

CAPÍTULO VI

GALERIAS

VI.1 Definições

Denomina-se de galerias de águas pluviais todos os condutos fechados destinados ao transporte das águas de escoamento superficial, originárias das precipitações pluviais captadas pelas bocas coletoras. O termo galeria por si só já é designação de todo conduto subterrâneo com diâmetro equivalente igual ou superior a 400 mm. Tecnicamente sistema de galerias pluviais é um conjunto de bocas coletoras, condutos de ligação, galerias e seus órgãos acessórios tais como poços de visita e caixas de ligação. É a parte subterrânea de um sistema de micro-drenagem.

VI.2. Período de Retorno

Nos sistemas de micro-drenagem são adotados como chuvas de projeto, aquelas com frequência de 2, 5 e 10 anos, de acordo com a ocupação da área a ser drenada. Para obras de macro-drenagem o período de retorno é de 100 anos e é mais conhecido como tempo de retorno de chuvas intensas.

Para projetos de galerias pluviais de micro-drenagem os valores básicos de períodos de retorno a adotar são os indicados na Tabela VI.1.

TABELA VI.1. Período de Retorno em Função da Ocupação da Área

Tipo de Ocupação	Período de Retorno
1. Residencial	2 anos
2. Áreas comerciais	5 anos
3. Áreas com edifícios públicos	5 anos
4. Distritos industriais	10 anos
5. Áreas comerciais muito valorizadas	5 a 10 anos
6. Aeroportos	2 a 5 anos
7. Terminais de passageiros	5 a 10 anos

VI.3. Princípios Técnicos para Elaboração de Projetos de Microdrenagem

VI.3.1. Hipótese de Cálculo

Admite-se um escoamento em conduto livre e em regime permanente e uniforme. Isto quer dizer admitir-se que de cada trecho de galeria não haverá variação de velocidades de escoamento e de lâmina de água no tempo, enquanto este trecho funcionar com a vazão de projeto.

Seu cálculo obedecerá, pois, as fórmulas clássicas

$Q = A \cdot V$, clássica equação da continuidade e

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + h_{f1-2}$$

que é conhecida como teorema de Bernouilli (Daniel Bernouilli, cientista suíço criador da Física Matemática, 1700-1782) para fluidos reais, onde

P = pressão, Kgf/m²

γ = peso específico, Kgf/m

V = velocidade do escoamento, m/s

g = aceleração da gravidade, m/s²

Z = altura sobre o plano de referência, m

h_f = perda de energia entre as seções em estudo, devido a turbulência, atritos, etc, denominada de perda de carga, m

α = fator de correção de energia cinética devido as variações de velocidade na seção, igual a 2,0 no fluxo laminar e 1,01 a 1,10 no hidráulico ou turbulento, embora nesta situação, na prática, sempre se tome igual a 1,00.

A Figura VI.1. ilustra os elementos componentes da equação.

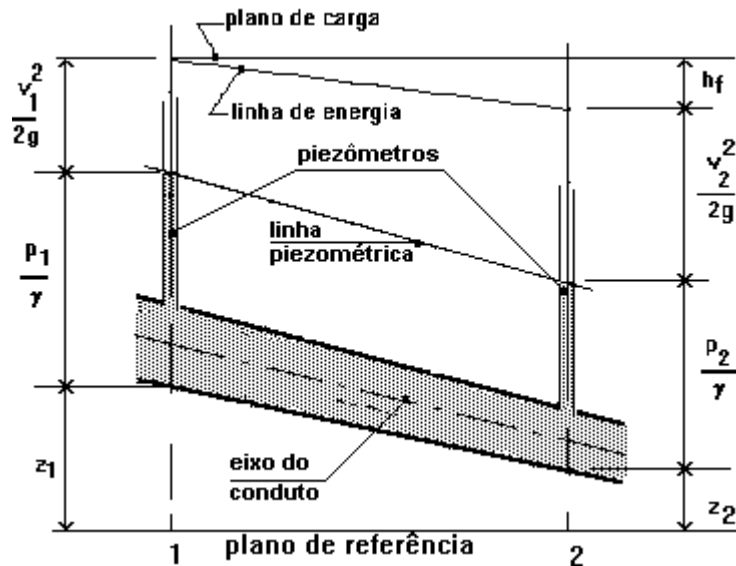


FIGURA VI.1 - Elementos da equação de energia em conduto forçado

Sendo "a" e "b" duas seções distintas de uma mesma calha, distanciadas de "L", onde "a" situa-se a montante de "b" e, tendo em vista a condição de escoamento livre, $p_a = p_b = p_{atm}$ e $v_a = v_b$. A perda de carga unitária " h_f/L " pode ser considerada igual a própria declividade "I" de projeto para cada trecho de galeria, a medida que se admita regime permanente e uniforme na determinação das dimensões deste trecho. No Brasil, em geral emprega-se a fórmula de Chèzy com coeficiente de Manning, ou seja,

$$V = C \cdot (R \cdot I)^{1/2} \text{ onde } C = R^{1/6} \cdot n^{-1}$$

onde "n" é o coeficiente de Manning, função do acabamento das paredes.

VI.3.2. Formas

As seções circulares são as mais empregadas por sua maior capacidade de escoamento e pela facilidade de obtenção de tubos pré-moldados de concreto para confecção dos condutos.

Na ausência de tubos pré-moldados ou par galerias com diâmetros equivalentes superiores a 1,50m, situações pouco freqüentes em sistemas de micro-drenagem, pode-se recorrer ao emprego de seções quadradas ou retangulares, em geral, com paredes verticais em alvenaria e lajes horizontais em concreto armado.

VI.3.3. Dimensões

O diâmetro mínimo recomendado para galerias pluviais é de 400 mm. No entanto, é comum, principalmente em projetos de baixo custo, o emprego do diâmetro de 300 mm em trechos iniciais e em condutos de ligação.

As dimensões das galerias são sempre crescentes para jusante não sendo permitida a redução da seção no trecho seguinte mesmo que, por um acréscimo da declividade natural do terreno, o diâmetro até então indicado passe a funcionar superdimensionado.

Nos condutos circulares a capacidade máxima é calculada pela seção plena e nos retangulares recomenda-se uma folga superior mínima de 0,10m .

VI.3.4. Velocidades

Para que não haja sedimentação natural do material sólido em suspensão na água, principalmente areia, no interior das canalizações, a velocidade de escoamento mínima é de 0,75 m/s para que as condições de autolimpeza sejam assim preservadas.

Por outro lado, grandes velocidades acarretariam danos às galerias, tanto pelo grande valor de energia cinética como poder abrasivo do material sólido em suspensão. O valor limite de velocidade máxima é função do material de revestimento das paredes internas dos condutos. Em geral, velocidades de escoamento superiores a 4,0 m/s carecem de informações técnicas adicionais, justificando sua adoção pelo projetista .

VI.3.5. Declividade

A declividade de cada trecho é estabelecida a partir da inclinação média da do terreno ao longo do trecho, do diâmetro equivalente e dos limites de velocidade. Na prática os valores empregados variam normalmente de 0,3% a 4,0%, pois para declividades fora deste intervalo é possível a ocorrência de velocidades incompatíveis com os limites recomendados.

Terrenos com declividades superiores a 10% normalmente requerem do projetista soluções específicas para a situação. Em terrenos planos são freqüentes problemas de lançamento final de efluentes.

Hidraulicamente tem-se que quanto maior a declividade das galerias maior será a velocidade de escoamento e quanto maior as dimensões transversais dos condutos menor será a declividade necessária.

VI.3.6. Recobrimento da Canalização

Função da estrutura da canalização, adota-se como recobrimento mínimo 1,0 m e como limite máximo 4,0 m. Valores fora do intervalo citado, normalmente requerem tubos ou estruturas reforçadas e análises especiais que justifiquem a opção do projetista.

VI.4. Elementos geométricos das seções

VI.4.1. Seção Parcialmente Cheia: $y / D < 1,0$

Esta situação encontra-se esquematizada na Figura VI.2 onde "b" é a corda, "y" a altura (lâmina líquida), "do" o diâmetro da seção e "â" o ângulo central "molhado". Logo, geometricamente,

$$1 - \frac{2y}{d_o} = \cos \hat{a}$$

$$\hat{a} = 2 \arccos \left[1 - \frac{2y}{d_o} \right] \text{ em radianos ou } y/d_o = [1 - \cos(\hat{a}/2)]/2,$$

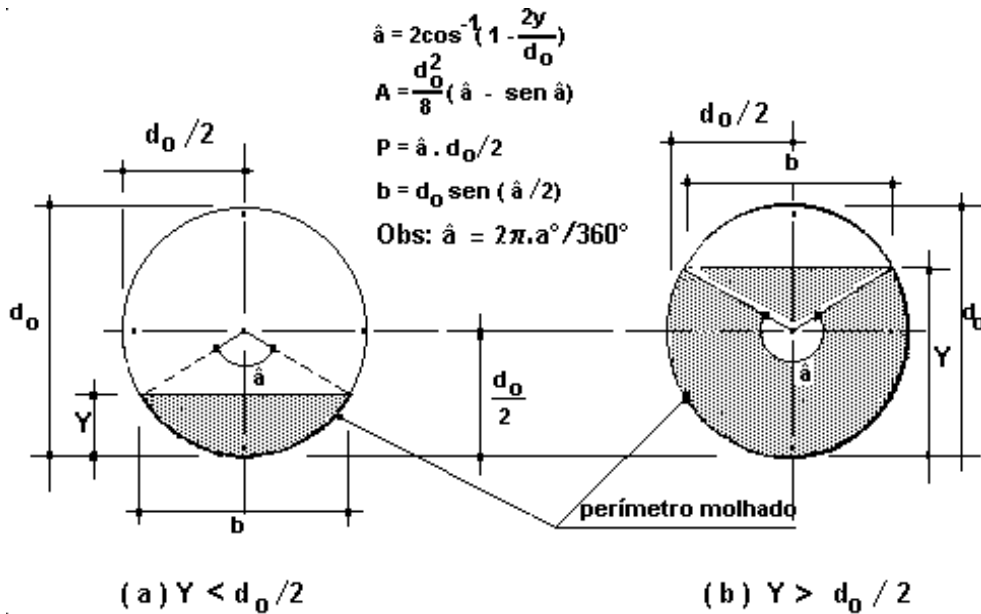


FIG. VI. 2 - Seção Parcialmente Cheia - $y / d_o < 1,0$

$$A \text{ (área molhada)} = \frac{d_o^2}{8} (\hat{a} - \text{sen } \hat{a}),$$

$$P \text{ (perímetro molhado)} = \hat{a} \cdot d_o/2,$$

$$R \text{ (raio hidráulico)} = \frac{d_o}{4} \left[1 - \frac{\text{sen } \hat{a}}{\hat{a}} \right],$$

$$b \text{ (corda)} = d_o \cdot \text{sen}(\hat{a}/2)$$

e, usando Manning, $\hat{a} = 6,063(nQ/I^{1/2})^{0,6} \cdot d_o^{-1,6} \cdot \hat{a}^{0,4} + \text{sen } \hat{a} .$

VI.11.3. Relação Entre os Elementos

$$A/A_o = \frac{1}{\text{sen } \hat{a}} \cdot 2\pi(\hat{a} - \text{sen } \hat{a}) \text{ e } P/P_o = \hat{a}/2\pi$$

$$R/R_o = 1 - \frac{\hat{a}}{\text{sen } \hat{a}}$$

$$V/V_o = \left[1 - \frac{\hat{a}}{\text{sen } \hat{a}} \right]^{2/3}$$

$$Q/Q_o = 2\pi(\hat{a} - \text{sen } \hat{a}) \cdot \left[1 - \frac{\hat{a}}{\text{sen } \hat{a}} \right]^{2/3}$$

Estas relações estão mostradas na Figura VI.3. Estas curvas poderão ser desenhadas a partir das expressões

$$A/A_o = (1/\pi) \left\{ \arccos \left[1 - \frac{2y}{d_o} \right] - \left[1 - \left(\frac{2y}{d_o} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \text{ e}$$

$$P/P_o = (1/\pi) \arccos \left[1 - \frac{2y}{d_o} \right].$$

VI.4. Exemplos

1. Encontrar um diâmetro capaz de transportar uma vazão de esgotos de 500l/s, sob uma declividade de 0,007m/m ($n = 0,015$)?

Solução:

$P/Q = 500 \text{ l/s}$ e $I = 0,007 \text{ m/m}$

a) pela Figura VI.4, onde se tem diâmetros e velocidades a seção plena em função da vazão e da declividade do trecho, $D = 700 \text{ mm}$;

b) analítica ($Q = A.V$)

$Q = 0,50 = (\pi \cdot D^2/4) \times [0,015 - 1 \cdot (D/4)^{2/3} \cdot 0,007^{1/2}] = 0,2876 \cdot D^{8/3}$, logo $D = 700 \text{ mm}$.

2. Qual a capacidade do trecho trabalhando cheio?(escoamento livre!)

Solução:

Para $D = 0,70 \text{ m}$ e $I = 0,007 \text{ m/m}$

a) pela Figura VI.4, $Q = 670 \text{ l/s}$;

b) pelas equações analíticas, $Q = (\pi \cdot 0,72/4) \times [0,015 - 1 \cdot (0,7/4)^{2/3} \cdot 0,007^{1/2}] = 672 \text{ l/s}$.

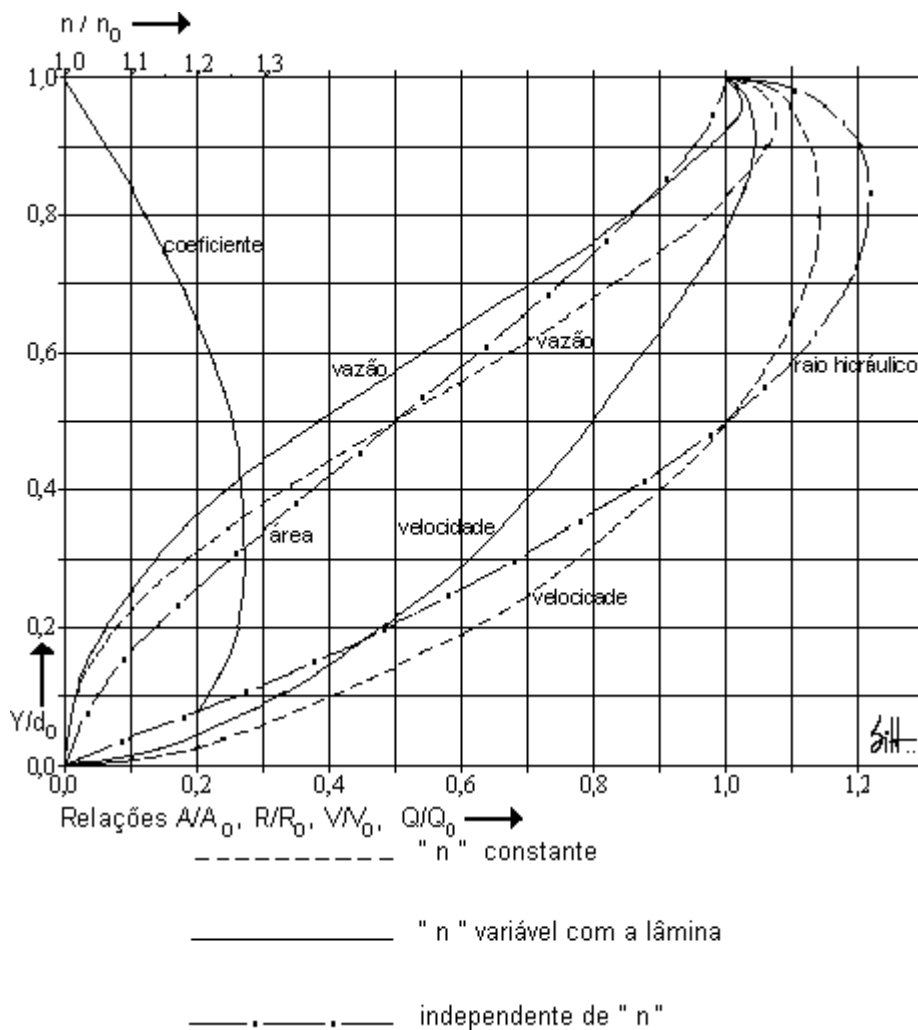


FIG. VI. 3 - Elementos hidráulicos de seções circulares

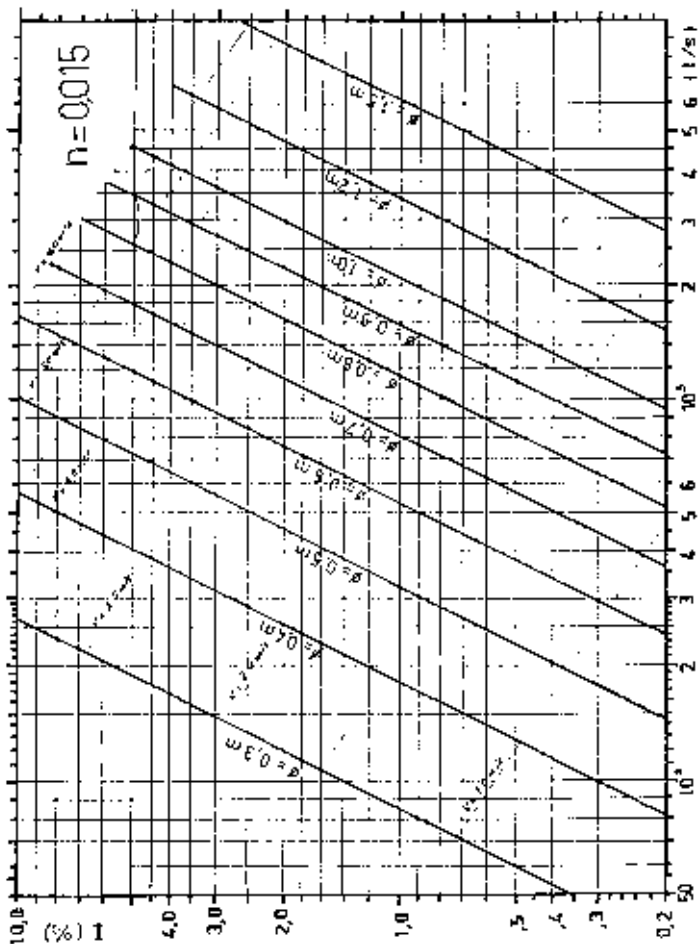


Figura VI.4 - Diâmetros e velocidades a seção plena em função da vazão e da declividade do trecho

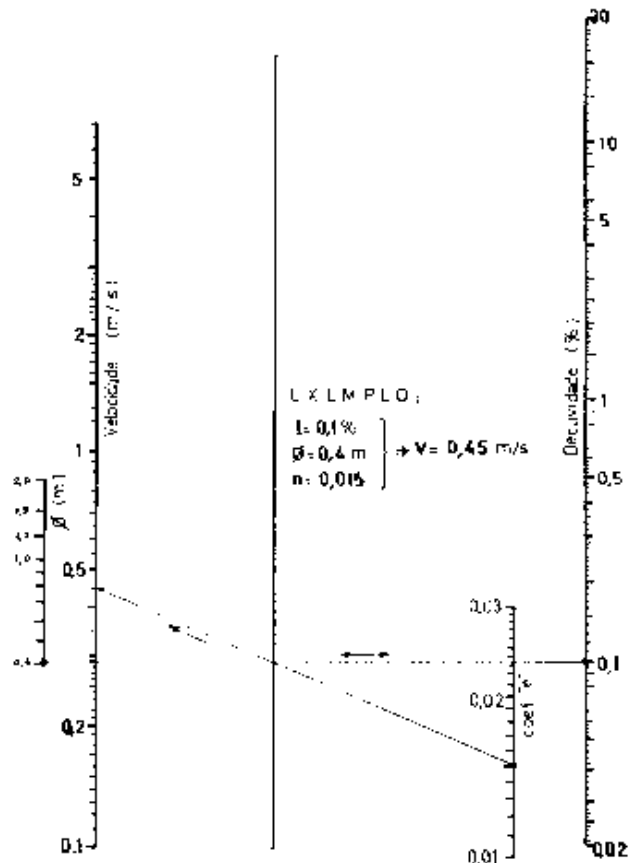


Figura VI.5 - Diâmetros e velocidades a seção plena em função da vazão e da declividade do trecho

VI.5. Exercícios

1. Por que os coletores pluviais são dimensionados de modo a garantirem o escoamento livre?
2. Por que emprega-se períodos de retorno máximos de 10 anos em obras de micro-drenagem?
3. Explicar as razões técnicas para limitações nos valores de velocidade, declividade e diâmetros, quanto a condições de autolimpeza e aspectos construtivos.
4. Resolver os seguintes problemas utilizando soluções gráficas e analíticas ($n = 0,015$):
 - a) um coletor circular tem uma declividade de $0,005 \text{ m/m}$ e deverá transportar 332 l/s como cheia de projeto. Qual será seu diâmetro e velocidade do escoamento;
 - b) idem se $Q = 772 \text{ l/s}$ e $I = 0,006 \text{ m/m}$;
 - c) calcular a lâmina líquida de um conduto circular com diâmetro de 600 mm transportando 218 l/s ($I = 0,2\%$); verificar também a velocidade de escoamento.
 - d) um trecho de coletor deve escoar durante uma chuva de projeto uma vazão de 1263 l/s . Sabendo-se que a declividade do trecho é de $0,05\%$ pede-se
 - diâmetro do trecho;
 - condições de funcionamento (y e V);
 - e) se em uma tubulação de 1200 mm de diâmetro em concreto escoar uma vazão de $1,29 \text{ m}^3/\text{s}$ com uma lâmina absoluta de 80 cm , qual é a declividade e a velocidade de projeto?
5. A lâmina líquida em um coletor pluvial, em concreto armado, $D = 600 \text{ mm}$, é de 387 mm para uma declividade de $0,3\%$. Qual a vazão e a velocidade de projeto?
6. Qual a altura molhada em uma tubulação de esgotos pluviais $D = 500 \text{ mm}$, transportando $204,52 \text{ l/s}$ sob uma declividade de $0,0045 \text{ m/m}$?
7. Que área de projeto poderia ser esgotada por um coletor de esgotos pluviais de 400 mm de diâmetro, assentado sob $0,35\%$ de declividade? Sabe-se que a equação de chuva local é a mesma do exercício IV.6.7. $C = 0,60$.
8. Uma galeria pluvial de $1,5 \text{ m}$ de diâmetro, deverá transportar 3366 l/s quando funcionar a $3/4$ de seção. Determinar a descarga e a velocidade de escoamento quando a lâmina líquida for de apenas $0,45\%$ da altura útil.
9. Determinar a área, o perímetro e o raio hidráulico molhados no coletor do exercício anterior, quando y/D for igual a $0,60$.
10. Duas galerias circulares se encontram. Uma tem $1,10 \text{ m}$ de diâmetro, declividade de $0,0004 \text{ m/m}$ e apresenta uma vazão máxima de $408,6 \text{ l/s}$. A segunda tem $0,60 \text{ m}$ de diâmetro, declividade de $0,001 \text{ m/m}$ e uma vazão máxima de 122 l/s . Pergunta-se a que altura da maior deverá entrar a menor para que, na situação de vazões máximas não apareçam condições de remanso ou de vertedouro livre? $n = 0,015$.
11. Calcular a capacidade máxima de um trecho de galeria de $0,60 \text{ m}$ de diâmetro, $n = 0,015$, com 1% de declividade, funcionando a $3/4$ de seção?