

Capítulo 4

Calhas e condutores

“Em 1891 Manning desenvolveu a sua equação para o cálculo da velocidade em canais abertos”

David Maidment, 1993



Capítulo 4- Calhas e condutores

Seção	Título
4.1	Introdução
4.2	Ilhas de calor
4.3	Vazão na calha
4.4	Fórmula de Manning
4.5	Declividade das calhas
4.6	Materiais das calhas
4.7	Condutores verticais de águas pluviais
4.8	Critério prático do Botelho
4.9	Critério prático dos norte-americanos
4.10	Critério do prof. Lucas Nogueira Garcez
4.11	Critério que adota o diâmetro para a declividade de 0,5%
4.12	Critério de Frutuoso Dantas- Condutores verticais para calhas planas
4.13	Calha plana
4.14	Chuvas intensas
4.15	Dimensionamento de calhas e condutores

Capítulo 4- Calhas e condutores

4.1 Introdução

Existe norma da ABNT para instalações prediais de águas pluviais, mas não existem normas para galerias de águas pluviais nas vias públicas. De modo geral as galerias nas vias públicas são calculadas a seção plena ou a $y/D=0,80$ enquanto em instalações prediais as tubulações são calculadas para $y/D= 2/3=0,67$.

As calhas e condutores verticais deverão obedecer às normas brasileiras de instalações de águas pluvial (NBR 10844 de dezembro de 1989 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT).

A duração da precipitação em um telhado usado no mundo inteiro é fixada em **t=5min** (NBR 10844/89) e para o autor, o período de retorno no Brasil levando em conta o problema das Ilhas de Calor, deverá **ser maior ou igual a Tr=25anos**

4.2 Ilha de calor

No mundo temos aumento da temperatura devido a mudanças climáticas e a urbanização. Vamos tratar somente do aumento da temperatura, precipitações, picos de vazão devido a urbanização. A grande preocupação no mundo é que hoje 48% da população vive nas cidades com tendência de aumentar 1,8% ao ano até 2025 quando atingiremos 60%.

Pela primeira vez na história L. Howard em 1833 documentou a diferença de temperatura na área urbana e rural, mas somente em 1958 que o termo Ilha de Calor Urbana (ICH) foi dado por Manley.

Já foi provado por Karl, 1988 que em cidades com mais de 100.000 habitantes existe a diferença de temperatura entre a área urbana e a área rural

A Ilha de Calor Urbana pode ser explicada pelo balanço de energia urbana conforme Oke, 1987.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A.$$

Sendo:

Q^* = variação da radiação de fluxo

Q_F = fluxo de calor antropogênico do processo de combustão

Q_H = calor sensível

Q_E = calor latente

ΔQ_S =variação do calor armazenado

ΔQ_A = variação de calor por advecção

Conforme Oke, 1973 temos duas equações que fornecem a diferença de temperatura máxima Δt entre a área urbana e a rural em função da população

$$\Delta t = 2,96 \times \log P - 6,41 \quad (\text{para cidades americanas})$$

$$\Delta t = 2,01 \times \log P - 4,06 \quad (\text{para cidades européias})$$

A Ilha de Calor depende da estrutura e geometria da cidade. Os altos edifícios, a rugosidade das construções, a densidade urbana, os corredores com ruas estreitas ou largas alteram a velocidade do vento, alterando a temperatura e as precipitações atmosféricas.

O aumento das intensidades das precipitações se dá principalmente nas precipitações de curta duração e não nas longas. Em Chicago foi medido aumento de 12% das precipitações em relação à área rural.

Nos Estados Unidos em quatro cidades o aumento das precipitações foi de 5% a 8%. Estudos em Washington DC mostrou aumento das precipitações de 7% e em New York de 16%. Pesquisas feitas na cidade de São Paulo mostraram variação de 6°C.

Huff e Changnon, 1971 que acharam um aumento no verão das precipitações de curta duração de 6% a 15% na cidade de Saint Louis com raio de 40km devido a urbanização.

Pesquisas feitas por Thulen, 2000 mostrou em laboratório que conforme a quantidade de prédios, altura, ventos nos corredores poderá haver um aumento de precipitação de até 28,8mm.

Portanto, todas as pesquisas nos levam a crer que com a urbanização há um crescimento da temperatura criando Ilhas de Calor em cidades com mais de 100.000 habitantes e que também aumentam as precipitações de curta duração. As precipitações de curta duração são de: 5min, 15min, 30min, 1h e 2h.

A plantação de árvores, aumento da área de infiltração no solo e telhados verdes poderão amenizar o aumento de temperatura nas ilhas de calor.

Observar que comentamos o aumento da temperatura devido a urbanização, bem como das precipitações de curta duração, mas não tocamos no assunto das mudanças climáticas de média e longa duração, apesar que a cidade com seus prédios de concreto causam a mudança climática.

Para o Brasil até o presente momento não conheço nenhuma pesquisa que mostre que deveremos mudar o período de retorno de microdrenagem nas cidades onde há Ilha de Calor ou equação que aumente as intensidades pluviométricas.

Na Inglaterra isto já foi feito devido as mudanças climáticas sendo o período de retorno em microdrenagem de 30anos e 200 anos para macrodrenagem, deixando de lado períodos de retornos de 10anos e 100anos respectivamente. Na cidade de São Paulo vários especialistas em drenagem já estão utilizando período de retorno de 25anos ao invés do tradicional $Tr=10$ anos.

Em conclusão a urbanização pode conduzir a aumento de temperatura e aumento de precipitações de curta duração, dependendo do tamanho da cidade, da altura dos edifícios e da densidade.

Dica: em cidades acima de 100.000 habitantes considerar período de retorno de 25anos ou maior.

4.3 Vazão na calha

Para o cálculo da vazão a NBR 10844/89

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad \text{(Equação 4.1)}$$

onde:

Q=vazão do projeto (L/min)

I=intensidade pluviométrica (mm/h)

A=área de contribuição (m²)

Uma observação interessante sobre a Equação (4.1) é que usando o conceito da fórmula racional, ela não leva em conta o coeficiente de escoamento superficial C para o dimensionamento das calhas e condutores.



Figura 4.1 – Calha

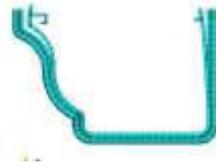
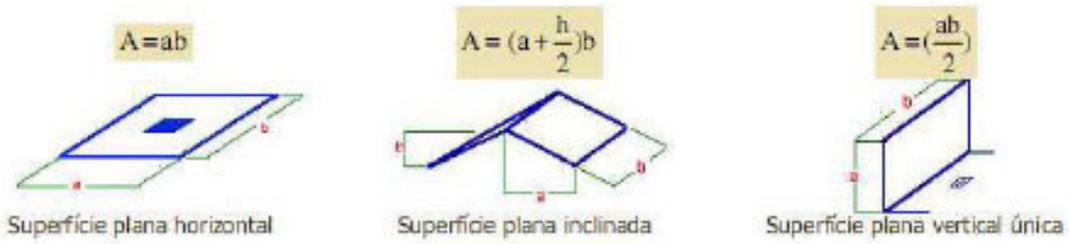


Figura 4.2- Calha



Tigre

Figura 4.3- Dimensionamento de calhas e condutores

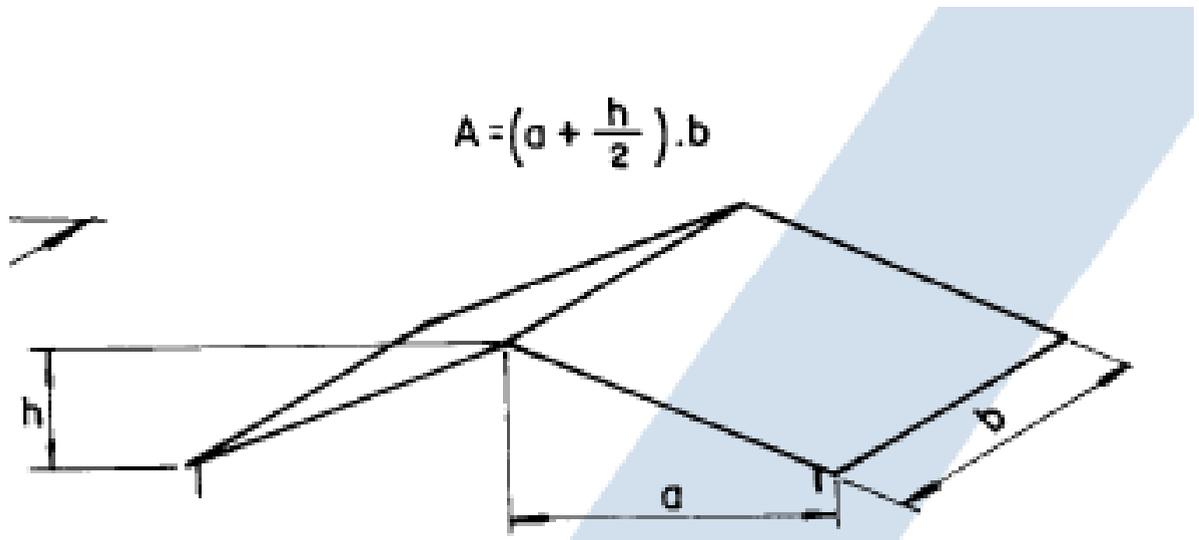


Figura 4.4- Dimensionamento de calhas e condutores

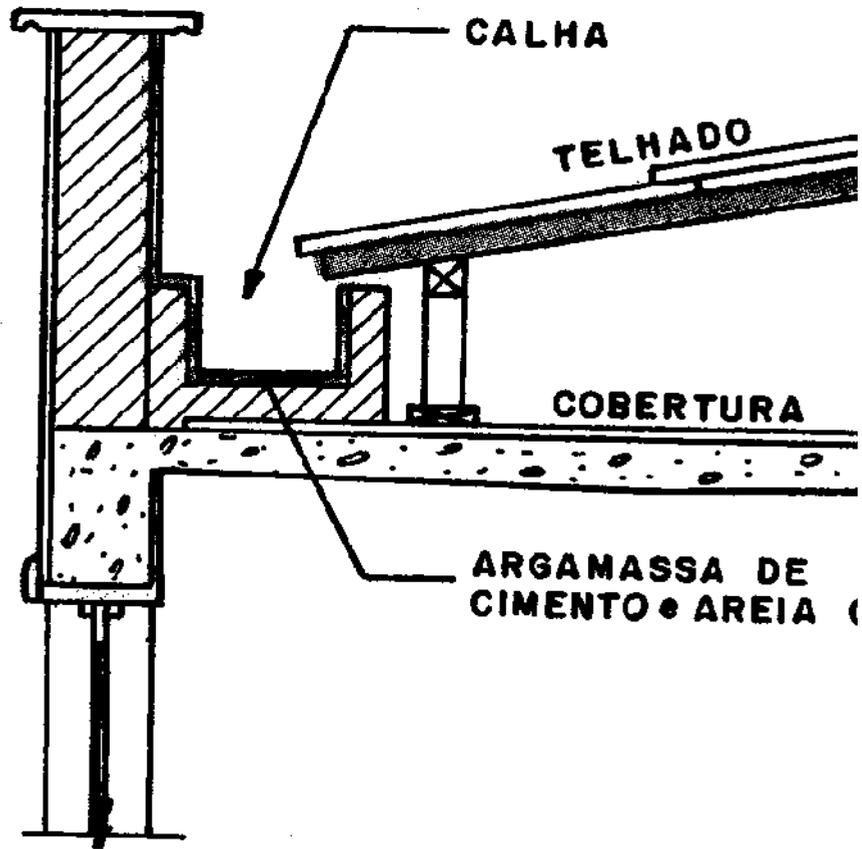


Figura 4.5- Calha de platibanda

CALHA DE PLATIBANDA

NOTAR O COLETOR VERTICAL E O BUZINOTE

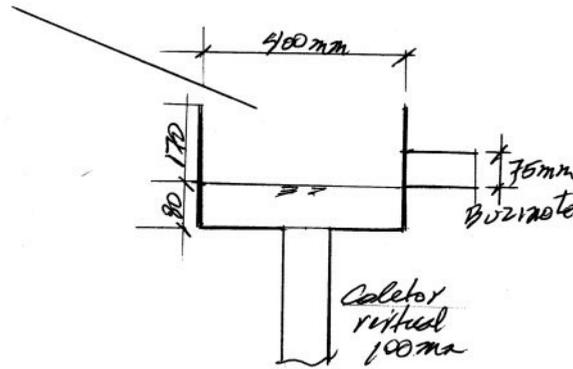


Figura 4.6- Calha de platibanda com buzinetes

CALHAS E CONDUTORES: ABNT NBR 10.844/89

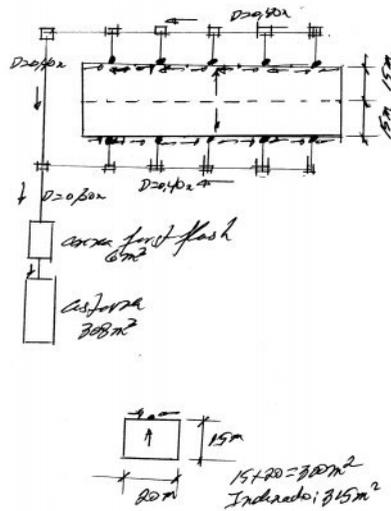


Figura 4.7- Esquema de condutores verticais

Exemplo 4.1

Calcular a vazão na calha para uma chuva crítica de 200mm/h e área de 800m².
Usando a Equação (4.1) temos:

$$Q = \frac{I \cdot A}{60}$$
$$Q = \frac{200 \cdot 800}{60} = 2.666 \text{ L/min}$$

A vazão na calha será de 2.666 L/min ou 44,4 L/s

4.4 Fórmula de Manning

Para dimensionamento de calhas a NBR 10844/89 adota a fórmula de Manning:

$$Q = 60.000 \cdot (A/n) \cdot R_H^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Sendo:

Q=vazão do projeto (L/min)

A = área da seção molhada (m²)

P= perímetro molhado (m)

R_H= A/P = raio hidráulico (m)

n= coeficiente de rugosidade de Manning conforme Tabela (4.1)

S=declividade (m/m)

Os condutores horizontais são calculados para lâmina de água máxima de 2/3 do diâmetro, ou seja, 0,67D.

Tabela 4.1- Coeficientes de rugosidade n de Manning

Material	Coeficiente de rugosidade n de Manning
Plástico, fibrocimento, aço, metais não ferrosos	0,011
Ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
Cerâmica, concreto não alisado	0,013
Alvenaria de tijolos não revestida	0,015

Fonte: ABNT NBR 10.844/89

Exemplo 4.2

Dado uma calha retangular em que a declividade seja de 0,5%, altura 10cm, largura de 40cm e consideramos o valor de n=0,013.

S=0,5% =0,005m/m

A área molhada será A= 10cm x 40cm = 0,10 . 0,40 = 0,04m²

O perímetro molhado P= 40cm+ 10cm+10cm =60cm = 0,60m

O raio hidráulico R_H= A/P = 0,04 m²/ 0,60m =0,066m

Usando a Equação (4.2) temos:

$$Q = 60.000 \cdot (A/n) \cdot R_H^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$Q = 60.000 \cdot (0,04/0,013) \cdot 0,066^{2/3} \cdot 0,005^{1/2}$$

$$Q = 2.171 \text{ L/min} = 36,2 \text{ L/s}$$

A Tabela (4.2) da ABNT NBR 10.844/89 fornece as vazões em litros por minuto com altura 2/3 de acordo com os diâmetros dos condutores horizontais de seção circular e da declividade.

Tabela 4.2-Capacidade de condutores horizontais com altura da lâmina líquida igual a 2/3 do diâmetro da seção circular com vazões em litros/ minuto

Diâmetro Interno D (mm)	n=0,011				n=0,012				n=0,013			
	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	242	343	486
125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

Fonte: ABNT NBR 10.844/89

A Equação (4.2) não é prática de ser aplicada em dimensionamento de águas pluviais de instalações hidráulicas, daí Botelho e Ribeiro, 1998 apresentam na p.132 método prático para se achar a altura da lâmina de água, usando a Tabela (4.3).

Tabela 4.3- Porcentagem da vazão plena em função da relação H/D

Porcentagem do diâmetro (H/D)	Porcentagem da vazão plena
5%	0,5
10%	2
20%	9
30%	20
40%	34
50%	50
60%	67
66%	77
70%	83
80%	97
90%	106
100%	100

Fonte: Botelho e Ribeiro, 1998.

Exemplo 4.3

Calcular a capacidade de um tubo de PVC de 100mm e declividade de 4% escoando a seção plena.

Para o PVC $n=0,011$ e consultando a Tabela (4.2) achamos para a declividade de 4% a vazão de 575 litros/minuto.

Como esta é a vazão para $2/3$ da altura da seção, isto é, $H=0,66.D$ e como para a seção plena o valor da altura de 66% corresponde na Tabela (4.3) a 77% então:

$$Q_{\text{plena}} = 100 \cdot 575 / 77 = 746 \text{ L/min}$$

Exemplo 4.4

Calcular para o mesmo Exemplo (4.3) a altura da lâmina de água do tubo de 100mm quando a vazão for 430 L/min.

$$430 / 746 = 57\%$$

Consultando a Tabela (4.3) achamos por aproximação 57% para o valor de H/D . Fazendo-se as contas o valor da lâmina de água na calha será de 57mm

4.5 Declividade das calhas

As calhas, condutores e superfícies horizontais deverão ter declividades mínimas de 0,5%. Existe tabela especial da qual constam os nomes das cidades e a intensidade pluviométrica em milímetros por hora, para períodos de retornos de 1 ano, 5 anos e 25 anos.

Algumas normas de outros países admitem para residências que a calha tenha diâmetro mínimo de 125mm e declividade de 0,0042m/m (0,42%) e ainda que os coletores verticais devem estar distantes no máximo 12m ou ter uma queda continua de 9m para o caso de a água ser descarregada em um reservatório.

Quando uma calha é muito comprida há o perigo do entupimento, do tamanho da calha e da declividade mínima que tem que ser deixada que é 0,5%. Muitas vezes é necessário dividir a calha em diferentes condutores verticais.

A norma da ABNT não prevê **calhas planas**, mas como elas existem, o assunto será explicado no item 4.12 conforme estudos do prof. Frutuoso Dantas, 1989.

Comprimento das calhas entre os condutores verticais

Não existe uma recomendação da norma da ABNT sobre o comprimento do trecho da calha entre dois coletores. Uma recomendação prática do dr. Isaac Moysés Zimelman é colocar intervalos menores entre os condutores e usar **diâmetro do coletor vertical mínimo de 100mm. Outra recomendação é não se colocar condutores verticais nos cantos.**

No caso de uma indústria com 100m de telhado podemos colocar 6 condutores verticais sendo o espaçamento $100/6 = 16,67\text{m}$. Nos cantos o condutor estará a $16,67/2 = 8,33\text{m}$

Extravasor

O dr. Isaac Moysés Zimelman coloca extravasores que servem de aviso se há entupimento na calha. O extravasor é em geral um tubo saliente de 75mm ou 100mm que é colocado acima do nível máximo de água da calha calculado. O extravasor é colocado no ponto alto da calha, recomendando-se que a calha tenha sempre dois trechos inclinados com 0,5% até 2% caindo cada trecho para um coletor vertical.

Em caso em que não haja possibilidade de se colocar o extravasor no meio, o mesmo pode ser feito junto ao coletor próximo aos cantos.

4.6 Materiais das calhas

O material de fabricação das calhas deve ter as seguintes características:

- ser resistente à corrosão;
- ter longa durabilidade;
- não deve ser afetada por mudanças de temperatura;
- lisa;
- leve e
- rígida.

Os materiais das calhas podem ser: chapas galvanizadas, liga de alumínio e plásticos.

As telhas podem ser de (Ruskin, 2001):

- aço galvanizado corrugado;
- chapas de liga de alumínio;
- chapas de fibrocimento corrugado;
- telhas de barro;
- telhas de madeira;
- fibras de vidro e
- neoprene/hypolon.

Ao selecionar o material para telhado deve ser levado em conta os seguintes fatores (Ruskin, 2001):

- durabilidade;
- impermeabilidade;
- disponibilidade;
- resistência ao incêndio;
- facilidade de conserto;
- fatores de custo;
- leveza;
- baixo índice de expansão e
- boa aparência.

Conforme NBR 10.844/89 as calhas de beiral ou platibanda, quando a saída estiver a menos de 4m de uma mudança de direção, a vazão de projeto de ser multiplicada pelos coeficientes da Tabela (4.4).

Tabela 4.4- Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto

Tipo de curva	Curva a menos de 2m da saída	Curva entre 2 e 4m da saída
Canto reto	1,2	1,1
Canto arredondado	1,1	1,05

Fonte: NBR 810.844/89

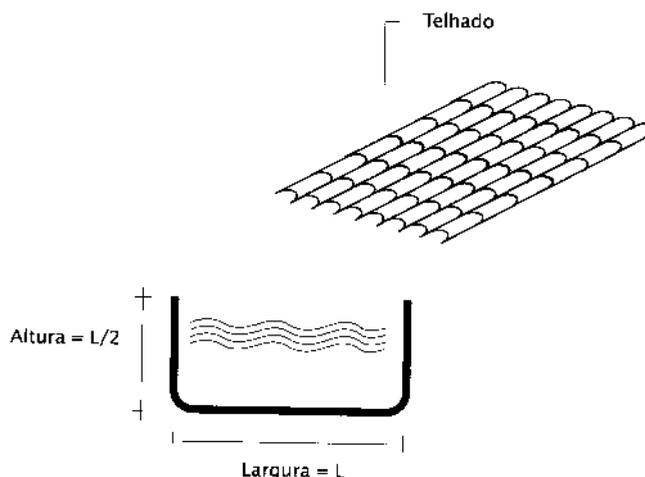


Figura 4.8- Esquema de calha retangular para captação de águas de chuvas em telhados
 Fonte: Tomaz, 1999

Tabela 4.5- Dimensão mínima da calha em função do comprimento do telhado:

Comprimento do telhado (m)	Largura da calha (m)
Até 5	0,15
5 a 10	0,20
10 a 15	0,30
15 a 20	0,40
20 a 25	0,50
25 a 30	0,60

Nota: entende-se como comprimento do telhado a medida na direção do escoamento da água.
 Fonte: Azevedo Netto e Vanderley de Oliveira Melo, Instalações prediais 1988

Tabela 4.6- Diâmetros da rede coletora águas pluviais em função da área e declividade

Diâmetro	Declividade /Área	Declividade e /Área	Declividade ade /Área	Declividade /Área
(mm)	0,5%	1,0%	2,0%	4,0%
75		69	97	139
100		144	199	288
125	167	255	334	502
150	278	390	557	780
200	548	808	1.105	1.616
250	910	1.412	1807	2.824

Fonte: Macintyre in Azevedo Netto e Vanderley de Oliveira Melo, Instalações prediais 1988.

Baseado na precipitação crítica de 150mm/h (2,52 litros/minuto/m²).

Tabela 4.7- Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade n=0,011 (vazão em L/min)

Diâmetro interno (mm)	Declividade		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

Fonte: ABNT NBR 10.844/89

4.7 Condutores verticais de águas pluviais

O diâmetro interno mínimo de condutores verticais de seção circular é de 70mm.

A NBR 10844/89 aconselha ainda que a drenagem deva ser feita por mais de uma saída, exceto em casos em que não houver riscos de obstrução.

A NBR 10.844/89 apresenta dois gráficos para se determinar a vazão de um condutor vertical em litros/minuto de águas pluviais levando em consideração a altura da lâmina d'água da calha H em milímetros e do comprimento do condutor vertical em metros.

São fornecidos dois gráficos conforme a aresta viva ou na existência de um funil na saída que estão nas Figuras (4.4) e (4.5);

CRITÉRIO DA ABNT PARA SAÍDA EM ARESTA VIVA

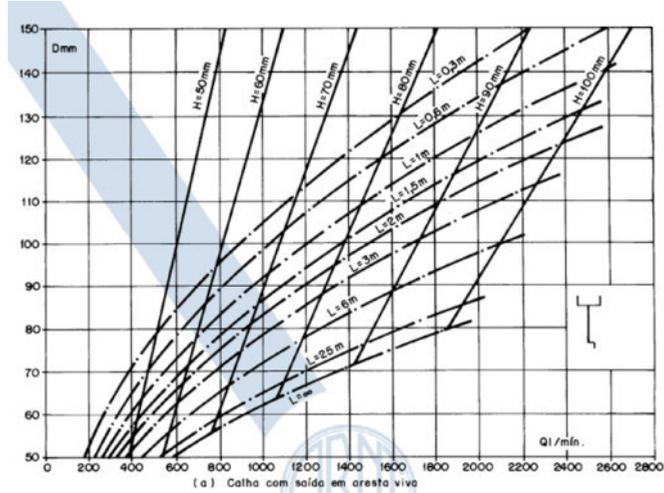


Figura 4.9- Dimensionamento de conduto vertical conforme ABNT para arestas vivas

CRITÉRIO DA ABNT PARA SAÍDA EM FUNIL

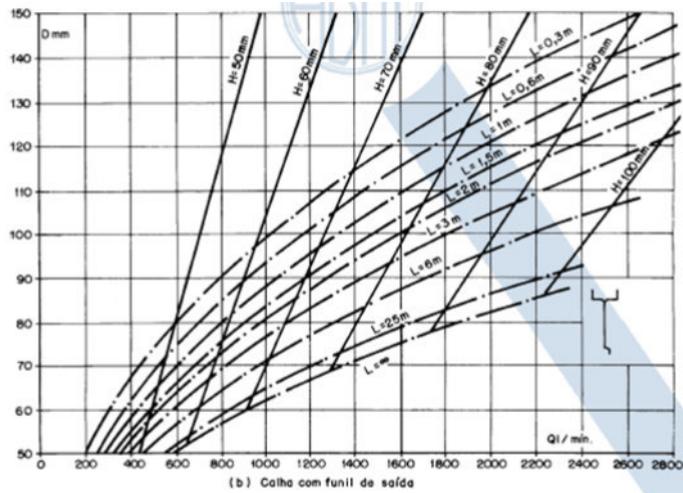


Figura 4.10- Dimensionamento de conduto vertical conforme ABNT para saída em funil

Exemplo 4.5

Dada uma calha com vazão de 1600 L/min para um pé-direito $L=3,00\text{m}$. Dimensionar o coletor vertical com arestas vivas conforme norma da ABNT.

Conforme Figura (4.4) entrando na abscissa com $Q=1600\text{ L/h}$ e subindo até encontrar o pé-direito $L=3,00\text{m}$ achamos na ordenada o diâmetro do coletor vertical $d=100\text{mm}$ e altura H interpolando entre $H=80\text{mm}$ e $H=90\text{mm}$ e achamos $H=84\text{mm}$. A altura da água na calha $H=84\text{mm}$ é sobre o coletor vertical.

Podemos adotar o coletor vertical $d=100\text{mm}$ ou adotar $d=150\text{mm}$ para termos menor altura sobre o mesmo.

4.8 Critério prático do Botelho

Botelho e Ribeiro 1998 no seu livro “Instalações Prediais feitas para durar” cita um método prático que fornece o diâmetro do tubo para as chuvas críticas de 120mm/h e 150mm/h.

Tabela 4.8 – Condutores verticais de pluviais

Diâmetro (mm)	Vazão (L/s)	Área do telhado (m ²)	
		Chuva de 150mm/h	Chuva de 120mm/h
75	1,76	42	53
100	3,78	90	114
125	7,00	167	212
150	11,53	275	348
200	25,18	600	760

Fonte: Botelho e Ribeiro, 1998, p.133

4.9 Critério prático dos norte-americanos

Macintyre cita que os norte americanos consideram chuva de **200mm/h** usam a taxa de $0,50\text{cm}^2$ de condutor por metro quadrado de área de telhado. A Tabela (4.9) mostra o exemplo para os diâmetros nominais dos coletores verticais encontrados no Brasil.

Tabela 4.9- Diâmetro do coletor vertical em função da área de telhado usando a taxa de $0,50\text{cm}^2/\text{m}^2$ de telhado

Diâmetro Nominal	Área da seção transversal do condutor vertical (cm ²)	Área da telhado (m ²)
75	44,2	88
100	78,5	157
150	176,7	353
200	314,2	628
250	490,9	982
300	706,9	1414

4.10 Critério do prof. Lucas Nogueira Garcez

José Martiniano de Azevedo Netto e Vanderley de Oliveira Mello, 1988 no seu livro “Instalações prediais hidráulico-sanitárias” usam a Tabela (4.10) para o dimensionamento dos condutos verticais.

Supõe-se que a chuva crítica seja de **150mm/h**.

Tabela 4.10- Área máxima de cobertura para condutores verticais de seção circular

Diâmetro (mm)	Área máxima de telhado (m ²)
75	42,0
100	91,0
150	275,0

Fonte: Lucas Nogueira Garcez in Azevedo Netto e Vanderley de Oliveira Melo, *Instalações prediais 1988*.

4.11 Critério que adota o diâmetro para a declividade de 0,5%

Este critério pode ser usado para um pré-dimensionamento. No livro “Manual de Hidráulico Azevedo Netto”, 1998 de Ito et al, apresenta a Tabela (4.11) de condutores verticais de seção circular conforme o *National Plumbing Code* nos Estados Unidos.

Tabela 4.11- Condutores verticais- área máxima de contribuição em m².

Diâmetro	Veloc. Max (m/s)	Vazão máxima (L/min)	Intensidade em mm/h e L/min x m ²							
			100 1,67	125 2,08	150 2,50	175 2,92	200 3,33	225 3,75	250 4,17	275 4,58
75	1,28	339,6	203,4	163,3	135,8	116,3	102,0	90,6	81,4	74,1
100	1,50	706,9	423,3	340,0	228,8	242,1	212,3	188,5	169,5	154,3
125	1,81	1.332,7	798,0	640,7	533,1	456,4	400,2	355,4	319,6	291,0
150	1,97	2.088,8	1.250,8	1.004,2	835,5	715,3	627,3	557,0	500,9	456,1
200	2,38	4.486,2	2.686,3	2.156,8	1.794,5	1.536,4	1.347,2	1.196,3	1.075,8	979,5
250	2,75	8.099,4	4.849,9	3.893,9	3.239,8	2.773,8	2.432,3	2.159,8	1.942,3	1.768,4

Fonte: *National Plumbing Code* in Manual de Hidráulico Azevedo Netto, 1998 p.

596.

Code.

Nota: vazão máxima a seção plena e velocidade máximas do *National Plumbing Code*.

No livro Manual de Hidráulica Azevedo Netto, 1998 p.602, o professor da Fatec engenheiro Edmundo Pulz usou as pesquisas do Prof. Carlito F. Pimenta e usando como lâmina da calha máxima de 0,5D, sendo D o diâmetro do coletor vertical.

Foi considerado nas pesquisa do prof Pimenta o 1º estagio onde não existe grelha e $h^* \leq 0,5$ (p.599 do Manual de Hidráulico Azevedo Netto, 1998) e ainda o bocal reto tipo A (ângulo reto).

Pulz justifica que os bocais apresentam capacidades de descargas que não passam de 15% e, portanto, os mais usados na prática são os bocais em ângulo reto (tipo A), pois são de fácil confecção.

A fórmula a ser usada para os bocais em ângulo reto tipo A é:

$$Q^* = 0,00513 \cdot h^{*5/3}$$

(Equação 4.3)

Sendo $h^* = h/D = 0,50$ então

$$Q^* = 0,00513 \cdot h^{*5/3} = 0,00513 \cdot (0,50)^{5/3} = 0,0016 \text{ m}^3/\text{s} = 97 \text{ L/min}$$

A razão de semelhança $\lambda = D/50$

Na Tabela (4.12) estão os cálculos efetuados por Pulz e acrescentado da chuva crítica de 200mm/h.

Tabela 4.12- Capacidade dos condutores verticais de seção circular

Diâmetro nominal	λ	Q= 97. $\lambda^{5/2}$ (L/min)	Intensidade de chuva crítica adota	
			150mm/h	200mm/h
75	1,5	267,3	107 m ²	80 m ²
100	2	548,7	219 m ²	165 m ²
150	3	1512,1	605 m ²	454 m ²
200	4	3104,0	1242 m ²	932 m ²
250	5	5422,5	2169 m ²	1628 m ²
300	6	8553,6	3421 m ²	2569 m ²

Fonte: Manual de Hidráulica Azevedo Netto, p. 603

4.12 Critério de Frutuoso Dantas- Condutores verticais para calhas planas

No Simpósio Nacional de Instalações Prediais realizados em São Paulo na Escola Politécnica em 1989 na p. 201 do livro “Instalações Hidráulicas III” foi apresentado trabalho do prof. João Frutuoso Dantas Filho. O prof. Frutuoso Dantas cita que seu trabalho é fundamentado *no Digest 107 do Building Research Station (BRS)* de Londres, intitulado *Roof Drainage* impresso em 1969.

No trabalho apresentado é apresentado duas fórmulas básicas para condutores verticais, sendo uma para $H/d < 1/3$ e outra para $H/d > 1/3$, sendo “d”o diâmetro do condutor e H a altura da lâmina d água na calha.

No caso a calha é de platibanda e considerada na horizontal e o telhado é considerado plano também. Daí o motivo de termos diâmetros maiores nos coletores verticais do que o obtido na norma da ABNT.

$$Q = 0,0116 \cdot d \cdot H^{1,5} \quad \text{para } H/d < 1/3 \quad \text{(Equação 4.4)}$$

$$Q = 0,0039 \cdot d^2 \cdot H^{0,5} \quad \text{para } H/d > 1/3 \quad \text{(Equação 4.5)}$$

Sendo:

Q=capacidade de descarga do condutor vertical junto à calha (L/min);

d= diâmetro do coletor junto à calha (mm);

H= altura da lâmina d’água na entrada do condutor (mm).

Quando $H/d < 1/3$ a entrada do condutor funcionará como uma represa e no segundo caso quando $H/d > 1/3$ a entrada do condutor funcionará como um orifício.

Considerando que a altura $H/d = 0,50$ então deverá ser usada a Equação (4.5):

$$\begin{aligned} H &= 0,50 \cdot d \\ Q &= 0,0039 \cdot d^2 \cdot H^{0,5} \\ Q &= 0,0039 \cdot d^2 \cdot (0,5 \cdot d)^{0,5} \\ Q &= 0,00276 \cdot d^{2,5} \\ d &= (Q/0,00276)^{(1/2,5)} = 10,56 \times Q^{0,4} \end{aligned}$$

$$d = 10,56 \times Q^{0,4} \quad (\text{Equação 4.6})$$

Exemplo 4.6

Calcular o diâmetro do coletor vertical para Q=1500 L/min.

$$d = 10,56 \times Q^{0,4}$$

$$d = 10,56 \times 1500^{0,4} = 197\text{mm}$$

Adoto d=200mm

A altura da água na calha sobre o coletor vertical será $H=0,5 \times d= 0,5 \times 200= 100\text{mm}$

Aplicando-se a Equação (4.6) obtemos a Tabela (4.13)

Tabela 4.13- Diâmetro do coletor vertical para calha plana e telhado plano. A altura da água na calha H obedece a relação $H/d=0,50$ usando a fórmula de Frutuoso Dantas e área de contribuição para intensidades de chuva de 150mm/h, 200mm/h e 230mm/h

Diâmetro do coletor vertical d mm	Vazão de pico Q L/min	Intensidade de chuva (m/h)		
		150	200	230
75	134	54	40	35
100	276	110	83	72
125	482	193	145	126
150	761	304	228	198
200	1561	625	468	407
250	2727	1091	818	712
300	4302	1721	1291	1122

4.13 Calha plana

Geralmente as calhas de platibanda são planas e devem ter largura mínima de 300mm para que uma pessoa possa realizar inspeções, limpezas e reparos conforme Frutuoso Dantas, 1989 conforme Figura (4.6).

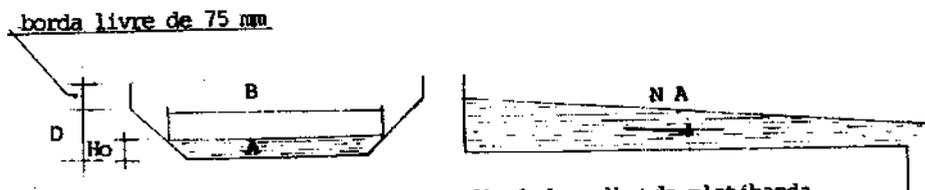


Figura 4.11- Seção transversal e longitudinal da calha de platibanda horizontal
 Fonte: Frutuoso Dantas, 1989

A capacidade de escoamento da calha horizontal, descarregando livremente é dada pela equação.

$$Q = 0,0058 (A^3 / B)^{0,5} \quad (\text{Equação 4.7})$$

Sendo:

Q= vazão de pico (L/min)

A= área da seção molhada da calha (mm²)

B= largura da lamina da água da seção molhada (mm)

A profundidade na calha horizontal variará de Ho até 2 x Ho. No local onde está o coletor vertical será Ho e no ponto mais distante será 2xHo.

A altura da calha horizontal será 2xHo mais a margem de segurança de 75mm.

Considerando uma seção retangular onde a altura da seção é Ho desenvolvendo a equação abaixo teremos:

$$Q = 0,0058 (A^3 / B)^{0,5}$$
$$Ho = 31,5 x (Q / B)^{0,67} \quad (\text{Equação 4.8})$$

Exemplo 4.7

Dimensionar uma calha horizontal de platibanda para vazão de pico de 2000 L/min.

O cálculo é feito por tentativas usando a Equação (4.8) devendo a largura ser maior ou igual 300mm.

Vamos supor seção retangular com base de 400mm e vamos calcular A e B e comparar com o valor

$$Ho = 31,5 x (Q / B)^{0,67}$$
$$B = 400\text{mm}$$
$$Ho = 31,5 x (2000 / 400)^{0,67}$$
$$Ho = 93\text{mm}$$

A altura da calha horizontal será: 2 x 93mm + 75mm (folga)= 261mm. Adoto 300mm

Caso queiramos calcular o condutor vertical usaremos a Equação (4.5) de Frutuoso Dantas para H/d > 1/3.

$$Q = 0,0039 \cdot d^2 \cdot H^{0,5} \quad \text{para } H/d > 1/3$$
$$H = 93\text{mm}$$
$$2000 = 0,0039 \cdot d^2 \cdot 93^{0,5}$$
$$d = 231\text{mm}$$
$$\text{Adoto } d = 250\text{m}$$
$$\text{Conferindo } H/d = 93\text{mm} / 250\text{mm} = 0,372 > 1/3 \quad \text{OK}$$

Outra justificativa para o dimensionamento das calhas planas é supor que o movimento seja uniforme regularmente variado.

Quando o veio líquido cai no condutor vertical teremos no local a altura critica yc que pode ser calculada para seção retangular da seguinte maneira:

$$yc = (Q^2 / B^2 \cdot g)^{(1/3)}$$

Podemos notar que yc tem o mesmo valor de Ho e adotamos para dimensionamento o dobro de yc.

Se quisermos calcular a máxima distância da curva de remanso até atingir o valor $2y_c$, mas o valor y_c já é um valor seguro.

4.14 Chuvas Intensas

Quando não dispomos de equações de chuvas podemos fazer uma estimativa usando o programa Pluvio2.1, bastando entrar em com o Estado e a Cidade usando o site:

www.ufv.br/dea/gprh/software.htm

A principal forma de caracterização de chuvas intensas é por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação, representada por:

$$I = \frac{K \cdot T^a}{(t + b)^c} \quad (\text{mm/h})$$

Sendo:

I = intensidade máxima média de precipitação, mm/h;

T = período de retorno (anos)

t = duração da precipitação (min)

K, a, b, c = parâmetros relativos à localidade (Estado, município)

Exemplo 4.8

Estimar a intensidade de chuva máxima na cidade de Guarulhos localizada no Estado de São Paulo usando o programa Pluvio2.1 para período de retorno de 25anos e tempo de concentração de 5min.

Usando o programa Pluvio2.1 achamos:

K= 1988,845

a=0,111

b=20,449

c=0,839

$$I = \frac{K \cdot T^a}{(t + b)^c} \quad (\text{mm/h})$$

$$I = \frac{1988,845 \cdot T^{0,111}}{(t + 20,449)^{0,839}} \quad (\text{mm/h})$$

T= 25 anos

t= tempo de concentração= 5min

$$I = \frac{1988,845 \cdot 25^{0,111}}{(5 + 20,449)^{0,839}} = 188 \text{ mm/h}$$

4.15 Dimensionamento de calhas e condutores

Base: ABNT NBR 10.844/89

Exemplo 4.9

Dimensionar as calhas, condutores verticais e horizontais de um telhado de uma indústria com 3.000m².

Condutor vertical

Cada coletor vertical recebe água de chuva de área de 15m de largura por 25m de comprimento, ou seja, 15m x 25m= 375m².

- Largura b=25m
- Comprimento na horizontal a= 15m
- Altura do telhado h=1,5m (adotado)
- Área A= (a + h/2) b = (15+1,5/2) . 25= 394m²

Usaremos a Tabela (4.13) de Frutuoso Dantas para **calha plana** para intensidade de chuva de 200mm/h pois consideramos a calha plana..

Para área de 394m² (375m²)de telhado achamos tubo vertical de **diâmetro de 200m**.

Vazão de projeto na calha

$$Q= I \times A / 60$$

Sendo:

Q= vazão de projeto em L/min

I= intensidade de chuva =200mm/h (para período de retorno de maior ou igual 25anos)

A=394m²= área do telhado

$$Q= 200\text{mm/h} \times 394\text{m}^2 / 60 = 1313 \text{ L/min} = 22 \text{ L/s} = 0,022\text{m}^3/\text{s}$$

Para a metade do telhado de 1.500m²

- Largura b=100m
- Comprimento a = 15m
- Altura do telhado h=1,5m
- Área ½ telhado =A = (a + h/2) b = (15+1,5/2) x 100= 1.575m²
- **Para telhado inteiro = 2 x 1.575m²=3.150m²**

Conforme Tabela (4.5) do prof. Azevedo Neto para calha de comprimento de até 15m a largura da calha mínima deverá ser de **0,30m**. Entretanto, adotaremos 0,50m.

Fórmula de Manning

$$V= (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot S^{0,5}$$

$$Q= A \cdot V$$
$$Q= A \cdot (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot S^{0,5}$$

A= 0,50 . y

0,022m³/s= (0,50 . y) x (1/0,015) . R^(2/3) . 0,005^{0,5}

R= A/P= (0,50 x y)/ (0,50 + 2y)

Por tentativas achamos y=0,07m

Adotamos altura com folga $H=0,07 + 0,20\text{m}=0,27\text{m}$
 Adoto $H=0,30\text{m}$

Condutor horizontal

A metade do telhado tem 1.500m^2 , mas devido a inclinação do mesmo o valor é 1.575m^2 .

- $Q= I \times A/ 60$ (NBR 10.844/89)
- Sendo:
- $Q=$ vazão de pico na calha (L/min)
- $A= 1.575\text{m}^2$ (meio telhado)
- $I= 200\text{mm/h}$ adotado
- $Q= 200\text{mm/h} \times 1.575\text{m}^2/60= 5.250 \text{ L/min}=88 \text{ L/s}=0,088\text{m}^3/\text{s}$

Dimensionamento do diâmetro da tubulação

Usaremos a Tabela (4.14) de Metcalf & Eddy, 1981, não esquecendo que em instalações prediais a altura da lâmina da água máxima é $2/3$ (0,67) de D.

Tabela 4.14-Valores de K' para secção circulas em termos do diâmetro do tubo
 $Q= (K'/n) D^{8/3} \cdot S^{1/2}$

$\frac{d^b}{D}$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.000047	0.00021	0.00050	0.00093	0.00150	0.00221	0.00306	0.00407	0.00521
0.1	0.00651	0.00795	0.00953	0.0113	0.0131	0.0152	0.0173	0.0196	0.0220	0.0246
0.2	0.0273	0.0301	0.0331	0.0362	0.0394	0.0427	0.0461	0.0497	0.0534	0.0572
0.3	0.0610	0.0650	0.0691	0.0733	0.0776	0.0820	0.0864	0.0910	0.0956	0.1003
0.4	0.1050	0.1099	0.1148	0.1197	0.1248	0.1298	0.1349	0.1401	0.1453	0.1506
0.5	0.156	0.161	0.166	0.172	0.177	0.183	0.188	0.193	0.199	0.204
0.6	0.209	0.215	0.220	0.225	0.231	0.236	0.241	0.246	0.251	0.256
0.7	0.261	0.266	0.271	0.275	0.280	0.284	0.289	0.293	0.297	0.301
0.8	0.305	0.308	0.312	0.315	0.318	0.321	0.324	0.326	0.329	0.331
0.9	0.332	0.334	0.335	0.335	0.335	0.335	0.334	0.332	0.329	0.325
1.0	0.312									

Adapted from Def. 2

Fonte: Metcalf&Eddy, 1981

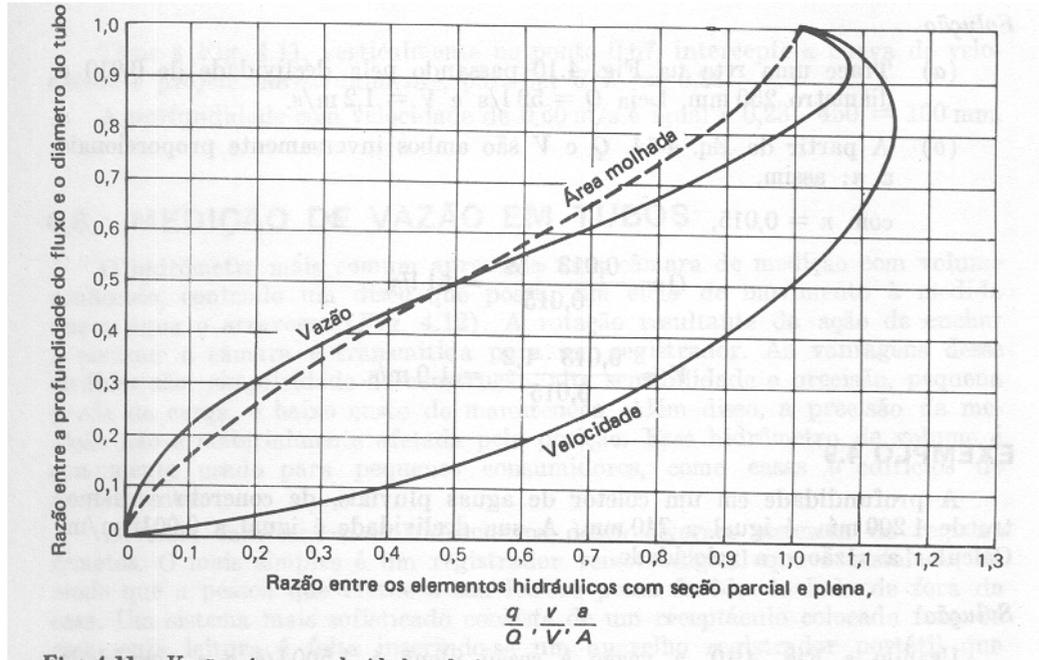


Figura 4.12- Elementos hidráulicos de tubo circular
Fonte: Hammer 1979

Exemplo 4.10- Determinar a altura da lâmina líquida

Determinar a altura da lâmina líquida e a velocidade de um escoando com secção parcialmente cheia.

Dados:

$$D=0,40\text{m (adoto)}$$

$$S= 0,005\text{m/m (mínima declividade)}$$

$$n=0,015 \text{ (coeficiente de rugosidade de Manning para concreto)}$$

$$Q=0,088\text{m}^3/\text{s}$$

Solução

$$Q= (K'/n) D^{8/3} \cdot S^{1/2}$$

Vamos tirar o valor de K'

$$K' = (Q \cdot n) / (D^{8/3} \cdot S^{1/2})$$

$$K' = (0,088 \times 0,015) / (0,4^{8/3} \times 0,005^{1/2}) = 0,22$$

Entrando na Tabela (4.14) com $K' = 0,22$ achamos $d/D=0,62$

$$\text{Portanto, } d = 0,62 \times D = 0,62 \times 0,40 = 0,25\text{m}$$

Vamos achar a velocidade.

Usemos a equação da continuidade $Q = A \times V$ portanto $V = Q/A$

Temos que achar a área molhada.

Entrando na Figura (4.7) com $d/D=0,62$ na ordenada e no gráfico da área molhada A achamos na abscissa o valor 0,62.

$$\text{Então: } A_{\text{molhada}}/A_{\text{total}} = 0,62$$

$$\text{Como: } A_{\text{total}} = \text{PI} \times 0,40^2 / 4 = 0,126\text{m}^2$$

$$A/A_{\text{total}} = 0,62$$

$$A = 0,62 \times 0,126\text{m}^2 = 0,07812\text{m}^2$$

$$V = Q/A = 0,088\text{m}^3/\text{s} / 0,07812\text{m}^2 = 1,13\text{m/s}$$

Exemplo 4.11- Determinar o diâmetro.

Dados:

$$Q=0,088\text{m}^3/\text{s}$$

$$d/D=0,67 \text{ (ABNT NBR 10.844/89 exige lâmina máxima de 2/3 do diâmetro)}$$

$$S=0,005 \text{ m/m (declividade mínima)}$$

$$n=0,015 \text{ (concreto)}$$

$$Q= (K'/n) D^{8/3} \cdot S^{1/2}$$

Como $d/D= 0,67$ entrando na Tabela (4.14) achamos $K' = 0,246$

Vamos então tirar o valor de D .

$$Q= (K'/n) D^{8/3} \cdot S^{1/2}$$

$$D = [(Q \cdot n) / (K' \cdot S^{1/2})]^{(3/8)}$$

$$D = [(0,088 \times 0,015) / (0,246 \times 0,005^{1/2})]^{(3/8)} = 0,38\text{m}$$

Portanto, adotamos **$D=0,40\text{m}$**

Caso queiramos calcular o diâmetro da tubulação de concreto para todo o telhado teremos:

$$Q = 0,088\text{m}^3 \times 2 = 0,176\text{m}^3/\text{s}$$

Exemplo 4.12- Determinar o diâmetro.

Dados:

$$Q=0,176\text{m}^3/\text{s}$$

$$d/D=0,67 \quad (\text{ABNT NBR 10.844/89 exige lâmina máxima de } 2/3 \text{ do diâmetro})$$

$$S=0,005 \text{ m/m (declividade mínima)}$$

$$n=0,015 \text{ (concreto)}$$

$$Q = (K'/n) D^{8/3} \cdot S^{1/2}$$

Como $d/D = 0,67$ entrando na Tabela (4.14) achamos $K' = 0,246$
Vamos então tirar o valor de D .

$$Q = (K'/n) D^{8/3} \cdot S^{1/2}$$
$$D = [(Q \cdot n) / (K' \cdot S^{1/2})]^{(3/8)}$$
$$D = [(0,176 \times 0,015) / (0,246 \times 0,005^{1/2})]^{(3/8)} = 0,49\text{m}$$

Portanto, adotamos **$D=0,50\text{m}$**

Nota:

- As calhas, coletores verticais e horizontais são para vazão de pico.
- Existe a norma da ABNT NBR 10.844/89 para instalações de águas pluviais prediais
- Para aproveitamento de água de chuva só consideramos a projeção e não a área inclinada.
- Cidades acima de 100.000 hab problema de Ilha de Calor e devemos adotar período de retorno de 25anos ou maior devido a problemas de transbordamento de **calhas**