



BRUNO HENRIQUE ROSA

**DIMENSIONAMENTO DE CALHAS RETANGULARES PARA
INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS**

Lavras – MG

2019

BRUNO HENRIQUE ROSA

**DIMENSIONAMENTO DE CALHAS RETANGULARES PARA INSTALAÇÕES
PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**Lavras – MG
2019**

BRUNO HENRIQUE ROSA

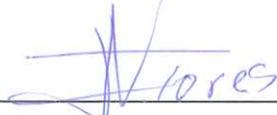
**DIMENSIONAMENTO DE CALHAS RETANGULARES PARA INSTALAÇÕES
PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS
DESIGN OF RECTANGULAR FLUMES FOR BUILDING RAIN WATER SUPPLY
SYSTEMS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 24 / 06 / 2019.



Dr. Elvis Márcio de Castro Lima – DRS/UFLA



M. Sc. José Henrique Nunes Flores – DRS/UFLA



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me dar saúde e coragem para vencer os desafios desta importante etapa de minha vida.

Agradeço ao meu orientador Michael, por todo apoio, paciência e humildade em compartilhar comigo todo seu conhecimento, e por não medir esforços para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos pesquisadores membros da banca examinadora que dividiram comigo este momento tão marcante em minha formação acadêmica: Elvis Márcio de Castro Lima e José Henrique Nunes Flores.

Agradeço aos meus pais e minha irmã, por todo carinho, amor e apoio incondicional.

Por fim, expresso minha gratidão a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desse sonho.

RESUMO

Com a urbanização das bacias hidrográficas ocorre a redução de áreas verdes e, em muitos casos, a impermeabilização das superfícies, canalização de corpos d'água, entre outras intervenções que ocasionam mudanças no ciclo hidrológico. Em escala micro, essas alterações já se processam nos terrenos que recebem as edificações que compõe a paisagem urbana, sendo a água das chuvas interceptada principalmente pelas coberturas das edificações, escoando por rufos, calhas, condutores verticais e horizontais, chegando até a rede de drenagem pluvial. O escoamento por essas instalações se dá principalmente via condutos livres, porém, há casos em que possa se processar via condutos forçados. Para seu dimensionamento são propostas tabelas e ábacos apresentados na literatura da área ou mesmo na NBR 10844, sendo a vazão de escoamento dependente da Intensidade Média Máxima esperada para a localidade, vinculadas a um tempo de recorrência e de duração da chuva. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo apresentar equações que auxiliem no dimensionamento de calhas retangulares executadas em chapas metálicas utilizadas em instalações hidráulicas prediais, levando em consideração também as variáveis hidrológicas presentes no processo. Para isso, diferentes cenários foram simulados, considerando diferentes superfícies disponíveis ao deflúvio superficial, intensidades de precipitação, inclinação e largura da calha. Pôde-se observar que o uso dos modelos matemáticos ajustados pode, na maioria dos casos, levar ao subdimensionamento da altura das calhas, o que não seria interessante, em função do risco de extravasamento. Entretanto, o dimensionamento com o uso de equações lineares é aconselhável em função de sua precisão e confiabilidade, apesar destas serem específicas para determinados cenários.

Palavras-chave: Condutos Livres, Estruturas Hidráulicas, Hidrologia Urbana, Modelos Matemáticos, Projeto.

ABSTRACT

With the urbanization of the watersheds a reduction of green areas occurs and, in many cases, making surfaces impermeable, channeling of water bodies, among other interventions that cause changes in the water cycle. On a micro scale, these alterations are already taking place in the lands that receive the buildings of the urban landscape, with rainwater being intercepted mainly by the roofs of the buildings, flowing through ruts, flumes, vertical and horizontal conductors, reaching the rainfall drainage network. The flow through these facilities is mainly via open channels, however, there are cases where it can be processed by pressurized pipes. For their design, tables and abacuses are presented in Brazilian literature of the area or even in NBR 10844, with the flow rate dependent on the Maximum Average rate of Rainfall expected for the locality, linked to a time of recurrence and rain duration. Thus, this work has the objective of presenting equations that help in the design of rectangular channels made of metal material used in hydraulic installations, considering also the hydrological variables present in the process. For this, different scenarios were simulated, considering different surfaces available to runoff, rainfall rate, slope and flume width. It could be observed that the use of the adjusted mathematical models can, in most cases, lead to the under-dimensioning of the height of the gutters, which would not be interesting, due to the risk of extravasation. However, design using linear equations is advisable because of its accuracy and reliability, although these are specific to certain scenarios.

Keywords: Open Channels, Hydraulic Structures, Urban Hydrology, Mathematical Models, Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema típico para escoamento de águas pluviais.....	15
Figura 2 - Seções usuais de calhas.....	16
Figura 3 – Esquemas indicativos para cálculos de áreas de contribuição de vazão.	18
Figura 4 – Elementos geométricos de uma seção de escoamento de um canal.....	22
Figura 5 – Distribuição da velocidade em diferentes seções artificiais.....	24
Figura 6 – Representação de um canal com seção transversal retangular e alguns de seus parâmetros geométricos.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto para calhas que possuem curvas	16
Tabela 2 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (Vazão em L/min).....	19
Tabela 3 – Coeficientes de rugosidade de Manning em função do material da parede do conduto	21
Tabela 4 - Equações para obtenção da altura de calha retangular para diferentes áreas de cobertura (A), inclinações (i) e larguras (b) das calhas e respectivos coeficientes de correlação	29
Tabela 5 - Equações para obtenção da altura de calha retangular em diferentes inclinações do conduto	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	10
1.1.1	Objetivo Geral.....	10
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Hidrologia Urbana	12
2.2	Instalações Hidráulicas Prediais	13
2.3	Instalações Hidráulicas Prediais de Águas Pluviais.....	14
2.3.1	Partes Constituintes do Sistema de Águas Pluviais	15
2.3.1.1	Calhas	15
2.3.1.2	Condutores Verticais.....	20
2.3.1.3	Condutores Horizontais	20
2.3.2	Materiais	20
2.3.3	Hidráulica de Condutos Livres em Regime Uniforme	22
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
	APÊNDICE A – Tabelas altura e largura da calha.....	36

1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais antigos, a água foi importante objeto de estudo do homem. Se tinha o conhecimento de que um abundante fornecimento de água era a grande necessidade das civilizações, assim, a população utilizava a água em cisternas e dispunham de poços para seu abastecimento. Em períodos de secas onde os poços e cisternas se esgotavam, a água era conduzida dos lagos ou rios próximos por meio de canais abertos, com declividade natural, para os depósitos que abastecia as comunidades.

Com o processo de urbanização, o caminho natural das águas na bacia hidrográfica é alterado. Analisando em menor escala, como por exemplo um terreno edificado, as águas pluviais que caem sobre este são interceptadas pelas coberturas e superfícies impermeáveis, assim é importante a utilização de meios para determinação de sua vazão visando a confecção do projeto de instalações prediais de águas pluviais.

O sistema predial de águas pluviais é composto por calhas, condutores verticais e horizontais que são responsáveis por coletar e conduzir a água da chuva até os locais permitidos, normalmente, em condutos livres, em que há atuação da pressão atmosférica sobre a superfície livre da água.

Para o dimensionamento de calhas a norma NBR 10844 (ABNT, 1999) fixa que as calhas devem ter capacidade para escoar a água da chuva correspondente a 5 anos de período de retorno, com uma duração de 5 minutos. A norma indica o dimensionamento das calhas com o uso da equação de Manning, trazendo tabelas específica para dimensionamento de calhas em formato semicircular da seção de escoamento.

Diante disso e visto que uma das calhas comumente utilizada na construção civil é a calha retangular fabricada com chapas galvanizadas, e diante da ausência de materiais específicos de tal tema, o presente trabalho irá propor equações que auxiliem no dimensionamento de tais calhas de maneira precisa e prática, a fim de contribuir para a comunidade técnico-científica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver equações de dimensionamento de calhas retangulares para instalações prediais de águas pluviais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Obter a lâmina d'água em calhas retangulares por meio da equação de Manning utilizando como variáveis a Intensidade Média Máxima de precipitação, superfície do telhado, inclinação e largura da calha; e
- Ajustar coeficientes de equações para dimensionamento de calhas retangulares em função de diferentes variáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Hidrologia Urbana

De acordo com Silveira e Tucci (2004, p.35) o ciclo hidrológico é o “fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação da terra”.

O elemento fundamental de análise do ciclo hidrológico é a bacia hidrográfica, que pode ser definida como um sistema físico em que o volume de água precipitado em determinada área de captação natural é a entrada, e o volume de água escoado por um único ponto de saída (exutório) é a saída. Considerando-se como perdas desse sistema os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente (SILVEIRA; TUCCI, 2004).

Com o processo de urbanização, há a redução de áreas verdes, o aumento da impermeabilização das superfícies, a canalização de corpos d'água, entre outras intervenções no ambiente que ocasionam mudanças no ciclo hidrológico da bacia antropizada, entre as principais alterações estão a redução da infiltração da água no solo, o aumento do escoamento superficial, o aumento do pico de vazão (devido ao rápido transporte da água das chuvas até o exutório da bacia), a antecipação da ocorrência do pico de vazão, modificações estas que favorecem a ocorrência de inundações, erosões e influenciam negativamente a recarga do lençol freático (ALVES; LAMIN-GUEDES; MONTERO, 2016; TUCCI, 2005).

O escoamento superficial é tido como uma das fases do ciclo hidrológico mais atingidas pelas modificações em uma bacia hidrográfica, já que a cobertura vegetal é de suma importância para a infiltração da água no solo, pois nas situações em que a superfície está desprotegida de vegetação e/ou encoberta por impermeabilizações a taxa de infiltração diminui e, de modo consequente, aumenta o escoamento superficial (MENEZES, 2010).

De maneira geral, a hidrologia urbana é uma disciplina científica recente que “estuda as zonas metropolitanas analisando, em particular, o impacto do desenvolvimento das cidades no ciclo urbano da água e as formas de minimizar os seus efeitos negativos” (MARTINS et al., 2010, p. 2).

Ainda segundo o autor, o campo de estudo da hidrologia urbana está direcionado, principalmente, para a análise do escoamento superficial e suas relações com a proteção contra os fenômenos catastróficos provocados pelo movimento da água à superfície do solo, tais como cheias e deslizamentos de taludes.

De acordo com Vicentini (2000) o ramo de análise da hidrologia urbana não deve focar somente nos estudos quantitativos e qualitativos do escoamento na bacia antropizada, mas também apresentar novas soluções e medidas, conciliáveis com o cenário econômico contemporâneo.

Em estudos realizados por Tucci (2003), são destacados os impactos do desenvolvimento urbano na drenagem, em especial na qualidade da água, e cita as principais causas da poluição das águas pluviais:

- Poluição existente no ar que se precipita junto com a água;
- Lavagem das superfícies urbanas contaminadas com diferentes componentes orgânicos e metais;
- Resíduos sólidos representados por sedimentos erodidos pelo aumento da vazão (velocidade do escoamento) e lixo urbano depositado ou transportado para a drenagem;
- Esgoto cloacal que não é coletado e escoado através da drenagem.

2.2 Instalações Hidráulicas Prediais

Uma instalação predial de água fria consiste no conjunto de tubulações, equipamentos, reservatórios e dispositivos, designados ao abastecimento dos aparelhos e pontos de utilização de água da edificação, em volume satisfatório, conservando a qualidade da água provida do sistema de abastecimento (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Em concordância com a norma NBR 5626 (ABNT, 1998), as instalações prediais de água fria devem ser dimensionadas de maneira que, durante a vida útil do edifício que as inclui, cumpram aos seguintes requisitos:

- Preservar a potabilidade da água;
- Garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade adequada e com pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários, peças de utilização e demais componentes;
- Promover economia de água e energia;
- Possibilitar manutenção fácil e econômica;
- Evitar níveis de ruído inadequados à ocupação do ambiente.
- Proporcionar conforto aos usuários, prevendo peças de utilização adequadamente localizadas, de fácil operação, com vazões satisfatórias e atendendo às demais exigências do usuário.

Já o sistema de água quente é composto pelos seguintes componentes: tubulações de água fria para alimentação do sistema de água quente; aquecedores, que podem ser de passagem ou de acumulação; dispositivos de segurança; tubulação de distribuição de água quente; peças de utilização como: chuveiros, ducha, torneiras de pia, lavatório, tanque, entre outros (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

De acordo com a norma NBR 7198 (ABNT,1993), as instalações prediais de água quente devem ser projetadas e executadas de maneira a:

- Garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade suficiente e temperatura controlável, com segurança aos usuários, com as pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento das peças de utilização e das tubulações;
 - Preservar rigorosamente a qualidade da água;
 - Proporcionar o nível de conforto adequado aos usuários;
 - Racionalizar o consumo de energia.

A instalação predial de esgotos pode ser definida como o grupo de aparelhos sanitários, tubulações e dispositivos destinados a recolher e retirar da edificação as águas utilizadas para fins higiênicos, conduzindo-as ao destino apropriado, que comumente é indicado pelo poder público competente (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

A norma NBR 8160 (ABNT, 1999) é responsável por fixar as condições técnicas para projeto e execução das instalações prediais de esgotos sanitários, de modo a garantir higiene, segurança, economia e conforto aos usuários da edificação. Entre as considerações principais que norteiam os projetos estão:

- Rápido escoamento dos esgotos sanitários;
- Fácil desobstrução;
- Impedimento da passagem de gases e animais do interior das instalações para o exterior;
- Impedimento de acúmulo de gás no interior das tubulações.

2.3 Instalações Hidráulicas Prediais de Águas Pluviais

As coberturas das edificações são destinadas a proteger determinadas áreas das águas da chuva, e em consequência disto, tem-se um volume de água que deve ser corretamente coletado e transportado para locais permitidos pelos dispositivos legais (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

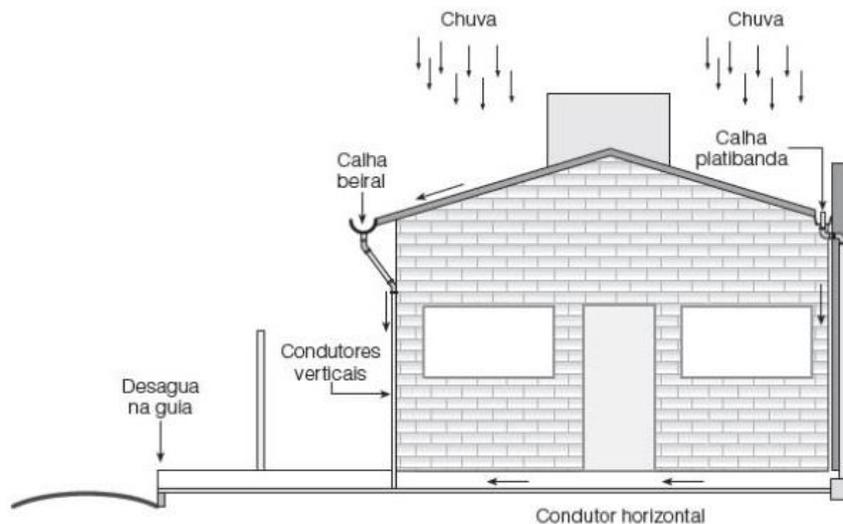
Ainda segundo o autor, a instalação de águas pluviais é utilizada unicamente para o recolhimento e condução das águas das chuvas, não se tolerando nenhuma interligação com outras instalações prediais, como as redes de esgoto.

A norma NBR 10844 (ABNT, 1989) é intendente destas instalações, e fixa exigências e os critérios necessários para garantir níveis aceitáveis de segurança, higiene, funcionalidade, durabilidade, conforto e economia. Entre as principais exigências estão:

- Ser estanques;
- Permitir a limpeza e desobstrução de qualquer ponto no interior da instalação;
- Nos componentes expostos, utilizar materiais resistentes às intempéries;
- Não provocar ruídos excessivos.

A Figura 1 abaixo exemplifica um modelo típico para escoamento de águas pluviais.

Figura 1 – Sistema típico para escoamento de águas pluviais.



Fonte: CARVALHO JÚNIOR (2013).

2.3.1 Partes Constituintes do Sistema de Águas Pluviais

2.3.1.1 Calhas

As calhas têm como função coletar as águas que precipitam nas coberturas das edificações e conduzi-las aos condutores verticais - prumadas de descida (BERNARDO, 1984).

De acordo com Carvalho Júnior (2013), o projetista deve detalhar o tipo de calha que será colocado no projeto – forma da seção, com ou sem platibanda, com ou sem beiral, com condutores embutidos ou externo - ou se será dispensada o seu uso. Na Figura 2 estão apresentadas seções usuais de calhas.

Figura 2 - Seções usuais de calhas.



Fonte: CARVALHO JÚNIOR (2013).

A declividade das calhas é de suma importância para que não haja o espoçamento de águas em seu interior, esta deve estar no sentido dos condutores verticais e ser a mínima possível. É considerado para inclinação das calhas de beiral e platibanda o valor mínimo de 0,5%, enquanto que para as calhas de água furtada possui a inclinação do próprio telhado (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Segundo Azevedo Netto e Alvarez (1982), quando há a mudança de direção da calha, a eficiência em relação ao seu escoamento é reduzida, como mostra a Tabela 1. Nesta, é apresentado o coeficiente pelo qual a vazão de projeto é majorada de acordo com a distância da curva à saída e com o tipo de curva.

Tabela 1 – Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto para calhas que possuem curvas.

Tipo de Curva	Curva a menos de 2 m da saída da calha	Curva entre 2 m e 4 m da saída da calha
Canto reto	1,20	1,10
Canto arredondando	1,10	1,05

Fonte: ABNT, NBR 10844/99.

Para melhor entendimento do dimensionamento, se faz necessário conhecer alguns conceitos de hidrologia, e segundo Botelho e Ribeiro Júnior (2010), podemos definir:

- Intensidade pluviométrica: é a medida em mm/h da quantidade de chuva que precipita num determinado local em certo tempo; e
- Período de retorno: número médio de anos em que, para mesma duração da precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica é igualada ou ultrapassada apenas uma vez.

Em concordância com a norma NBR10844 (ABNT, 1989), as calhas devem ter capacidade para escoar a água da chuva correspondente a 5 anos de período de retorno.

Segundo Machado e Silva (2011), a intensidade máxima média de precipitação (I) de determinada localidade com estipulado período de retorno pode ser obtida através da Equação

1 proposta por Chen (1983), que correlaciona as características fundamentais de uma chuva intensa.

$$I = \frac{K \cdot TR^a}{(t + c)^b} \quad (1)$$

Em que,

TR: tempo de retorno da chuva (anos);

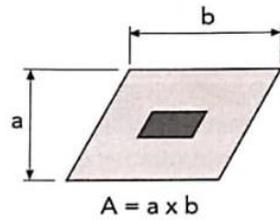
t: duração da chuva, utilizado 5 minutos; e

K, a, b e c: parâmetros dependentes da localidade.

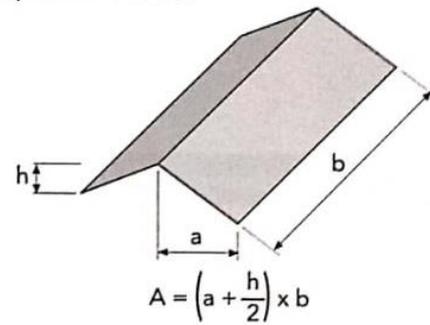
Além dos dados pluviométricos é necessário o conhecimento da área de contribuição do telhado, a norma NBR 10844 (ABNT, 1989) fornece parâmetros para o cálculo da área de contribuição em função da arquitetura dos telhados.

Figura 3 – Esquemas indicativos para cálculos de áreas de contribuição de vazão.

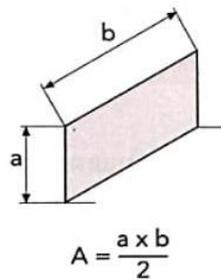
a – Superfície plana horizontal



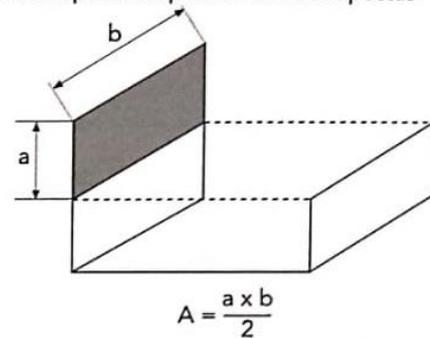
b – Superfície inclinada



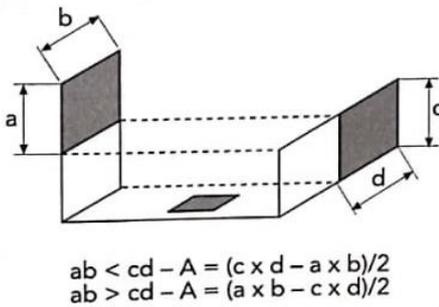
c – Superfície plana vertical única



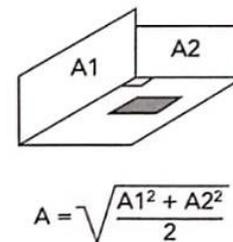
d – Duas superfícies planas verticais opostas



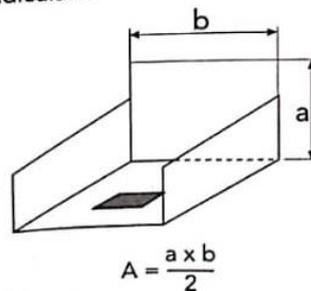
e – Duas superfícies planas verticais opostas



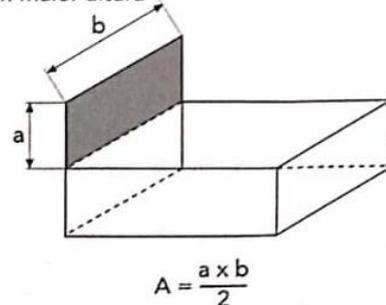
f – Duas superfícies planas verticais adjacentes e perpendiculares



g – Três superfícies planas verticais adjacentes e perpendiculares



h – Quatro superfícies planas verticais, sendo uma com maior altura



Fonte: ABNT, NBR 10844/99.

De acordo com Carvalho Júnior (2013), a vazão coletada pelas calhas poderá ser obtida por meio da Equação 2.

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad (2)$$

Em que,

Q: vazão (litros/min);

I: intensidade pluviométrica (mm/h); e

A: área de contribuição (m²).

Por fim, e em acordo com a norma NBR 10844 (ABNT, 1989), o dimensionamento das calhas é feito por meio da fórmula de Manning-Stricker, apresentada na Equação 3.

$$Q = \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (3)$$

Em que,

Q: vazão (m³/s);

S: área da seção molhada (m²);

n: coeficiente de rugosidade de Manning (s/m^{1/3})

R_H: raio hidráulico (m); e

i: declividade da calha (m/m).

A norma NBR 10844 (ABNT, 1999) apresenta a Tabela 2 para dimensionamento de calhas semicirculares, usando coeficiente de rugosidade n = 0,011 para os valores 0,5, 1,0, e 2,0% de declividade. Os valores de vazão apresentados foram calculados utilizando a fórmula de Manning-Strickler, com lâmina de água igual à metade do diâmetro interno.

Tabela 2 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade n = 0,011 (Vazão em L/min).

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

Fonte: ABNT, NBR 10844/99.

2.3.1.2 Condutores Verticais

São tubulações verticais que possui como finalidade recolher as águas coletadas pelas calhas e encaminhá-las até a parte mais baixa das edificações, lançando-as na superfície do terreno ou nas redes coletoras (CARVALHO JÚNIOR, 2013). Segundo Creder (2018), os condutores verticais devem ser projetados preferencialmente em uma só prumada, quando não for possível, é aconselhável o uso de curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45°. Além disso utiliza-se o diâmetro interno mínimo de 70 mm e devem ser previstas peças de inspeção (tubos operculados).

Na sua extremidade superior, o condutor vertical pode ser conectado diretamente a uma calha (telhados) ou receber um ralo quando se tratar de terraços e calhas de dimensões elevadas, onde há o receio da obstrução do condutor por folhas e detritos diversos, além disso, normalmente não é aconselhável o condutor ser dimensionado como um encanamento à seção plena devido as perdas de cargas de entrada (MACINTYRE, 2017).

2.3.1.3 Condutores Horizontais

De acordo com Carvalho Júnior (2013), os condutores horizontais têm a função de receber as águas pluviais dos condutores verticais ou da superfície do terreno e encaminhá-las até os locais permitidos pelos órgãos responsáveis.

Os condutores horizontais devem ser dimensionados, sempre que viável, com declividade uniforme de valor mínimo de 0,5%. Além disso, a conexão entre os condutores verticais e horizontais deve ser executada com curva de raio longo, tendo inspeção ou caixa de areia. E, por fim, nas tubulações aparentes, devem ser previstos pontos de inspeções sempre que houver ligação com outra tubulação, mudança de declividade ou direção, ou a cada 20 metros retilíneos (CREDER, 2018).

2.3.2 Materiais

Segundo com a norma NBR 10844 (ABNT, 1989), os seguintes materiais podem ser utilizados para coleta e condução das águas pluviais:

- Calha: aço galvanizado, folhas de flandres, cobre, aço inoxidável, alumínio, fibrocimento, PVC rígido, fibra de vidro, concreto ou alvenaria;

- Condutor vertical: ferro fundido, fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, cobre, chapas de aço galvanizado, folhas de flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio ou fibra de vidro; e
- Condutor horizontal: ferro fundido, fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, cerâmica vidrada, concreto, cobre, canais de concreto ou alvenaria.

Os tubos de PVC e suas conexões são produzidos a partir do plástico policloreto de vinila, que possui como matéria prima o cloreto de sódio e o petróleo. Entre as principais vantagens deste material estão: leveza (facilita o transporte e manuseio), durabilidade ilimitada, facilidade de instalação, boa estética a instalação e baixo custo. As desvantagens estão relacionadas a baixa resistência ao fogo, e a necessidade de isolamento em ambientes com temperaturas extremas (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010). Atualmente no mercado, há uma série de produtos em PVC para a captação de água pluvial, como a linha da Tigre mostrada no catálogo AQUAPLUV (2018) e a linha de calha pluvial da Amanco, mostrada no catálogo Captação Pluvial (2017).

As chapas de aço galvanizado são fabricadas em aço carbono ou aço inoxidável e passam pelo processo de galvanização, entre as vantagens de utilizar esse material na confecção de calhas e condutores estão a sua resistência, a durabilidade e o preço acessível. Porém é necessário a contratação de um profissional especializado para execução do conduto aberto que funcionará como calha e, em regiões litorâneas, não é aconselhável a sua utilização devido a corrosão causada pela brisa marítima (CHAMANA, 2019). Os coeficientes de rugosidade dos principais materiais utilizados na confecção dos elementos do sistema de águas pluviais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes de rugosidade de Manning em função do material da parede do conduto.

Material do conduto	n
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 10844/99.

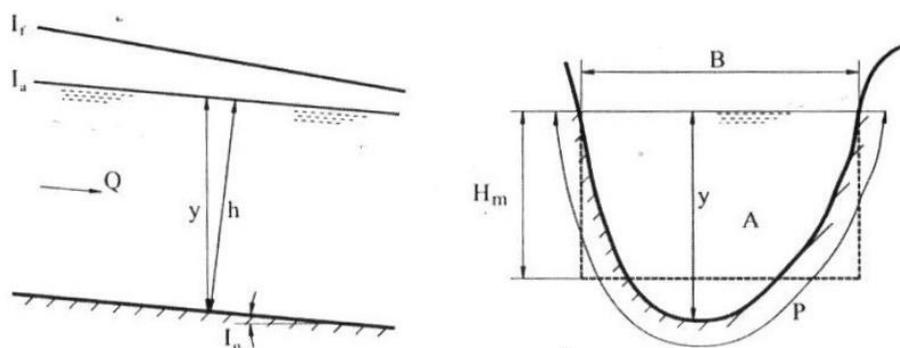
2.3.3 Hidráulica de Conduitos Livres em Regime Uniforme

Em condutos livres, a principal característica do escoamento da água é a presença da pressão atmosférica agindo sobre a superfície do líquido, em uma seção aberta. Nesta situação, o escoamento ocorre necessariamente por gravidade (PORTO, 2006).

Ainda segundo o mesmo autor, há alguns parâmetros responsáveis por descrever as características geométricas e hidráulicas dos canais abertos, são eles:

- Área molhada (A): área da seção reta do escoamento, normal à direção do fluxo;
- Perímetro molhado (P): comprimento da parte da fronteira sólida da seção do canal em contato com o líquido, sendo que a superfície livre não faz parte do perímetro molhado;
- Raio Hidráulico (R_h): relação entre área molhada e o perímetro molhado;
- Altura d'água (y): distância vertical do ponto mais baixo da seção do canal até a superfície livre;
- Altura escoamento da seção (h): altura do escoamento medida perpendicularmente ao fundo do canal;
- Largura de topo (B): largura da seção do canal na superfície livre, em função da forma geométrica da seção e da altura d'água;
- Altura hidráulica ou altura média (H_m): relação entre a área molhada e a largura da seção na superfície livre. É a altura de um retângulo de área equivalente à área molhada;
- Declividade de fundo (i_o): declividade longitudinal do canal;
- Declividade piezométrica ou declividade da linha d'água (i_a); e
- Declividade da linha de energia (i_f): variação da energia da corrente no sentido do escoamento.

Figura 4 – Elementos geométricos de uma seção de escoamento de um canal.



Fonte: Porto (2006).

Os canais artificiais incluem todos os canais feitos pelo homem, compreendendo canais de irrigação, navegação, de esgoto e drenagem, entre outros. Estes, são exemplos de canais prismáticos (que não há alteração da seção transversal no sentido da corrente). Em contrapartida, os canais naturais são cursos d'água já presente na natureza, são normalmente bastante irregulares em sua forma e seus materiais são diversos, nestes é mais difícil de se aplicar a teoria hidráulica e obter resultados satisfatórios (CHADWICK; BORTHWICK; MORFETT, 2017).

Se no decorrer do tempo o vetor velocidade de um líquido em movimento não se alterar em grandeza e direção, o escoamento do canal é dito como permanente. Nesta situação as características hidráulicas em cada seção não dependem do tempo. Levando em conta um trecho do canal, é necessário que a quantidade de líquido que entra e que saí sejam constantes para que o escoamento seja caracterizado com permanente (AZEVEDO NETTO; ALVAREZ, 1982).

Tomando como critério de comparação o espaço, o escoamento pode ser caracterizado como uniforme nos condutos livres quando ocorre a situação em que a profundidade da água, a área molhada da seção transversal e a velocidade são constantes ao longo do conduto. Nestas circunstâncias a linha energética total, a superfície do líquido e o fundo do canal possuem a mesma declividade. Este tipo de escoamento presume que o líquido não sofra alguma aceleração ou desaceleração, significando uma situação de equilíbrio das forças atuantes no volume de controle (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Ainda de acordo com os autores supracitados, nos escoamentos em condutos livres, não considerando interferências devidas a turbulência e considerando canais com a inclinação (I) menor que 10% ($i < 10\%$), pode se afirmar que a pressão em qualquer ponto da massa líquida é aproximadamente proporcional à profundidade, ou seja, a distribuição da pressão na seção segue à Lei de Stevin (Equação 3), relativa a distribuição hidrostática de pressões.

$$P = \gamma \cdot h \quad (3)$$

Em que,

P: pressão (Pa);

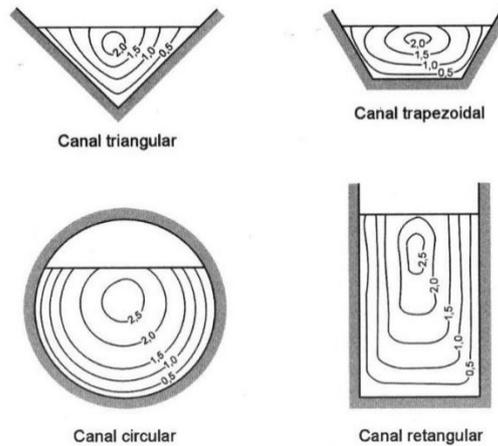
γ : peso específico do líquido (N/m³); e

h: altura do ponto considerado (m).

Ainda segundo os autores, nos condutos livres, a existência de superfícies de atrito distintas, correspondentes às interfaces líquido-parede e líquido - ar, ocasiona uma distribuição não uniforme da velocidade nos diferentes pontos da seção transversal. Geralmente se observa

o aumento da velocidade das margens para o centro e do fundo para a superfície do canal, em função do aumento da distância do tubo de corrente em relação à superfície de atrito. A Figura 5 mostra a distribuição de velocidades nas seções transversais através de curvas de igual velocidade (isotácas), em algumas seções usuais artificiais.

Figura 5 – Distribuição da velocidade em diferentes seções artificiais.



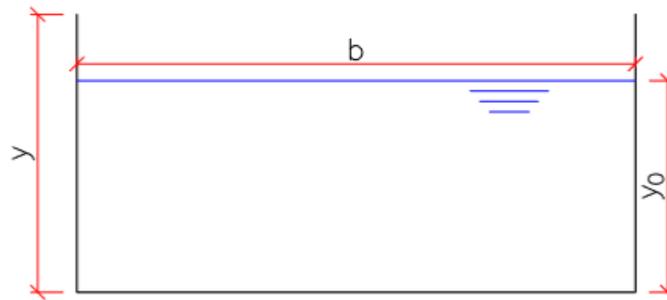
Fonte: Baptista e Lara (2014).

Em canais abertos e fechados, é aconselhável prever uma folga de 20 a 30% da sua altura, acima no nível de projeto máximo, a fim de obter uma margem de proteção relacionada a possíveis elevações do nível d'água, e em outras situações, a folga pode atuar como uma prudência para cenários de sedimentação ou obstrução no fundo do canal (CARVALHO; OLIVEIRA, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram adotadas chapas de aço galvanizado como material para execução das calhas, que apresentam coeficiente de rugosidade de Manning (n) igual a $0,011 \text{ s/m}^{\frac{1}{3}}$, com seções retangulares, cujo as dimensões e parâmetros geométricos se encontram na Figura 6.

Figura 6 – Representação de um canal com seção transversal retangular e alguns de seus parâmetros geométricos.



Fonte: O autor (2019).

O perímetro molhado da seção transversal pode ser calculado por meio da Equação 4.

$$P_m = b + (2 \cdot y_o) \quad (4)$$

A área molhada da seção transversal do canal é definida pela equação 5.

$$S = b \cdot y_o \quad (5)$$

O raio hidráulico (R_H) foi obtido por meio das Equações 6 e 7.

$$R_H = \frac{S}{P_M} \quad (6)$$

$$R_H = \frac{b \cdot y_o}{b + (2 \cdot y_o)} \quad (7)$$

Para realizar o cálculo do raio hidráulico e posteriormente as dimensões a altura normal da água dentro do canal, se fez necessário analisar a vazão de escoamento superficial que a

precipitação provocaria na calha, igualando as Equações 2 e 3, como apresentado nas Equações 8, 9 e 10.

$$I \cdot A = \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (8)$$

$$R_H^{2/3} = \left(\frac{I \cdot A \cdot n}{S \cdot i^{1/2}} \right) \quad (9)$$

$$R_H = \left[\frac{I \cdot A \cdot n}{(b \cdot y) \cdot i^{1/2}} \right]^{3/2} \quad (10)$$

Desta forma, igualando-se as equações 7 e 10, tem-se (Equação 11):

$$\frac{b \cdot y_o}{b + (2 \cdot y_o)} = \left[\frac{I \cdot A \cdot n}{(b \cdot y_o) \cdot i^{1/2}} \right]^{3/2} \quad (11)$$

Considerando a segunda parte da Equação 11 como c (Equação 12), pode-se isolar a altura normal de água na calha (Equação 11) e, na sequência, a Equação 14 para obtenção de y:

$$c = \left[\frac{I \cdot A \cdot n}{(b \cdot y_o) \cdot i^{1/2}} \right]^{3/2} \quad (12)$$

$$y_o = \frac{(c \cdot b)}{b - (2 \cdot c)} \quad (13)$$

$$y_o = \frac{\left[\frac{I \cdot A \cdot n}{(b \cdot y_o) \cdot i^{1/2}} \right]^{3/2} \cdot b}{b - 2 \cdot \left[\frac{I \cdot A \cdot n}{(b \cdot y_o) \cdot i^{1/2}} \right]^{3/2}} \quad (14)$$

Todo o processo de cálculo e dimensionamento da altura da calha foi realizado com a condição de que a altura total da calha ultrapasse 30% da altura da lâmina d'água, dessa forma,

todos os valores obtidos pelas equações propostas neste trabalho se tratam de valores em centímetros e já acrescidos de 30% da altura da lamina d'água na calha. Cenários para obtenção de y foram simulados a partir dos seguintes parâmetros de projeto, que definiram a faixa de validade dos valores calculados:

- Intensidades de precipitação contínuas, entre 120 e 160 mm/h, com incrementos de 1 mm/h;
- Largura da calha (b) com valores discretos de 0,10; 0,20 e 0,30 m;
- Inclinação da calha (i) com valores discretos de 0,5%; 1,0% e 2,0%, ou seja, 0,005; 0,01 e 0,02 m/m;
- Áreas das superfícies dos telhados com valores discretos de 40; 60; 80; 100; 120 e 140 m².

Após o cálculo das alturas normais de água nas calhas para os cenários definidos, foi realizado o ajuste de equações lineares dos valores de y considerando as situações onde são fixados os valores de A , b e i , por meio da utilização da equação 14. A determinação dos valores dos coeficientes a e b foi feita a partir da utilização da Equação 15, aplicando-se a técnica da regressão linear.

$$y = (a \cdot I) + b \quad (15)$$

Em seguida, foram desenvolvidas equações para a obtenção dos valores de y , a partir do ajuste de coeficientes matemáticos, inicialmente para situações em que a inclinação do calha (i) é pré-definida. O primeiro coeficiente, α pôde ser definido pela Equação 16:

$$\alpha = \frac{n}{(b \cdot y_0) \cdot i^{1/2}} \quad (16)$$

Assim, a equação 14 fica apresentada por meio da Equação 17.

$$y = \frac{(I \cdot A \cdot \alpha)^{3/2} \cdot b}{b - [2 \cdot (I \cdot A \cdot \alpha)^{3/2}]} \quad (17)$$

Sequencialmente, pode-se determinar um coeficiente β , dependente de α (Equação 18):

$$\beta = \frac{1}{b - \left[2 \cdot (I \cdot A \cdot \alpha)^{3/2} \right]} \quad (18)$$

Desta forma, se tem a Equação 19, que tiveram coeficientes de ajuste determinados individualmente para as inclinações de 0,5%, 1,0% e 2,0%.

$$y = \left[(I \cdot A \cdot \alpha)^{3/2} \cdot b \right] \cdot \beta \quad (19)$$

Além disso, foi trabalhada uma equação para dimensionamento geral da calha, a partir da entrada dos valores válidos de I, A, b e i. Para tal, inicialmente definiu-se um coeficiente δ (Equação 20):

$$\delta = \frac{n}{y \cdot i^{1/2}} \quad (20)$$

Com isso foi obtida a Equação 21, que pode ser simplificada na forma apresentada na Equação 22, sendo definido um coeficiente ε , mostrado na Equação 23.

$$y = \frac{\left(I \cdot A \cdot b^{-1} \cdot i^{-1/2} \cdot \delta \right)^{3/2} \cdot b}{b - \left[2 \cdot \left(I \cdot A \cdot b^{-1} \cdot i^{-1/2} \cdot \delta \right)^{3/2} \right]} \quad (21)$$

$$y = \left(I \cdot A \cdot b^{-1} \cdot i^{-1/2} \cdot \delta \right)^{3/2} \cdot \varepsilon \quad (22)$$

$$\varepsilon = \frac{b}{b - \left[2 \cdot \left(I \cdot A \cdot b^{-1} \cdot i^{-1/2} \cdot \delta \right)^{3/2} \right]} \quad (23)$$

Os ajustes dos coeficientes foram realizados por regressão não-linear com o objetivo de minimização dos erros, usando o pacote Solver do Microsoft Excel® e o método de solução GRG não linear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações para cálculo da altura de calhas retangulares de instalações hidráulicas pluviais para diferentes valores de área da cobertura, inclinações da calha e largura destas, são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Equações para obtenção da altura de calha retangular para diferentes áreas de cobertura (A), inclinações (i) e larguras (b) das calhas e respectivos coeficientes de determinação.

A (m ²)	i (m/m)	b (m)	Equação	R ² (%)	
40	0,5%	0,1	$y = (0,0203 \times I) + 1,4118$	99,96	
		0,2	$y = (0,012 \times I) + 0,7676$	98,68	
		0,3	$y = (0,0084 \times I) + 0,6825$	97,69	
	1,0%	0,1	$y = (0,015 \times I) + 1,2196$	99,93	
		0,2	$y = (0,0094 \times I) + 0,6486$	98,55	
		0,3	$y = (0,0061 \times I) + 0,6387$	98,06	
	2,0%	0,1	$y = (0,0114 \times I) + 1,0138$	99,86	
		0,2	$y = (0,0076 \times I) + 0,513$	97,96	
		0,3	$y = (0,0056 \times I) + 0,4065$	95,76	
	60	0,5%	0,1	$y = (0,0284 \times I) + 1,7308$	99,97
			0,2	$y = (0,0144 \times I) + 1,1751$	99,32
			0,3	$y = (0,0117 \times I) + 0,7626$	98,95
1,0%		0,1	$y = (0,0208 \times I) + 1,5086$	99,95	
		0,2	$y = (0,0113 \times I) + 0,9671$	99,03	
		0,3	$y = (0,009 \times I) + 0,6679$	98,59	
2,0%		0,1	$y = (0,0166 \times I) + 1,1236$	98,87	
		0,2	$y = (0,0094 \times I) + 0,716$	98,17	
		0,3	$y = (0,0077 \times I) + 0,4632$	98,12	
80		0,5%	0,1	$y = (0,0395 \times I) + 1,5647$	99,49
			0,2	$y = (0,0193 \times I) + 1,1562$	99,35
			0,3	$y = (0,0138 \times I) + 0,9406$	99,23
	1,0%	0,1	$y = (0,0278 \times I) + 1,5791$	99,75	
		0,2	$y = (0,0149 \times I) + 0,9844$	99,03	
		0,3	$y = (0,0112 \times I) + 0,7349$	98,99	
	2,0%	0,1	$y = (0,0203 \times I) + 1,4118$	99,96	
		0,2	$y = (0,012 \times I) + 0,7676$	98,68	
		0,3	$y = (0,0084 \times I) + 0,6825$	97,69	

Em que: y (cm) e I (entre 120 e 160 mm/h).

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 4 - Equações para obtenção da altura de calha retangular para diferentes áreas de cobertura (A), inclinações (i) e larguras (b) das calhas e respectivos coeficientes de determinação (Conclusão).

A (m ²)	i (m/m)	b (m)	Equação	R ² (%)
100	0,5%	0,1	$y = (0,0472 \times I) + 1,784$	99,47
		0,2	$y = (0,0208 \times I) + 1,5571$	99,53
		0,3	$y = (0,014 \times I) + 1,35$	99,93
	1,0%	0,1	$y = (0,0364 \times I) + 1,3511$	99,49
		0,2	$y = (0,0173 \times I) + 1,1242$	99,25
		0,3	$y = (0,011 \times I) + 1,1185$	99,59
	2,0%	0,1	$y = (0,0278 \times I) + 1,0976$	99,46
		0,2	$y = (0,0137 \times I) + 0,9159$	99,01
		0,3	$y = (0,0085 \times I) + 0,9405$	99,39
120	0,5%	0,1	$y = (0,0557 \times I) + 1,9159$	99,62
		0,2	$y = (0,0258 \times I) + 1,4598$	99,54
		0,3	$y = (0,0183 \times I) + 1,1648$	99,51
	1,0%	0,1	$y = (0,0388 \times I) + 1,982$	99,98
		0,2	$y = (0,0192 \times I) + 1,3312$	99,33
		0,3	$y = (0,0145 \times I) + 0,9619$	99,25
	2,0%	0,1	$y = (0,0284 \times I) + 1,7308$	99,97
		0,2	$y = (0,0144 \times I) + 1,1751$	99,32
		0,3	$y = (0,0117 \times I) + 0,7626$	98,95
140	0,50%	0,1	$y = (0,0597 \times I) + 2,591$	99,86
		0,2	$y = (0,0263 \times I) + 1,9395$	99,97
		0,3	$y = (0,0183 \times I) + 1,5648$	99,96
	1,0%	0,1	$y = (0,0462 \times I) + 1,8553$	99,45
		0,2	$y = (0,0202 \times I) + 1,6042$	99,68
		0,3	$y = (0,014 \times I) + 1,3365$	99,93
	2,0%	0,1	$y = (0,0359 \times I) + 1,3658$	99,48
		0,2	$y = (0,017 \times I) + 1,1472$	99,16
		0,3	$y = (0,0108 \times I) + 1,1295$	99,84

Em que: y (cm) e I (entre 120 e 160 mm/h).

Fonte: Do autor (2019).

As equações apresentadas na Tabela 4 se mostram precisas para o cálculo da altura da calha, sendo esta eficácia em função de terem sua utilização ligadas a situações específicas das variáveis do problema. É importante salientar que, apesar da eficácia do uso das funções matemáticas lineares, foi observado que para ajustes com equações polinomiais de grau 3, os valores de coeficientes de determinação (R²) são ainda melhores, sendo optados os ajustes lineares por facilidade de uso no meio técnico-prático.

As equações para obtenção da altura de calha retangular para diferentes inclinações do conduto, em função da área da superfície de escoamento do telhado (A) bem como da Intensidade Média Máxima de precipitação esperada (I), são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Equações para obtenção da altura de calha retangular em diferentes inclinações do conduto.

i (m/m)	Equação	R ² (%)
0,5%	$y = \left[(I \times A \times 0,000134961)^{3/2} \times b \right] \times 0,148811751$	98,49
1,0%	$y = \left[(I \times A \times 0,000119015)^{3/2} \times b \right] \times 0,156653419$	98,38
2,0%	$y = \left[(I \times A \times 0,000104649)^{3/2} \times b \right] \times 0,163346386$	98,32

Em que: y (cm), I (mm/h), A (m²) e b (m).

Fonte: Do autor (2019).

As equações apresentadas na Tabela 5, se mostraram efetivas para o valor de largura de 0,3 m para superfícies de telhado com áreas entre 80 e 140 m², apresentando uma altura média da calha de 6,15 cm para a inclinação de 0,5%, para a inclinação de 1,0% a altura média foi de 4,84 cm, já para a inclinação de 2,0% o valor de altura média encontrado foi de 3,83 cm. Os valores fornecidos pelas equações, se mostraram maiores que o valores calculados da altura da calha, salientando que esta já apresenta folga de 30% em relação à altura normal de água dentro do conduto livre. O fato de se tratarem de pequenas dimensões geométricas, que dificultam a confecção das calhas em chapas metálicas, há possibilidade que o uso dos de valores superiores sejam tecnicamente satisfatórios na prática. Os valores mínimos de altura da calha foram de 0,35 cm para a inclinação de 0,5%, 0,28 cm na inclinação de 1% e 0,22 cm para a inclinação de 2%, os erros apresentados nesses valores foram respectivamente -90,86%, -90,84% e -90,83%. Os valores máximos de altura da calha foram de 10,60 cm na inclinação de 0,5%, 8,34 cm para a inclinação de 1% e 6,59 cm na inclinação de 2%, sendo os erros apresentados para estas situações de 136,40 %, 133,97 % e 131,85 % respectivamente.

Tabelas para consulta dos valores calculados de altura da calha, de maneira exata, já considerando folga de 30%, para diferentes cenários são apresentadas no Apêndice A.

Já para a situação da equação geral do dimensionamento das calhas, em que I (mm/h), A (m²), b (m) e i (m/m) são variáveis (dentro das condições de contorno de valores estabelecidos), os coeficientes δ e ε da Equação 21 foram encontrados, tendo um coeficiente de determinação (R²) igual a 94,96%, obtendo a Equação 24 para cálculo de y (cm).

$$y = (I \times A \times b^{-1} \times i^{-1/2} \times 0,000813414)^{3/2} \times 0,000144077 \quad (24)$$

A Equação 24, após análise dos cenários apresentados nos métodos, se mostrou efetiva para o valor de inclinação de 0,5% e largura de 0,1 m para superfícies de telhado com áreas entre 120 e 140 m². A efetividade da equação nessas situações se deve ao mesmo motivo apresentado para as equações mostradas na Tabela 5. O menor valor de altura de calha encontrado para os cenários analisados foi de 0,13 cm apresentando um erro de 83,37%, enquanto o maior valor foi de 18,85 cm com erro de 53,41%.

A NBR10844 (ABNT, 1999) dispõe apenas da tabela para utilização de calhas semicirculares, ficando assim, uma lacuna no dimensionamento de maneira prática das calhas retangulares.

5 CONCLUSÃO

No processo de obtenção de coeficientes para ajuste das equações foram encontradas dificuldades no processo matemático de convergência do problema de minimização dos erros, sendo assim as equações da Tabela 4 apresentaram erro médio de 55,06%, 54,55% e 54,02% para as inclinações de 0,5%, 1,0% e 2,0% respectivamente. Já a equação geral do dimensionamento apresentou erro médio de 47,50%.

Com isso, pôde-se observar que o uso das equações presentes na Tabela 5 e da Equação 24 pode levar, na maioria dos casos, ao subdimensionamento da altura das calhas, o que não seria interessante, em função do risco de extravasamento. Isso se deve ao fato da utilização de diversas variáveis no equacionamento, o que dificulta o processo matemático de convergência do problema de minimização dos erros no processo de ajuste dos coeficientes. Assim, é aconselhável a utilização das Equações apresentadas na Tabela 4, apesar destas serem específicas para determinados cenários.

Por fim, o trabalho alcançou seu objetivo que seria desenvolver equações para o dimensionamento de calhas retangulares e analisar a viabilidade de utilização de cada uma delas, fornecendo assim um material até então inexistente para a comunidade técnico-científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalação Predial de Água Fria**. NBR 5626, 1998.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalações Prediais de Águas Pluviais**. NBR 10844, 1989.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente**. NBR 7198, 1993.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário – Projeto e Execução**. NBR 8160, 1999.
- ALVES, M. C.; LAMIN-GUEDES, V.; MONTERO, T. V. **Ciclo Hidrológico em Áreas Urbanas**. Revista Educação Ambiental em Ação, 2016. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2330>>. Acesso em: 15 de abr. de 2019.
- AMANCO. **Calha Pluvial**. Amanco, 2019. Disponível em: <<http://amanco.com.br/produtos/predial/captacao-pluvial/calha-pluvial>>. Acesso em: 26 de maio de 2019.
- AQUAPLUV. **Ficha Técnica**. Tigre, 2018. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/sites/default/files/produtos/catalogos/FT_ES_Aquapluv.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2019.
- AZEVEDO NETTO, J.M. d.; ALVAREZ, G. A. **Manual de Hidráulica**. 7. ed. att. e amp. São Paulo, Edgard Blücher, 1973, 1977, 1982.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. rev. e ampl. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- BERNARDO, L. Di. **Instalação Predial de Águas Pluviais**. Universidade de São Paulo, 1984. Disponível em: <<http://www.civilnet.com.br/Files/Prediais/Instala%E7%E3o%20Predial%20-%20Agua%20Pluvial.pdf>>. Acesso em: 25 de abr. de 2019.
- BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JUNIOR, G. de. A. **Instalações Hidráulicas Prediais: Usando Tubos de PVC e PPR**. 3. ed. – São Paulo, Blucher, 2010.
- CARVALHO, J. de. A.; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Instalações de Bombeamento para Irrigação: Hidráulica e Consumo de Energia**. 2. ed. rev. e amp. – Lavras: UFLA, 2014.
- CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 7. ed. – São Paulo: Blucher, 2013.
- CHADWICK, A.; BORTHWICK, M.; MORFETT, J.. **Hidráulica para Engenharia Civil e Ambiental**. 5. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- CHAMANA, Tudo para o Seralheiro. **Calha Chapa Galvanizada**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.chamana.com.br/calha-chapa-galvanizada>>. Acesso em: 05 de maio de 2019.

CHEN, C. L. **Rainfall Intensity-duration-frequency**. Journal of hydraulic Engineering, New York, v. 109, n. 12, 1983.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2018.

MACHADO, M. A. de M.; SILVA, E. D. B. da. **Estimativa de Chuvas Intensas Para o Oeste de Minas Gerais e o Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas**. UFPR, Curitiba, 2011. Disponível em: <file:///C:/Users/Bruno%20Rosa/Downloads/83-Texto%20do%20artigo-281-1-10-20111214%20(3).pdf>. Acesso em: 20 de abr. de 2019.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas: Prediais e Industriais**. 4. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MARTINS, C. M. T. et al. **Hidrologia Urbana: Conceitos Básicos**. 1. ed. – Lisboa: Universidade de Coimbra, 2010.

MENEZES, P. H. B. J. **Processo de Escoamento Superficial e Assoreamento na Bacia do Lago Paranoá**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências – IG, UnB, Brasília, 2010.

PORTO, R. de M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. – São Carlos: EESC-USP, 2006.

SILVEIRA, A. L. L. da.; TUCCI, C. E. M.; [et al.]. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3. ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco 2005.

TUCCI, C. E. M e BRAGA, B. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

VICENTINI, T. A. **Análise do Efeito da Urbanização nas Cheias Urbanas: Monitoramento de Bacias Experimentais**. Campinas, SP: 2000.

APÊNDICE A – Tabelas altura e largura da calha

Tabela A1 – Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 0,5% e largura de 0,1 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	3,83	5,12	6,26	7,48	8,53	9,74
125	3,94	5,27	6,43	7,71	8,78	10,05
130	4,05	5,42	6,73	7,93	9,20	10,35
135	4,15	5,57	6,92	8,15	9,47	10,65
140	4,25	5,71	7,11	8,37	9,74	10,95
145	4,35	5,85	7,30	8,58	10,00	11,24
150	4,45	5,99	7,48	8,78	10,27	11,53
155	4,55	6,13	7,66	9,15	10,53	11,82
160	4,64	6,26	7,84	9,38	10,78	12,28

Tabela A2 - Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 0,5% e largura de 0,2 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	2,20	2,85	3,47	4,05	4,54	5,09
125	2,25	2,98	3,55	4,16	4,66	5,23
130	2,36	3,06	3,63	4,26	4,77	5,36
135	2,41	3,13	3,79	4,37	4,97	5,50
140	2,47	3,20	3,88	4,47	5,09	5,63
145	2,52	3,27	3,97	4,56	5,21	5,76
150	2,57	3,34	4,05	4,66	5,32	5,89
155	2,62	3,40	4,14	4,75	5,44	6,02
160	2,67	3,47	4,22	4,93	5,56	6,14

Tabela A3 - Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 0,5% e largura de 0,3 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	1,65	2,17	2,61	3,02	3,37	3,75
125	1,74	2,21	2,67	3,10	3,45	3,85
130	1,78	2,26	2,73	3,17	3,53	3,94
135	1,81	2,36	2,79	3,25	3,61	4,04
140	1,84	2,41	2,84	3,32	3,75	4,13
145	1,87	2,46	2,96	3,39	3,83	4,22
150	1,95	2,51	3,02	3,45	3,92	4,31
155	1,99	2,56	3,08	3,52	4,00	4,40
160	2,03	2,61	3,14	3,58	4,08	4,48

Tabela A4 – Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 1,0% e largura de 0,1 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	3,01	3,99	4,82	5,75	6,63	7,43
125	3,09	4,10	5,06	5,92	6,83	7,65
130	3,17	4,21	5,20	6,08	7,03	7,87
135	3,25	4,32	5,34	6,24	7,23	8,09
140	3,32	4,42	5,48	6,39	7,43	8,31
145	3,40	4,52	5,62	6,66	7,62	8,51
150	3,47	4,63	5,75	6,83	7,81	8,72
155	3,54	4,72	5,88	7,00	8,00	9,08
160	3,61	4,82	6,01	7,17	8,18	9,31

Tabela A5 - Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 1,0% e largura de 0,2 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	1,78	2,27	2,76	3,22	3,59	4,03
125	1,82	2,38	2,82	3,30	3,74	4,13
130	1,85	2,44	2,95	3,38	3,84	4,24
135	1,88	2,50	3,02	3,46	3,93	4,34
140	1,98	2,56	3,09	3,53	4,03	4,44
145	2,02	2,61	3,15	3,60	4,12	4,54
150	2,06	2,66	3,22	3,74	4,21	4,63
155	2,10	2,71	3,28	3,82	4,29	4,72
160	2,13	2,76	3,35	3,90	4,38	4,89

Tabela A6 - Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 1,0% e largura de 0,3 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	1,38	1,76	2,10	2,43	2,70	3,00
125	1,41	1,80	2,14	2,49	2,76	3,08
130	1,44	1,83	2,19	2,55	2,82	3,15
135	1,44	1,86	2,23	2,60	2,94	3,23
140	1,51	1,94	2,28	2,66	3,00	3,30
145	1,54	1,98	2,38	2,71	3,07	3,37
150	1,56	2,02	2,43	2,76	3,13	3,43
155	1,59	2,06	2,48	2,81	3,20	3,50
160	1,61	2,10	2,52	2,92	3,26	3,56

Tabela A7 – Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 2,0% e largura de 0,1 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	2,38	3,13	3,83	4,45	5,12	5,71
125	2,44	3,21	3,94	4,57	5,27	5,87
130	2,50	3,29	4,05	4,69	5,42	6,04
135	2,56	3,37	4,15	4,80	5,57	6,19
140	2,62	3,45	4,25	5,02	5,71	6,35
145	2,68	3,52	4,35	5,15	5,85	6,61
150	2,73	3,60	4,45	5,27	5,99	6,78
155	2,78	3,67	4,55	5,40	6,13	6,95
160	2,83	3,83	4,64	5,52	6,26	7,11

Tabela A8 - Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 2,0% e largura de 0,2 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	1,43	1,84	2,20	2,57	2,85	3,20
125	1,46	1,87	2,25	2,63	2,98	3,28
130	1,49	1,96	2,36	2,69	3,06	3,36
135	1,51	2,00	2,41	2,75	3,13	3,43
140	1,59	2,05	2,47	2,81	3,20	3,51
145	1,62	2,09	2,52	2,86	3,27	3,58
150	1,65	2,13	2,57	2,98	3,34	3,72
155	1,68	2,17	2,62	3,04	3,40	3,80
160	1,71	2,20	2,67	3,10	3,47	3,88

Tabela A9 - Valores de altura da calha (y) em centímetros para inclinação de 2,0% e largura de 0,3 m.

I(mm/h)	A=40m ²	A=60m ²	A=80m ²	A=100m ²	A=120m ²	A=140m ²
120	1,10	1,41	1,65	1,95	2,17	2,41
125	1,12	1,43	1,74	2,00	2,21	2,47
130	1,14	1,46	1,78	2,05	2,26	2,53
135	1,16	1,49	1,81	2,09	2,36	2,59
140	1,18	1,52	1,84	2,13	2,41	2,64
145	1,20	1,60	1,87	2,17	2,46	2,70
150	1,27	1,63	1,95	2,21	2,51	2,75
155	1,30	1,66	1,99	2,25	2,56	2,80
160	1,32	1,69	2,03	2,34	2,61	2,84