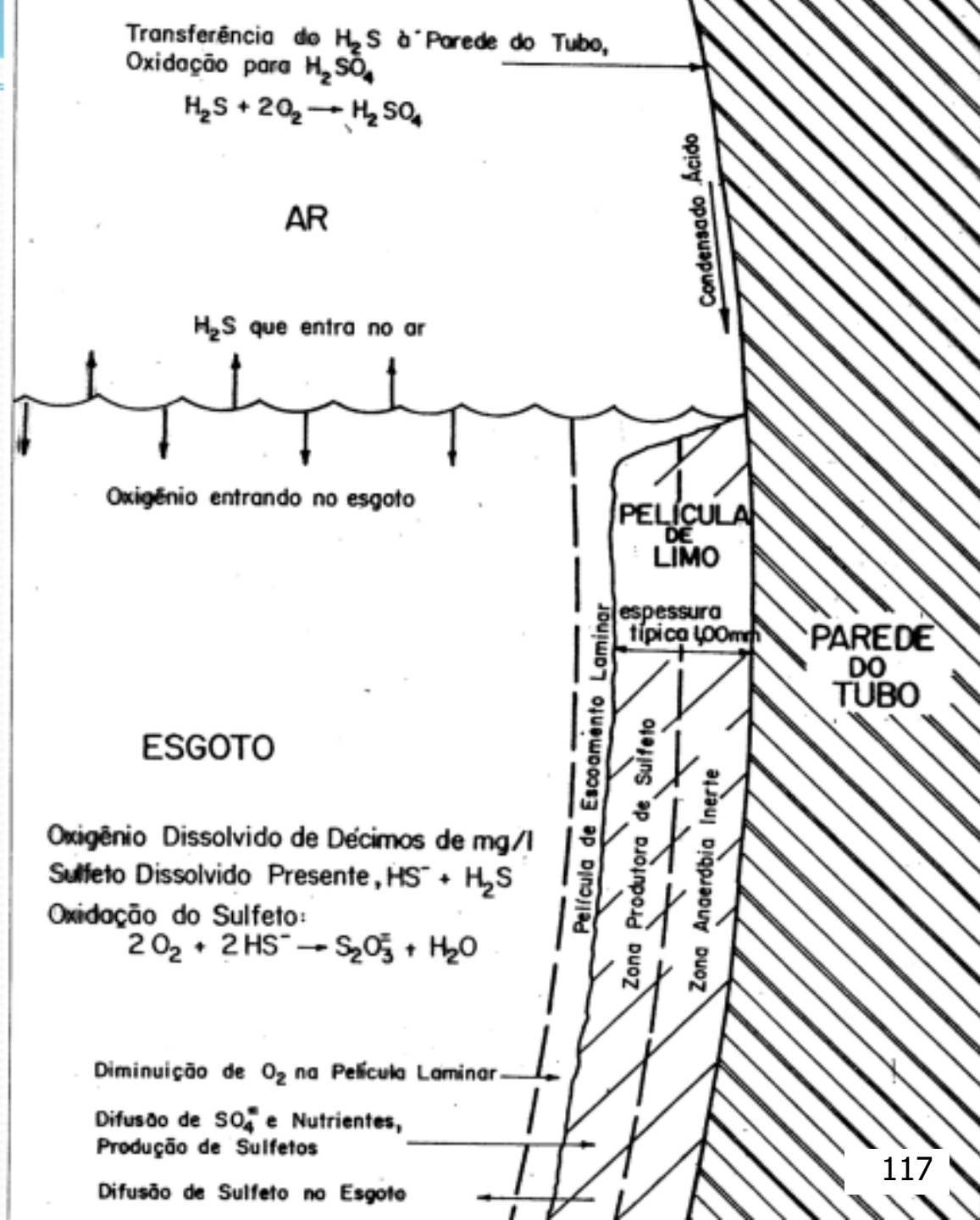


Curva de variação horária da vazão de esgoto da cidade de Cardoso / SP

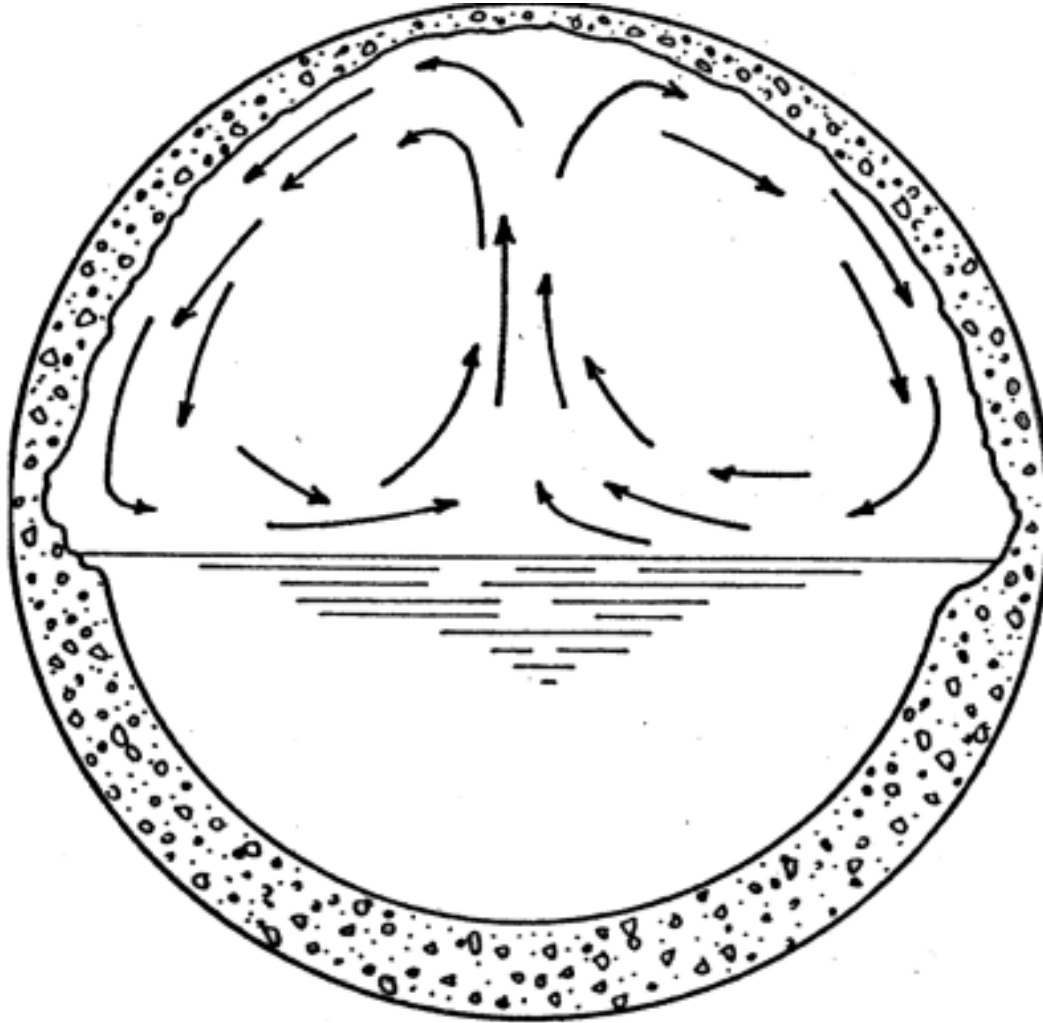
**PROCESSOS QUE
OCORREM EM
CONDUTOS DE ESGOTO
COM OXIGÊNIO
SUFICIENTE PARA
PREVENIR A FORMAÇÃO
DO SULFETO NO ESGOTO**



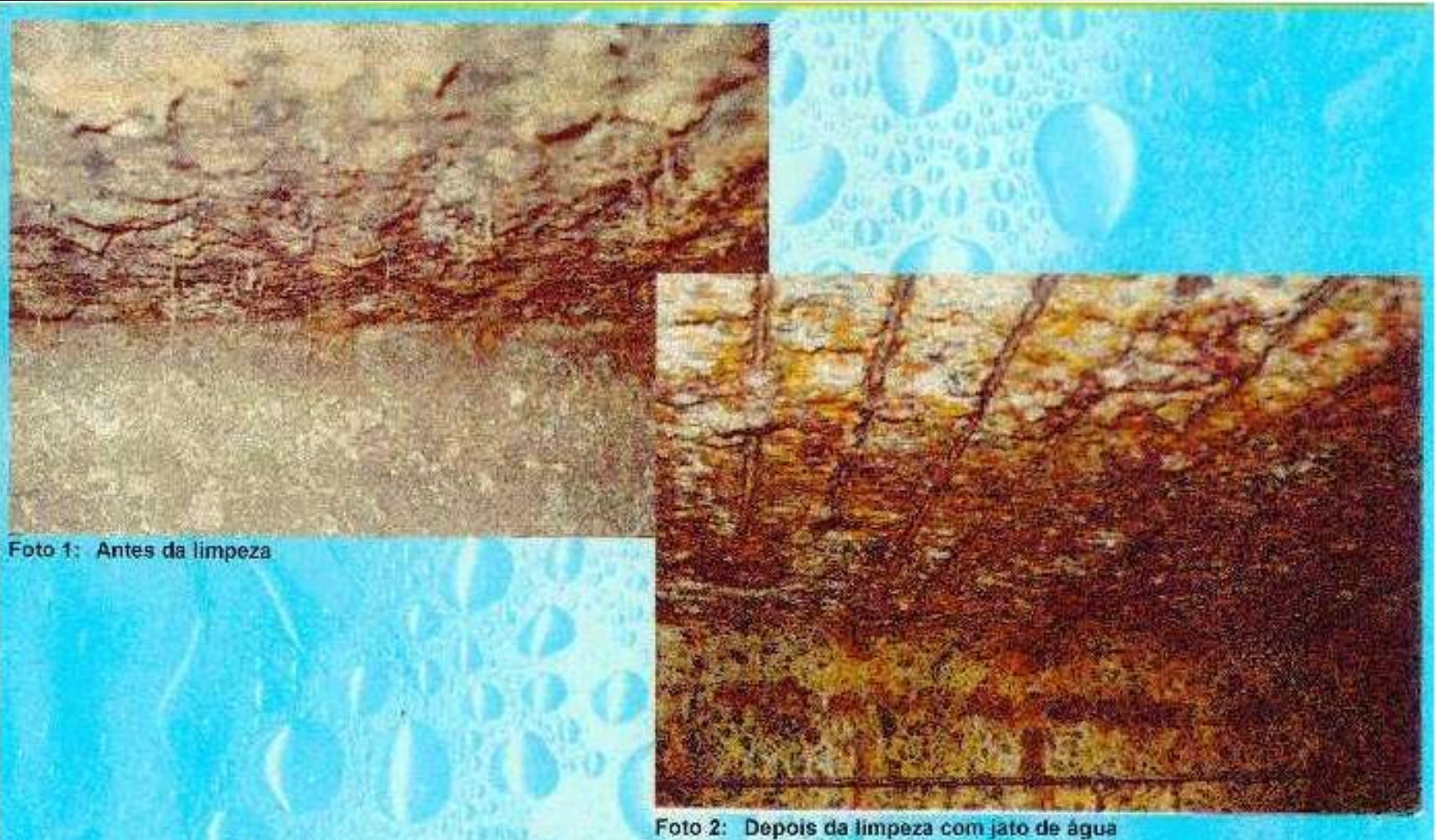
**PROCESSOS QUE
OCORREM EM
CONDUTOS DE ESGOTO
SOB CONDIÇÕES DE
FORMAÇÃO DO SULFETO**



Distribuição desigual da corrosão em tubo de concreto devido ao ácido sulfúrico



Exemplo: Interceptor retangular corroído por ácido sulfúrico



MANUTENÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO

PV (concreto)

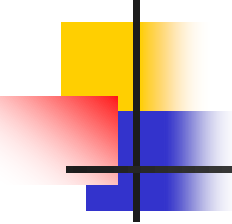


TIL (plástico)



Ligação Domiciliar





MANUTENÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO

- **Manutenção preventiva**

- Serviços para obter melhor desempenho do sistema antecipando-se ao problema;

- **Manutenção corretiva**

- Serviços para corrigir problemas de obstruções ou rompimento de ramais e coletores

Desobstrução de ramal predial



Flexi-Cleaner

Desobstrução de rede coletora



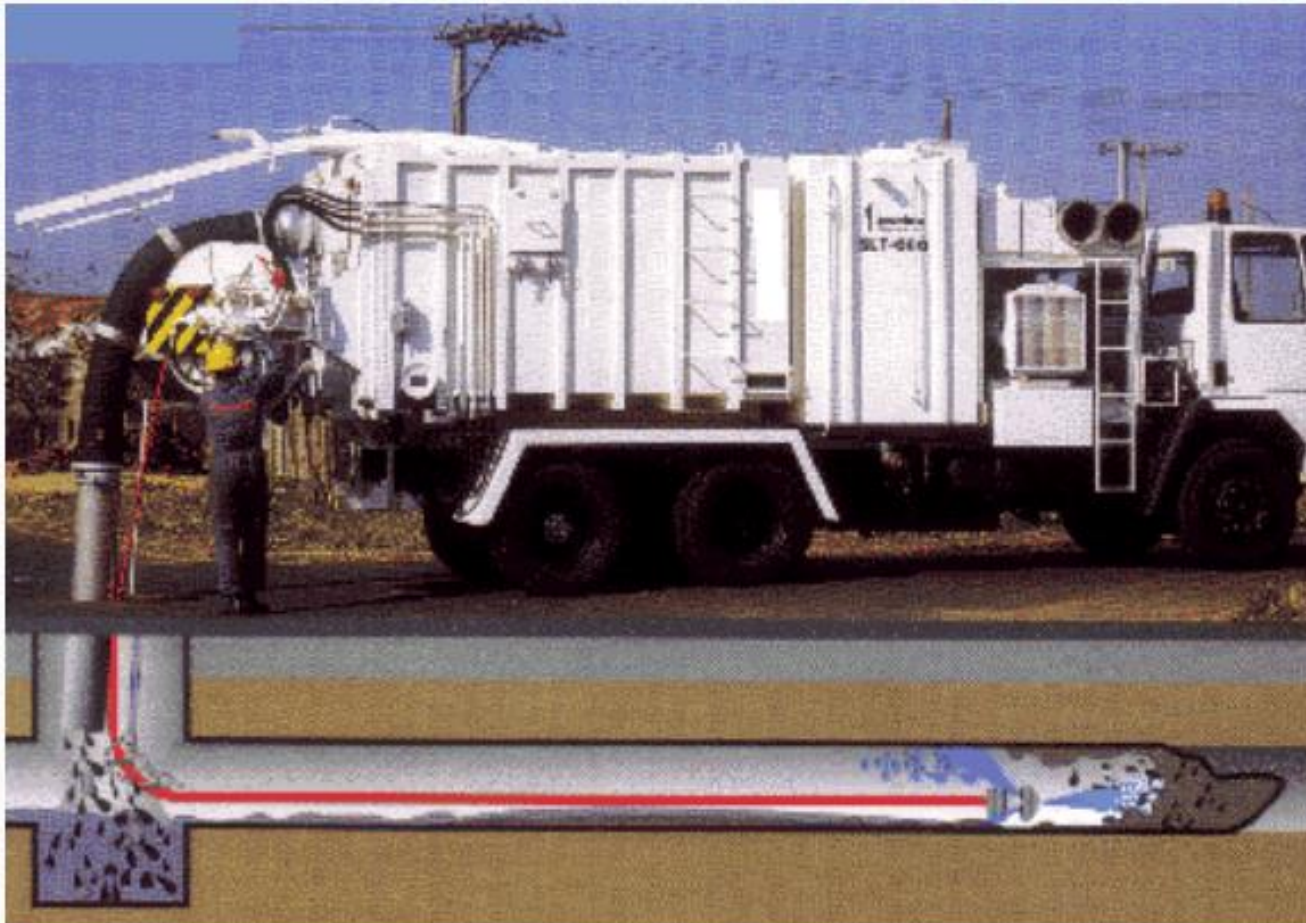
Limpeza com Sewer Jet (Hidrojateamento)

Desobstrução de rede coletora

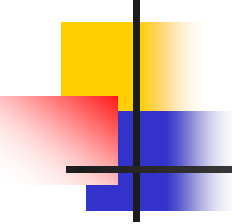


Equipamento a vácuo

Desobstrução de rede coletora

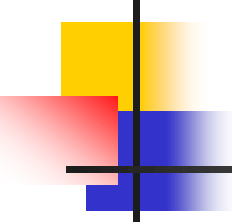


Equipamento combinado: hidrojetamento e vácuo



CÁLCULO DAS VAZÕES

- **Métodos para cálculo das vazões**
 - Quando não existirem medições de vazão utilizáveis no projeto;
 - Quando existirem hidrogramas utilizáveis no projeto;
 - Cálculo de vazão pelo processo das áreas edificadas.



CÁLCULO DAS VAZÕES

$$Q = Q_d + Q_{inf} + Q_c$$

■ Onde:

- Q = vazão do esgoto sanitário (L/s);
- Q_d = vazão doméstica (L/s);
- Q_{inf} = vazão de infiltração (L/s);
- Q_c = vazão concentrada ou singular (L/s).

CÁLCULO DAS VAZÕES

Quando não existirem medições de vazão utilizáveis no projeto

- Para o dimensionamento da rede coletora de esgotos devem ser consideradas as seguintes vazões (situações críticas de projeto):

- início do plano: $Q_i = K_2 \cdot \bar{Q}_i + I_i + \sum Q_{ci}$ (não inclui o K_1 !)

- final do plano: $Q_f = K_1 \cdot K_2 \cdot \bar{Q}_f + I_f + \sum Q_{cf}$

Na qual:

- I_i, I_f : Contribuição de infiltração inicial e final (L/s)
- Q_{ci}, Q_{cf} : Contribuição singular inicial e final (L/s)
- $\bar{Q}_i, \bar{Q}_f$: contribuição média inicial e final de esgotos domésticos (L/s)

$$\begin{cases} \bar{Q}_i = \frac{C \cdot P_i \cdot q_i}{86400} \\ \bar{Q}_f = \frac{C \cdot P_f \cdot q_f}{86400} \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} \bar{Q}_i = \frac{C \cdot a_i \cdot d_i \cdot q_i}{86400} \\ \bar{Q}_f = \frac{C \cdot a_f \cdot d_f \cdot q_f}{86400} \end{cases}$$

CÁLCULO DAS VAZÕES

Quando existirem hidrogramas utilizáveis no projeto

- vazão: $Q = Q_h + \sum Q_c$

$$Q_h = \frac{t_c}{t_m} \cdot Q_{max}$$

onde:

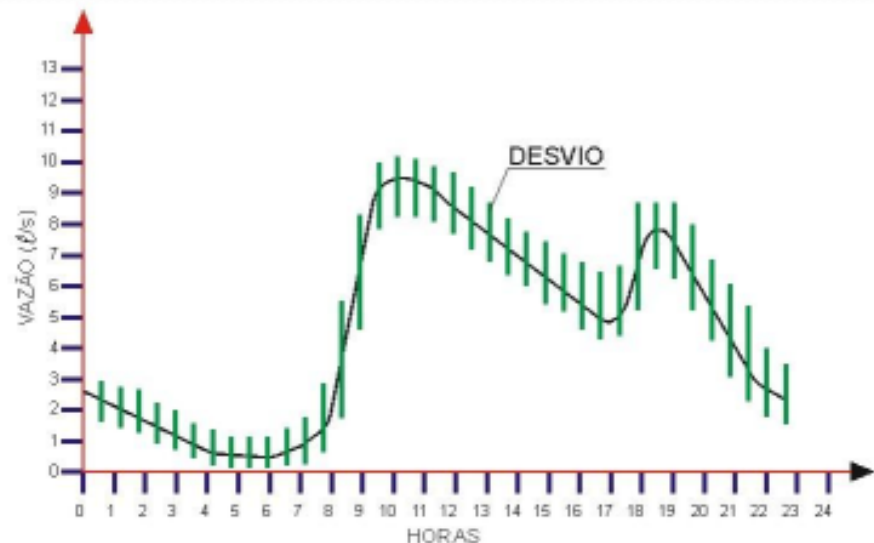
- t_c : valor do parâmetro adotado da bacia (população, área edificada)
- t_m : valor do parâmetro adotado da bacia cujo hidrograma foi medido
- Q_{max} : vazão máxima do hidrograma medido (L/s)
- Q_c : vazão concentrada (L/s)

- vazão inicial:

$$Q_i = Q_{hi} + \sum Q_{ci}$$

- vazão final:

$$Q_f = Q_{hf} + \sum Q_{cf}$$



CÁLCULO DAS VAZÕES

Processo das áreas edificadas

Autoria: Eng. Eugênio Macedo

Pesquisa: SES do **Rio de Janeiro**, durante 15 anos

Resultado da Pesquisa:

- Para bacias de ocupação predominante residencial:

$$Q \max_{i,f} = 23 \cdot 10^{-5} \cdot Ae_{i,f}$$

- Para bacias de ocupação predominante industrial ou comercial:

$$Q \max_{i,f} = 16 \cdot 10^{-5} \cdot Ae_{i,f}$$

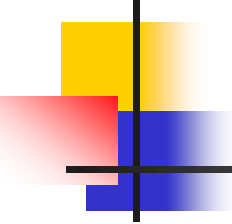
onde:

$Q \max_{i,f}$: vazão máxima inicial e final, L/s

$Ae_{i,f}$: área edificada existente no início e fim do período de projeto, m²



Estas eq. valem
somente para o
Rio de Janeiro!



DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE CONTRIBUIÇÃO PARA CÁLCULO DE REDES COLETORAS

- Rede simples;
- Rede dupla;
- Rede mista (simples e dupla).

DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE CONTRIBUIÇÃO PARA CÁLCULO DE REDES COLETORAS - Simples

Taxa por unidade de comprimento em L/(s.m) ou L/(s.km)

- Taxa de contribuição linear para o início do plano:

$$T_{xi} = \frac{K_2 \cdot \bar{Q}_{d,i}}{L_i} + T_{inf}$$

- Taxa de contribuição linear para o final do plano:

$$T_{xf} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot \bar{Q}_{d,f}}{L_f} + T_{inf}$$

onde:

L_i, L_f = comprimento da rede de esgotos inicial e final, m ou km

T_{inf} = taxa de contribuição de infiltração, L/s.m ou L/s.km

as taxas também podem ser calculadas por unidade de área, em L/(s.ha)



DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE CONTRIBUIÇÃO PARA CÁLCULO DE REDES COLETORAS - Dupla

- Taxa de contribuição linear para o início do plano

$$T_{xdi} = \frac{K_2 \cdot \bar{Q}_{d,i}}{L_{di}} + T_{inf}$$

- Taxa de contribuição linear para o final do plano

$$T_{xdf} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot \bar{Q}_{d,f}}{L_{df}} + T_{inf}$$

Considerar
somente as
contribuições
distribuídas,
as
concentradas
são somadas
depois

onde: L_{di} , L_{df} = comprimento da **rede dupla** inicial ou final, m ou km

DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE CONTRIBUIÇÃO PARA CÁLCULO DE REDES COLETORAS – Mista

- Comprimento “virtual” da rede para a área de ocupação homogênea (é o comprimento que a rede teria na área se ela fosse toda simples)

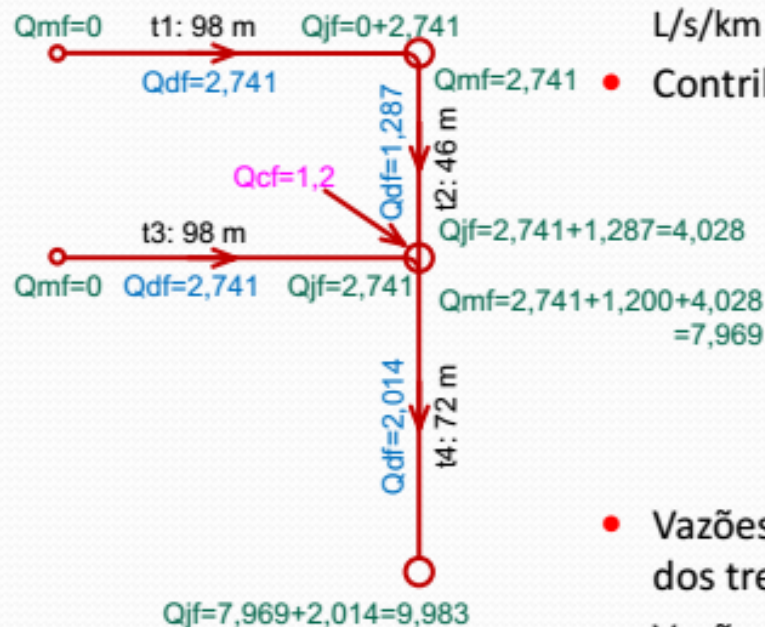
$$L_{vi,f} = L_{si,f} + \frac{L_{di,f}}{2}$$

onde: $L_{vi,f}$ = comprimento virtual da rede inicial ou final, m ou km
 $L_{si,f}$ = comprimento da rede simples inicial ou final, m ou km
 $L_{di,f}$ = comprimento da rede dupla inicial ou final, m ou km

- Taxas de contribuição linear:

	rede simples	rede dupla
início do plano	$T_{xis} = \frac{K_2 \cdot \bar{Q}_{d.i}}{L_{vi}} + T_{inf}$	$T_{xid} = \frac{K_2 \cdot \bar{Q}_{d.i}}{2 \cdot L_{vi}} + T_{inf}$
final do plano	$T_{xfs} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot \bar{Q}_{d.f}}{L_{vf}} + T_{inf}$	$T_{xfd} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot \bar{Q}_{d.f}}{2 \cdot L_{vf}} + T_{inf}$

CÁLCULO DAS VAZÕES DOS TRECHOS



conferindo: $\Sigma L = 98 \times 2 + 46 + 72 = 314m$

$Q_f = 314 \times 0,02797 + 1,2 = 9,983 \text{ L/s ok!}$

Exemplo:

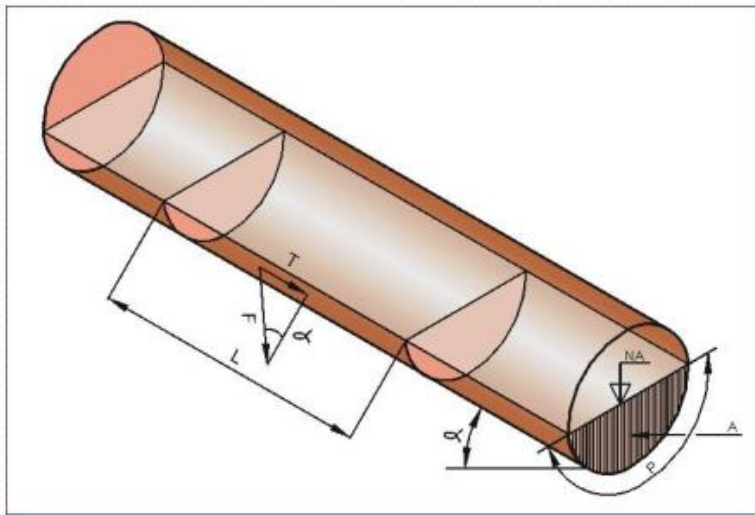
- Taxas de contribuição linear inicial e final: $Tx_i = 7,14 \text{ L/s/km}$ e $Tx_f = 27,97 \text{ L/s/km}$
- Contribuição distribuída inicial e final $Qd_{i,f} = L \times Tx_{i,f}$:

Trecho	Compr. (m)	Qdi (L/s)	Qdf (L/s)
t1	98	0,700	2,741
t2	46	0,328	1,287
t3	98	0,700	2,741
t4	72	0,514	2,014

- Vazões inicial e final a montante: soma as contribuições dos trechos a montante mais as concentradas
- Vazões inicial e final a jusante (o desenho mostra apenas as finais) $Qj_{i,f} = Qm_{i,f} + Qd_{i,f}$
- Cálculo dos trechos com as vazões de jusante, ou a mínima considerada no projeto (1,5 L/s)

TENSÃO TRATATIVA OU TENSÃO DE ARRASTE

“É uma tensão tangencial exercida sobre a parede do conduto pelo líquido escoado.”



$$F = \gamma \cdot A \cdot L$$

$$T = F \cdot \text{sen } \alpha = \gamma \cdot A \cdot L \cdot \text{sen } \alpha$$

$$\sigma = \frac{T}{P \cdot L} = \frac{\gamma \cdot A \cdot L \cdot \text{sen } \alpha}{P \cdot L}$$

$$\sigma = \gamma \cdot R_H \cdot \text{sen } \alpha$$

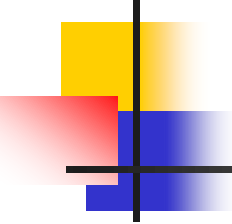
$$I \approx \text{sen } \alpha$$

$$\sigma = \gamma \cdot R_H \cdot I$$

$$\sigma \geq 1,0 \text{ Pa}$$

onde:

- σ = tensão trativa média (Pa)
- F = peso do líquido de um trecho L (N)
- T = componente tangencial de F (N)
- α = ângulo de inclinação da tubulação ($^\circ$)
- γ = peso específico do líquido, 10^4 N/m^3 para o esgoto
- R_H = raio hidráulico (m)
- I = declividade da tubulação (m/m)
- P = perímetro molhado da seção (m)
- A = área molhada da seção (m^2)



Bibliografia

- ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**, 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
- ZAMBOM, R. C.; CONTRERA, R. C.; SOUZA, T. S. O. **Sistemas de Esgoto Sanitário – Aulas 10, 11 e 12**. PHA3412 – Saneamento, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.