



UFC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

RAMON JORDÃO GOMES BARROSO

**PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA O PRÉDIO DA
SECRETARIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ**

FORTALEZA - CE

2019

RAMON JORDÃO GOMES BARROSO

PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA O PRÉDIO DA
SECRETARIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO CEARÁ

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Ambiental da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do Título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Borghetti
Soares.

Fortaleza

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B285p Barroso, Ramon Jordão Gomes.

Proposta de aproveitamento de água pluvial para o prédio da Secretaria de Tecnologia da Informação da Universidade Federal do Ceará / Ramon Jordão Gomes Barroso. – 2019.
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares.

1. Estimativa de precipitação. 2. Efeito de primeira lavagem. 3. Reservatório de águas pluviais. I. Título.
CDD 628

RAMON JORDÃO GOMES BARROSO

PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA O PRÉDIO DA
SECRETARIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO CEARÁ

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Ambiental da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do Título de Engenheiro Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Samiria Maria Oliveira da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ticiano Marinho de Carvalho Studart
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho aos meus pais, Raimundo
Gomes Vaz e Joana Maria Gomes Barroso por
por todo o incentivo, carinho e apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me conceder a oportunidade de estudar em uma universidade tão renomada.

Ao meu professor e orientador Anderson por todos os ensinamentos e amizade.

A meu pai, Raimundo Vaz, pela confiança em meu potencial e por sempre me educar pelo exemplo.

A minha mãe, Joana Maria, por todo o cuidado e amor com seus filhos.

A minha irmã, Radmila, por toda a ajuda necessária.

Ao meu irmão, Romildo, pela parceria e alegria.

A minha namorada, Roberta Oliveira, pelo amor e total apoio nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos adquiridos ao longo da graduação, Levi, Macário, Hiago, Pedro da Moto, Mínimo, Canuto, Lindemberg, João Paulo, Vicente, Samuel, Douglas, Rômulo, Wagner, e tantos outros que com o companheirismo tornaram essa jornada mais leve.

Ao meu grande amigo Marcílio Gomes, que inúmeras vezes me tratou como um filho querido, sempre me apoiando e incentivando a estudar.

A todos os amigos de Itapajé que sempre me incentivaram a dar o meu melhor nesta graduação.

A STI por me conceder a bolsa em Tecnologia da Informação, me proporcionando enriquecedoras experiências.

Ao professor Ronaldo Nascimento pela oportunidade de trabalhar como pesquisador no Laboratório de Processos Oxidativos Avançados.

RESUMO

A água é um recurso natural de valor inestimável, pois é indispensável a uma infinidade de atividades e processos. O cenário hídrico global torna-se cada vez mais preocupante, haja vista que a disponibilidade de água adequada para consumo vem reduzindo gradativamente. A água pluvial se apresenta então como um recurso estratégico na ótica do consumo sustentável. O presente trabalho traz uma proposta de aproveitamento de águas pluviais para o prédio da Secretaria de Tecnologia da Informação (STI) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A intenção é mensurar o benefício gerado com a adoção do sistema a partir da estimativa do volume potencial de armazenamento de água da chuva considerando o descarte dos primeiros milímetros no início do período chuvoso devido ao efeito de primeira lavagem. Para isso, tomou-se como base as recomendações da NBR 10844 e NBR 15527 (ABNT), foram construídos polígonos de Voronoi para identificar qual posto de medição possui a maior representatividade pluviométrica acerca da área de projeto. Além disso, utilizou-se de equações disponíveis na literatura, tais como as equações de Manning para condutos livres, da IDF de Fortaleza proposta por Silva et al (2013), O Método Racional para cálculo de vazões, a metodologia de dimensionamento de reservatório de águas pluviais de Azevedo Neto e o Método Prático Inglês. Ademais, a fim de melhorar a qualidade da água armazenada, foi adotado para o sistema o mecanismo DesviUFPE (Lima, 2012), responsável por fazer o desvio das primeiras águas de forma automática. Seguindo a metodologia abordada foi estimado para a cobertura da STI um volume potencial anual de coleta de 1406,8785 m³ de água.

Palavras-chave: Estimativa de precipitação, efeito de primeira lavagem, reservatório de águas pluviais.

ABSTRACT

Water is a priceless natural resource because it is indispensable for a multitude of activities and processes. The global water scenario is becoming increasingly worrying as the availability of adequate drinking water is decreasing. Rainwater thus presents itself as a strategic resource in the perspective of sustainable consumption. The present dissertation presents a proposal of rainwater utilization for the building of the Information Technology Secretariat (STI) of the Federal University of Ceará (UFC). The intention is to measure the benefit generated by adoption of the system by estimating the potential volume of water storage in the rain, considering the disposal of the first millimeter at the beginning of the rainy season caused by the effect of the first flush. For this purpose, it is based on the recommendations of NBR 10844 and NBR 15527 (ABNT), Voronoi polygons were built to identify which station has the biggest rainfall relative to the project area. Furthermore, the rational use of equations available in the literature, such as Manning equations for free vehicles, from Fortaleza IDF proposed by Silva et al (2013), the Rational Method for Leak Calculation, a Rainwater Reservoir Sizing Method de Azevedo Neto and the English Practical Method. Also, an aim to improve the quality of stored water has been adopted for the DesviUFPE system or mechanism (Lima, 2012), which is responsible for automatically diverting first waters. Following the approach methodology, a potential annual collection volume of 1406.8785 m³ of water was estimated for STI coverage.

Keywords: Precipitation estimate, first wash effect, rainwater reservoir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Curva intensidade-duração-frequência com diferentes períodos de retorno para estação climatológica da UFC;

Figura 02 - Comparação gráfica das diferentes equações IDF para Fortaleza-Ce;

Figura 03 - Dispositivo DesviUFPE;

Figura 04 - Influência do vento no ângulo de queda das gotas de chuva;

Figura 05 - Dimensões de superfície retangular inclinada para cálculo da área de contribuição;

Figura 06 - Esboço da cobertura do prédio da STI;

Figura 07 - Ábacos para a determinação de diâmetros de condutores verticais para calha com funil de saída;

Figura 08 - STI inserida na área de influência da estação PICI;

Figura 09 - Dimensionamento do diâmetro para o condutor vertical da superfície 1;

Figura 10 - Dimensionamento do diâmetro para o condutor vertical da superfície 2.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento superficial em função da ocupação do solo.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
AUMEF	Autarquia Metropolitana de Fortaleza
CCA	Centro de Ciências Agrárias
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
Inmet	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Normas Brasileiras
P1MC	Programa um Milhão de Cisternas
PVC	Policloreto de polivinila
RTRWH	Rooftop Rainwater Harvesting
STI	Secretaria de Tecnologia da Informação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
Contextualização	14
Problematização	16
Questões da pesquisa	16
Objetivos da pesquisa	17
Objetivo Geral	17
Objetivos específicos	17
Estrutura do trabalho	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Ciclo hidrológico e águas pluviais	19
2.2 Método racional	19
2.2.1 Coeficiente de escoamento superficial (C)	21
2.3 Relação Intensidade-Duração-Frequência	22
2.3.1 A primeira equação IDF de Fortaleza.	23
2.3.2 Equação IDF de Matos Neto e Fraga.	23
2.3.3 Equação IDF de Rodrigues, Andrade, Oliveira e Lobato.	24
2.3.4 Equação IDF de Silva, Palácio e Campos.	24
2.4 Dimensionamento de calhas	26
2.4.1 Hidráulica de Canais.	26
2.4.1.1 Equação de Manning.	27
2.5 O fenômeno first flush.	28
2.5.1 O sistema DesviUFPE.	28
2.6 Estimativa do volume potencial de coleta	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 Vazão de Projeto	32
3.1.2 Área de Contribuição	34
3.2 Calhas “Horizontais”	36
3.3 Condutores verticais	38
3.4 Volume Potencial de Coleta	39
3.5 Mecanismo de Descarte	43
3.6 Dimensionamento do Reservatório	44
3.6.1 Método de Azevedo Neto	44
3.6.2 Método Prático Inglês	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 Dimensionamento do Sistema de Coleta.	47
4.1.1 Dimensionamento das Calhas	47

4.1.2 Dimensionamento dos Condutores Verticais	49
4.2 Volume Teórico Disponível de Coleta	51
4.3 Dimensionamento do Reservatório	53
5 CONCLUSÃO	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A água é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento social, econômico ou ambiental. O planeta terra possui a maior parte de sua superfície coberta por esse recurso. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2019) a maior fração da água disponível, cerca de 97,5% é salgada, compondo os mares e oceanos, sendo imprópria para o consumo direto pelas populações. Do volume restante, estima-se que apenas 1% encontra-se em corpos hídricos superficiais, como rios e lagos, sendo a maior quantidade de água doce disposta em geleiras e aquíferos.

A água é um recurso natural de valor inestimável, pois é indispensável a uma infinidade de atividades e processos. Na produção agrícola, especificamente na agricultura irrigada, dados do Atlas Irrigação (ANA, 2019) mostram que a atividade é a que consome mais água no mundo e é responsável por cerca de 46% das retiradas nos corpos hídricos do Brasil. A água é fundamental para uma elevada produtividade na agricultura nacional, pois é necessária para suprir as necessidades fisiológicas das culturas, haja vista que embora o país detenha uma grande fração da água doce disponível no mundo (cerca de 12% (ANA,2019)), este recurso é mal distribuído ao longo de sua extensão.

O cenário hídrico global torna-se cada vez mais preocupante, haja vista que a disponibilidade de água adequada para consumo vem reduzindo gradativamente. Uma alternativa de obtenção de água é o aproveitamento direto da chuva, que consiste basicamente no uso de águas coletadas em coberturas de edificações. Segundo Andrade (2013) a água pluvial num futuro próximo será valorizada como a mais segura fonte de água para consumo humano e com qualidade suficiente para diversos fins, sendo necessário para sua purificação em muitos casos, somente um tratamento simplificado.

No escopo internacional, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) ressalta que o aproveitamento da água pluvial é uma alternativa cada vez mais empregada para minimizar a quantidade de indivíduos sem acesso a

água adequada para consumo humano (UNEP,2009).

Gomes (2014) apresentou experiências de aproveitamento de água pluvial em países como a China, a Tailândia e a Nova Zelândia, onde se utilizaram estruturas para a captação de água para promover o acesso a esse recurso. Esta metodologia tem sido objeto de programas de dimensões significativas, especialmente em áreas rurais, onde a população tem dependência do sistema de coleta constituído de calhas acopladas aos telhados (sistemas semelhantes aos utilizados no Brasil). Essa técnica, que em inglês é titulada Rooftop Rainwater Harvesting (RTRWH), é usada para satisfazer as necessidades básicas de água de regiões que sofrem de estresse hídrico, ou seja, quando a demanda por água se torna superior à oferta da mesma.

No Brasil, a região do semiárido se destaca pelo aproveitamento de água da chuva em residências. Na área denominada polígono das secas que conforme disposto na resolução nº 15 de 23 de novembro de 2017 possui 1.128.697 km² (um milhão cento e vinte e oito mil seiscentos e noventa e sete quilômetros quadrados) e abrange 1.262 municípios comportando cerca de 12% da população nacional, o armazenamento da água pluvial em cisternas representa a garantia de satisfação das necessidades básicas de água para milhões de pessoas. O Programa um Milhão de Cisternas (P1MC), projeto promovido pela Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA), que foi lançado oficialmente em 1999 e que desde 2000 recebe subsídios da União, foi responsável pela instalação de 729.640 tecnologias que visam suprir a demanda de água para beber das populações rurais do semiárido brasileiro por meio do armazenamento de água da chuva em cisternas de placas de cimento instaladas ao lado das casas. A ASA (2019) destaca que o programa colabora para a descentralização e democratização da água, haja vista que as cisternas quando analisadas em conjunto funcionam como substitutos de açudes muitas vezes construídos em áreas particulares. Dessa forma, a população passa de dependente à gestoras de sua própria água.

De acordo com o boletim informativo nº 19 de 2019 do Ministério da Cidadania, existem no total 1.294.503 tecnologias de captação de água da chuva construídas no Semiárido o que permite o armazenamento de cerca de 27.985,416

m³ de água. É importante ressaltar que o volume anual armazenado é superior ao supracitado, haja vista que muitas cisternas enchem 2 vezes ou mais no período.

A água pluvial se apresenta então como um recurso estratégico na ótica do consumo sustentável. No Brasil, o abastecimento hídrico residencial é na sua maior parte água potável advindas de estações de tratamento. Esse recurso é utilizado para diversos usos, incluindo os não nobres, onde majoritariamente a eficiência do processo não é afetada caso se utilize água de qualidade inferior, como por exemplo a água da chuva.

O uso de águas pluviais para fins não potáveis como lavagem de pisos, rega de jardins, reservas de incêndio, descargas em mictórios e bacias sanitárias representa não só uma fonte alternativa de aproveitamento de água, mas também uma economia financeira visto que o diminui os custos com tratamento de água.

O presente trabalho busca mensurar o benefício gerado com a adoção de um sistema de captação de águas pluviais para o prédio da Secretaria de Tecnologia da Informação (STI) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e estimando o volume potencial anual de coleta, a quantidade que se faz necessário descartar no início do período chuvoso, bem como o volume do reservatório.

1.2 Problematização

Dentro da contextualização apresentada se estabeleceu o seguinte problema da pesquisa: Dado a disponibilidade para coleta de águas pluviais da cobertura do prédio da STI da UFC, bloco 901, localizado no campus do Pici. Quanta água da chuva é possível armazenar e conseqüentemente economizar do sistema de abastecimento atual do bloco?

1.3 Questões da pesquisa

A partir do problema motivador deste trabalho, se estabeleceu as seguintes questões de pesquisa:

- a) qual o volume potencial anual de água da chuva que pode ser coletado no telhado da STI?
- b) como melhorar a qualidade da água armazenada?
- c) qual o volume do reservatório de projeto?

1.4 Objetivos da pesquisa

1.4.1 Objetivo Geral

Estimar o volume potencial anual de armazenamento de águas pluviais no prédio da STI.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) estimar a vazão máxima para o sistema de coleta de águas pluviais para um período de retorno de 25 anos.
- b) dimensionar o sistema de captação de águas pluviais incluindo o mecanismo DesviUFPE, responsável pelo descarte dos primeiros milímetros de chuva.
- c) mensurar o volume potencial anual de captação de águas pluviais.
- d) dimensionar o reservatório considerando o descarte das primeiras águas.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, conforme a estrutura a seguir:

Capítulo 1 (Introdução): é composto pela contextualização e problemática do tema abordado no estudo, questionamentos de pesquisa, objetivo geral e específicos.

Capítulo 2 (Revisão Bibliográfica): neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre aproveitamento de águas pluviais.

Capítulo 3 (Metodologia): é apresentado o procedimento adotado para o dimensionamento do sistema de coleta de águas pluviais e seu armazenamento, incluindo o mecanismo de descarte dos primeiros milímetros de chuva.

Capítulo 4 (Resultados e Discussões): neste capítulo são analisados os resultados do estudo verificando se os objetivos foram atingidos.

Capítulo 5 (Conclusões): neste capítulo são apresentadas as conclusões geradas a partir do estudo feito no trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ciclo hidrológico e águas pluviais

A água segue um ciclo que perpassa por seus diferentes estados físicos e cada etapa desse processo tem seu papel fundamental para a manutenção do equilíbrio natural dos ecossistemas. Seja no estado gasoso, líquido ou sólido, a água conduz a dinâmica da natureza impulsionando seus ciclos fundamentais.

O ciclo hidrológico depende de diversos fatores, como da velocidade dos ventos, da permeabilidade e composição do solo, da vegetação, da energia solar, da temperatura e da pressão atmosférica, etc. Um fator em específico que é motor predominante na mudança do ciclo natural da água é o homem, haja vista que modificações antrópicas no espaço, seja pelo uso de recursos naturais ou pela própria ocupação acarreta em uma série de modificações tanto no meio biótico como abiótico.

A chuva é uma precipitação de água no estado líquido, a forma majoritariamente encontrada no Brasil. Esse fenômeno fundamental para a recarga de corpos hídricos superficiais é resultante da condensação de vapor d'água contido na atmosfera. Ao romper o equilíbrio que mantém as gotículas suspensas no ar a água cai em direção ao solo.

Naturalmente durante uma chuva parte da água precipitada infiltra no solo e o excedente escoar superficialmente com sentido e direção em função da gravidade e da topografia da região, sendo esse excesso denominado de deflúvio. É de interesse, para fins práticos de engenharia, a estimativa da fração da água precipitada que se converte em vazão superficial. Para tal, foram desenvolvidos métodos para cálculo de vazão superficial de pico para uma determinada intensidade pluviométrica. Neste trabalho será abordado o método racional.

2.2 Método racional

É o método mais propagado para a determinação de vazões de pico em bacias pequenas e suas primeiras menções tem registro no final do século XIX na Inglaterra. A possibilidade de lograr na maioria das vezes resultados aceitáveis a

partir de uma técnica simples é o motivo de sua grande aceitação. Entretanto para a aplicação é necessário atender as condições de validade do método (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

A técnica tem essa denominação por ter sido elaborada a partir de conclusões teóricas, diferindo da maioria dos métodos para esse mesmo fim, que foram construídos com base no empirismo.

Segundo Tucci, Porto e Barros (1995) para efeitos práticos, define-se como bacia pequena aquela de área inferior a 3 km² ou que possuam tempo de concentração menor que 60 minutos. Algumas propriedades são inerentes a esse tipo de bacia:

- a) é possível adotar a distribuição pluvial uniforme em toda extensão da bacia;
- b) é possível adotar a distribuição pluvial uniforme no tempo;
- c) A duração da chuva geralmente é superior ao tempo de concentração da bacia;
- d) o deflúvio é ocasionado principalmente por conta do escoamento de superfícies;
- e) O amortecimento nos canais é insignificante.

A fórmula que define o método racional é:

$$Q = 0,275 CIA \quad (1)$$

onde,

Q: Vazão de pico em m³/s;

C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I: Intensidade pluviométrica média da chuva em mm/h;

A: Área de contribuição em km².

2.2.1 Coeficiente de escoamento superficial (C)

O coeficiente C representa a razão da chuva efetiva pela precipitação total, isto é, a fração de chuva que esco superficialmente. Ele depende de uma série de variáveis, tais como a ocupação e uso do solo, a umidade antecedente à chuva, a intensidade pluviométrica, dentre outros.

Ao considerar C constante para toda a extensão de uma bacia estamos fugindo bastante da realidade. Sendo assim, ao estipular um valor de C se faz necessário tomar cautela (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Geralmente a determinação para fins práticos do valor de C é feita em função apenas da ocupação do solo. A tabela a seguir mostra alguns valores de C para diferentes períodos de retorno seguindo a metodologia supracitada.

Tabela 01: Coeficientes de escoamento superficial em função da ocupação do solo.

Ocupação do solo	C
DE EDIFICAÇÃO MUITO DENSA: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com rua e calçada pavimentadas.	0,70 a 0,95
DE EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSA: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
DE EDIFICAÇÕES COM POUCAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
DE EDIFICAÇÕES COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes.	0,25 a 0,50
DE SUBÚRBIOS COM ALGUMA EDIFICAÇÃO: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções.	0,10 a 0,25

DE MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES: Partes rurais, áreas verdes, superficies arborizadas, parques ajardinados e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20
---	-------------

Fonte: (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995, p. 130).

2.3 Relação Intensidade-Duração-Frequência

Chuvas chamadas extremas ou intensas são eventos caracterizados pela distribuição não homogênea no tempo e no espaço e por causarem diversos problemas, como a erosão do solo e inundações (ARAÚJO et al., 2008).

Por gerar um grande volume de deflúvio, se faz necessário conhecer a periodicidade e magnitude das chuvas intensas. A estimativa do escoamento superficial gerado por determinado evento chuvoso é fundamental para promover práticas de conservação do solo e água assim como para dimensionar estruturas hidráulicas como barragens e vertedouros (CECÍLIO et al., 2009).

A discretização de chuvas intensas é feita através de equações que quantificam a relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de precipitações de um dado local. Essas expressões denominadas equações IDF são obtidas de forma empírica com base em uma série histórica de dados de pluviógrafo coletada em estação pluviométrica.

De modo geral para bacias urbanas, admite-se as considerações para bacias de tamanho médio e pequeno. Nas duas situações, o uso da equação IDF é de grande relevância para a determinação da chuva de projeto sendo o evento uma precipitação uniformemente distribuída no tempo ou não (SILVA; PALÁCIO; CAMPOS, 2013).

As equações que descrevem a relação existente entre intensidade, duração e frequência podem ser representadas a partir da seguinte expressão geral:

$$i = \frac{(k \cdot t)^m}{(t+t_0)^n} \quad (2)$$

Onde

i é a intensidade pluviométrica em mm/h;

T se refere ao período de retorno em anos;

t é a duração da chuva em minutos;

K, m, t_0, n são parâmetros obtidos empiricamente.

2.3.1 A primeira equação IDF de Fortaleza.

Para a cidade de Fortaleza no Ceará, foram desenvolvidas diferentes equações IDF nas últimas 5 décadas. De acordo com CEARÁ (1978, p.165 apud SILVA; PALÁCIO; CAMPOS, 2013) a primeira IDF da capital cearense foi elaborada em 1978 pela empresa *Aquan Plan*, contratada pela Autarquia Metropolitana de Fortaleza (AUMEF). O estudo foi embasado em uma série de dados (1928 a 1975) produzida pela estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), que após análise de consistência de dados, dos 48 anos de registros foram utilizados efetivamente somente 37 anos. A consultora elaborou a equação abaixo que é aplicável para chuvas com duração menor que 2 horas.

$$i = \frac{(528,076 \cdot T)^{0,148}}{(t+6)^{0,62}} \quad (3)$$

Onde

i denota a intensidade de precipitação (mm/h)

T representa o tempo de retorno (anos)

t a duração da chuva (min)

2.3.2 Equação IDF de Matos Neto e Fraga.

A partir de uma série histórica pluviométrica da estação meteorológica do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFC, Matos Neto & Fraga (1983) produziram uma equação IDF (eq. 4) para Fortaleza. Foi tomado como base 17 anos de medição (1964 a 1980).

$$i = \frac{(506,99 \cdot T)^{0,181}}{(t+8)^{0,61}} \quad (4)$$

Onde

i denota a intensidade de precipitação (mm/h)

T representa o tempo de retorno (anos)

t a duração da chuva (min)

2.3.3 Equação IDF de Rodrigues, Andrade, Oliveira e Lobato.

Os autores elaboraram equações IDF para as cidades de Fortaleza e Pentecoste no Ceará a partir do ajuste do modelo de distribuição de probabilidade de Gumbel com base na análise de série históricas de dados pluviométricos sendo 30 anos para Fortaleza e 19 anos para Pentecoste. A expressão obtida que relaciona intensidade, duração e frequência para a cidade de Fortaleza foi:

$$i = \frac{(18,926 \cdot T)^{0,1621}}{(t+12)^{0,76}} \quad (5)$$

Onde

i é a intensidade pluviométrica em mm/h;

T é o período de retorno em anos;

t se refere a duração da precipitação em minutos.

2.3.4 Equação IDF de Silva, Palácio e Campos.

Silva, Palácio e Campos (2013) elaboram a equação IDF para a cidade de Fortaleza baseada na análise de uma série histórica de dados pluviométricos de 30 anos (1970-1999) produzido por pluviógrafo localizado na estação climatológica da UFC.

$$i = \frac{(2345,29 \cdot T)^{0,173}}{(t+28,31)^{0,9404}} \quad (6)$$

Onde

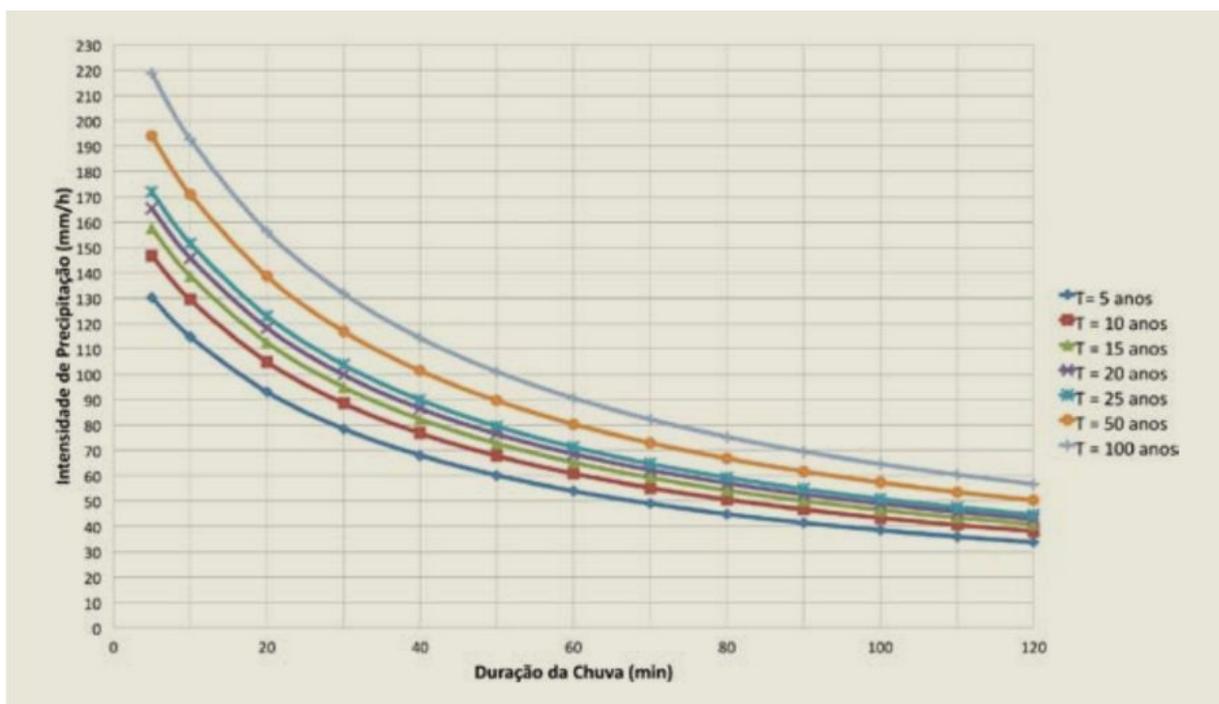
i denota a intensidade pluviométrica em mm/h;

T é o período de retorno em anos;

t se refere a duração da precipitação em minutos.

O gráfico gerado pela equação para diferentes durações e períodos de retorno é mostrado a seguir:

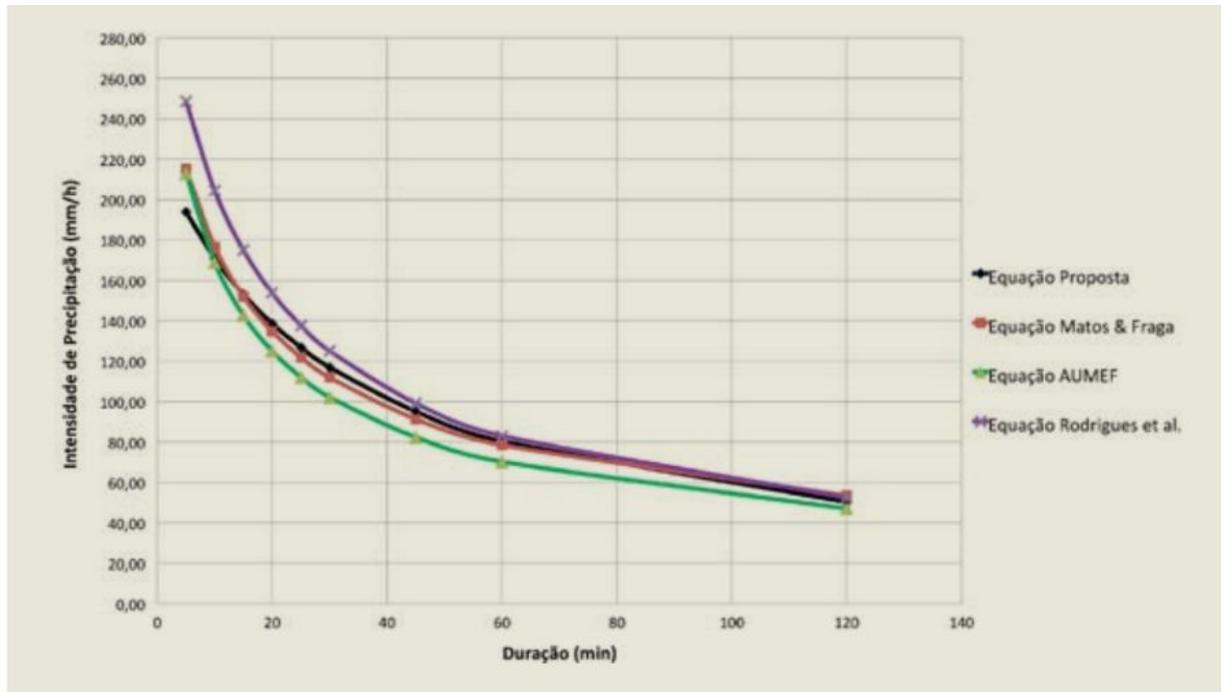
Figura 01: Curva intensidade-duração-frequência com diferentes períodos de retorno para estação climatológica da UFC.



Fonte: (SILVA; PALÁCIO; CAMPOS, 2013)

Silva et al., apresentaram uma comparação dos valores obtidos pelas diferentes IDF de Fortaleza abordadas para um período de retorno de 50 anos, onde nota-se que há poucas diferenças entre as curvas obtidas. Sendo assim, todas são aptas para estimar níveis de intensidade de chuvas, ou seja, podem ser empregadas em projetos de dimensionamento de obras hidráulicas em bacias pequenas na capital cearense.

Figura 02: Comparação gráfica das diferentes equações IDF para Fortaleza-Ce.



Fonte: (SILVA; PALÁCIO; CAMPOS, 2013)

2.4 Dimensionamento de calhas

As calhas ou condutores horizontais são responsáveis pela coleta e transporte da água do telhado para os condutores verticais, que estes na drenagem convencional, deságuam suas águas na galeria mais próxima ou no próprio solo.

2.4.1 Hidráulica de Canais.

Hidráulica de canais se refere por definição ao escoamento livre, ou seja, nessa situação a pressão atuante na área superficial do fluido é a atmosférica. A denominação “livre” remete ao escoamento não forçado.

Os escoamentos em canais podem ser divididos em permanentes e não permanentes. Resumidamente, diferente do regime não permanente no regime permanente as grandezas físicas que variam com o tempo podem ser desprezadas.

2.4.1.1 Equação de Manning.

A equação de Manning de 1889 mostrada abaixo foi gerada a partir de um ajuste de curvas, a partir de dados empíricos. Portanto, não é dotada de conceitos que traduzem um significado físico. Ela possibilita o cálculo da velocidade média do escoamento livre com base em algumas variáveis.

$$V = \frac{R_H^{2/3} I_0^{1/2}}{n} \quad (7)$$

Onde,

V: velocidade média (m/s);

n: coeficiente de Manning (adimensional);

R_H : raio Hidráulico (m);

I: inclinação do fundo canal (m/m).

O coeficiente de Manning (n) é determinado através de experimentos e varia para cada tipo de material. Em relação a drenagem predial, o valor típico de n adotado para dimensionamento de calhas de materiais lisos como o PVC é 0,012 (MACINTYRE, 1990, p.141).

O raio hidráulico (R_H) é definido como a razão da área da seção molhada (área da seção em que o fluido escoar efetivamente) pelo perímetro molhado (perímetro da seção do canal em contato com o fluido).

Considerando calhas de seção semicircular de raio r trabalhando com vazão máxima, isto é, à plena seção, o raio hidráulico R_H é dado por:

$$R_H = \frac{\pi r^2}{2} \div \frac{2\pi r}{2} = \frac{r}{2} \quad (8)$$

Combinando a equação da continuidade ($Q=VA$) com a fórmula de Manning obtemos a seguinte expressão:

$$Q = \frac{R_H^{2/3} I_0^{1/2}}{n} A \quad (9)$$

Onde,

Q: vazão do fluido (m³/s);

n: coeficiente de Manning (adimensional);

R_H : raio Hidráulico (m);

I: inclinação do fundo canal (m/m).

A: Área da seção do canal.

Dessa forma, em síntese, para dimensionar um canal com capacidade de drenar uma determinada vazão de projeto necessitamos apenas definir o material utilizado, a forma geométrica da seção, e a inclinação do fundo.

2.5 O fenômeno *first flush*.

A urbanização afeta diretamente a qualidade da água que esco superficialmente durante uma chuva. As atividades antrópicas produzem subprodutos contaminantes do ar e solo que são carregados e dissolvidos pelas águas pluviais.

First flush ou efeito de primeira lavagem é o fenômeno responsável pela lavagem do material que se acumula nas coberturas de drenagem no período não chuvoso. Trata-se da fase inicial do escoamento, onde a concentração de poluentes é significativamente mais elevada.

Segundo Porto (1998), alguns fatores como a lâmina de água formada sobre a cobertura e o volume total escoado são cruciais para que o fenômeno aconteça. O efeito de primeira lavagem ocorre com maior veemência em bacias pequenas em eventos chuvosos de intensidade elevada.

Para o aproveitamento da água pluvial, o desvio dos primeiros milímetros de chuva é fundamental para garantir uma melhor qualidade da água no reservatório, haja vista que as primeiras águas são responsáveis por lavar a atmosfera, a cobertura de captação e os condutores.

2.5.1 O sistema DesviUFPE.

Com o intuito de desenvolver um mecanismo capaz de melhorar a qualidade da água pluvial armazenada, o grupo de pesquisas de cisternas da Universidade Federal de Pernambuco elaborou um sistema automático de descarte das primeiras águas, denominado DesviUFPE. Trata-se de um dispositivo construído de tubos de PVC acoplados formando uma grade que fica ligado na saída da calha de coleta.

O funcionamento é baseado nos princípios físicos do fecho hídrico e vasos comunicantes. No início do evento chuvoso a água coletada no telhado contendo uma elevada concentração de contaminantes primeiramente é desviada para o dispositivo e somente após completar seu volume, o fluxo segue para o reservatório (Alves *et al.*, 2014 *apud* Silva *et al.* 2017).

O DesviUFPE (mostrado abaixo), possui facilidade de instalação, manutenção e modificação, portanto não há necessidade de mão-de-obra especializada para seu manejo (Lima, 2012). Para realizar o dimensionamento do dispositivo, basta definir o diâmetro da tubulação empregada e calcular o comprimento necessário para comportar o volume de descarte. A quantidade de água a ser desviada depende da área do telhado. A NBR 15527(ABNT, 2019) recomenda 2 mm de água para cada metro quadrado de área de contribuição.

Figura 03: Dispositivo DesviUFPE



Fonte: Figueiras, 2013 *apud* Teston (2015)

2.6 Estimativa do volume potencial de coleta

Em síntese, o volume potencial anual de coleta de águas pluviais em cobertura predial pode ser obtido simplesmente através do produto da área de contribuição pela precipitação anual local. Como mostra a equação:

$$V = A \cdot P \quad (10)$$

Onde,

V é o volume potencial anual de coleta;

A refere-se a área de contribuição;

P denota a precipitação anual local.

A área de contribuição é obtida com base na forma geométrica do telhado, enquanto a precipitação anual local pode ser determinada através da análise de uma série histórica pluviométrica. O valor de P é definido como a média aritmética da série em estudo, e refere-se a precipitação anual provável. Entretanto, é necessário definir se os dados serão utilizados de forma integral ou não, isto é, se para obter um resultado satisfatório se faz necessário utilizar toda a série histórica ou apenas parte dela.

O número de anos **n** de medição contínua que compõem uma série histórica pluviométrica é denominado tamanho da amostra e sua determinação tem grande relevância, visto que estamos definindo o número de elementos utilizados na determinação da precipitação média anual, esta usada na estimativa da vazão. O processo de escolha do tamanho da amostra deve ser feito sempre atentando para o fato de que escolher um intervalo grande de dados pode acarretar em uma análise com grande demanda de tempo. Por outro lado, utilizar uma amostra muito pequena pode gerar um resultado pouco confiável. O valor de n pode ser calculado baseado na margem de erro, como mostra a expressão:

$$n = \left[\frac{(z/\sigma)}{E} \right]^2 \quad (11)$$

Onde,

n é o tamanho da amostra;

z é o valor crítico para cada grau de confiança;

E denota o erro máximo da estimativa.

O valor de z para os graus de confiança corriqueiros é mostrado na tabela abaixo:

Grau de confiança	Z
90%	1,645
95%	1,96
99%	2,575

A fundamentação da elaboração de intervalos de confiança está no teorema central do limite, que descreve que médias de grandes amostras aleatórias são aproximadamente normais. Entende-se como grandes amostras aquelas que possuem $n > 30$ (TRIOLA, 1999).

3 METODOLOGIA

Neste Capítulo será abordada a metodologia adotada para o dimensionamento do sistema de captação de águas pluviais para aproveitamento no prédio da STI. Sendo tomado como base as recomendações da NBR 10844 (ABNT, 1989) e NBR 15527 (ABNT, 2019). Foram utilizadas coordenadas geográficas de estações pluviométricas localizadas próximas a área de estudo para construir polígonos de Voronoi e identificar qual posto de medição possui a maior representatividade pluviométrica acerca da área de projeto. Foi também usado uma série histórica de dados da estação pluviométrica denominada PICI e equações disponíveis na literatura, tais como as equações de Manning e da IDF de Fortaleza proposta por Silva *et al* (2013).

3.1 Vazão de Projeto

A vazão de projeto (vazão máxima) é obtida através da multiplicação da intensidade pluviométrica de projeto pela área de contribuição, conforme a fórmula do Método Racional:

$$Q = CiA \quad (12)$$

Para efeitos práticos, deve-se considerar o coeficiente de escoamento **C** igual a 1 para coberturas de edifícios (superfície impermeabilizada), ou seja, toda a água que cai sobre a área do telhado se converte em escoamento superficial.

A intensidade de chuva (expressa em **mm/h**) utilizada na determinação da vazão de projeto, pode ser definida como o máximo incremento da lâmina líquida por unidade de tempo em 1 m² para um evento chuvoso com duração de **t** minutos, para um número **T** de anos observados.

Corriqueiramente no dimensionamento de obras hidráulicas, empregam-se metodologias baseadas na análise de casos extremos (máximos ou mínimos). Para o cálculo da vazão de projeto do presente trabalho, uma condição de extremo foi inserida implicitamente na intensidade pluviométrica **i**, visto que esta variável tem seu valor diretamente proporcional ao período de retorno de projeto, como mostra a

expressão geral que relaciona a relação entre intensidade, duração e frequência de uma chuva:

$$i = \frac{(k \cdot t)^m}{(t+t_0)^n} \quad (13)$$

Onde

i é a intensidade pluviométrica em mm/h;

T se refere ao período de retorno em anos;

t é a duração da chuva em minutos;

K, m, t_0, n são parâmetros obtidos empiricamente.

A duração da precipitação utilizada para o cálculo de estimativa da intensidade pluviométrica em projetos de drenagem pluvial predial deve ser igual a 5 min (na ausência de dados) conforme recomendações da NBR 10844. E o período de retorno para projetos de aproveitamento de águas pluviais coletadas em telhados deve ser no mínimo 25 anos conforme sugestão da NBR 15527. Para o presente trabalho, ambas recomendações foram levadas em consideração.

O valor da intensidade de chuva para uma precipitação com duração de 5 minutos em Fortaleza pode ser obtido na tabela 5 em anexo à ABNT NBR 10844 (anexo 01 do presente trabalho) para os períodos de retorno de 1, 5 ou 21 anos. Entretanto, foi utilizado para sua determinação a IDF de Fortaleza proposta por Silva et al. (2013), que se baseou numa série histórica de dados de precipitação 1970 a 1999 coletadas em um pluviômetro da UFC, localizado no bairro Pici, mesmo local do prédio da STI, objeto de estudo do presente trabalho.

$$i = \frac{(2345,29 \cdot T)^{0,173}}{(t+28,31)^{0,904}} \quad (14)$$

Onde,

i é a intensidade média de chuva em mm/h para a duração de chuva em t minutos;

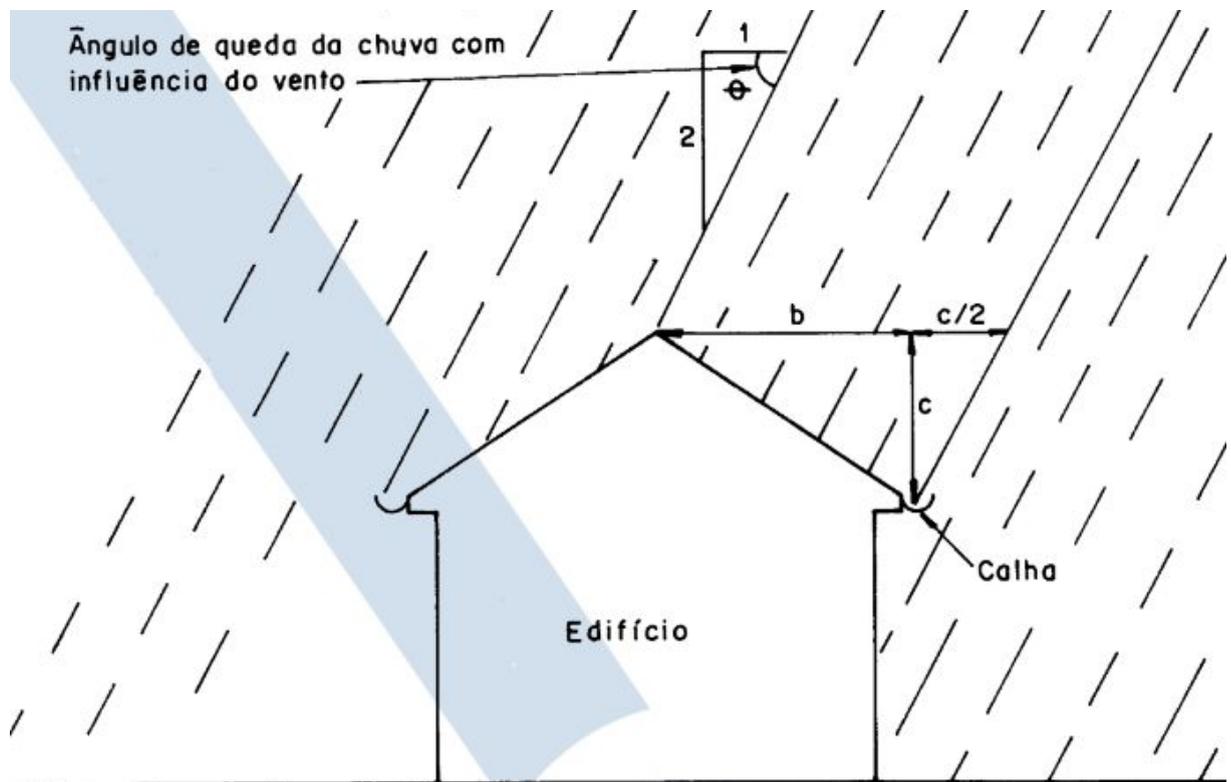
T denota O período de retorno da precipitação em anos;

t se refere a duração de chuva.

3.1.2 Área de Contribuição

A NBR 10844 (ABNT, 1989) define a área de contribuição como o somatório das áreas que, quando interceptam a chuva, drena a água para um ponto específico da instalação (exutório). A norma orienta que na determinação da área de contribuição deve-se levar em conta o acréscimo relacionado a inclinação da cobertura. Esse incremento na área é devido a influência do vento no ângulo de queda das gotas de chuva conforme ilustração abaixo.

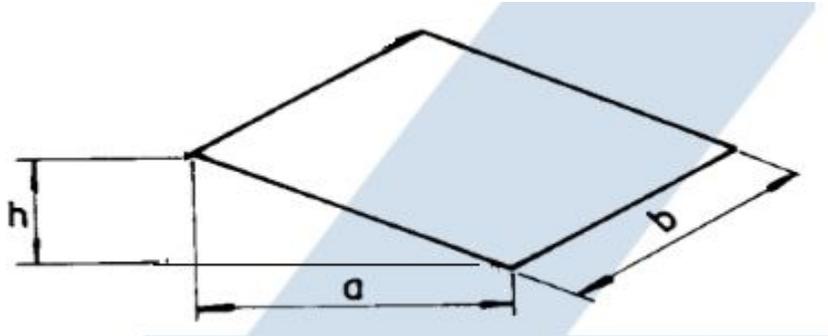
Figura 04: Influência do vento no ângulo de queda das gotas de chuva.



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989)

Para uma superfície retangular inclinada com dimensões de projeção no plano horizontal $a \times b$ (mostrada abaixo), o cálculo da área de contribuição A é feito conforme mostrado a seguir:

Figura 05: Dimensões de superfície retangular inclinada para cálculo da área de contribuição.



Fonte: Adaptado de NBR (ABNT, 1989)

$$A = (a + \frac{h}{2}) \cdot b \quad (15)$$

Onde,

A é a área de contribuição da superfície (m²);

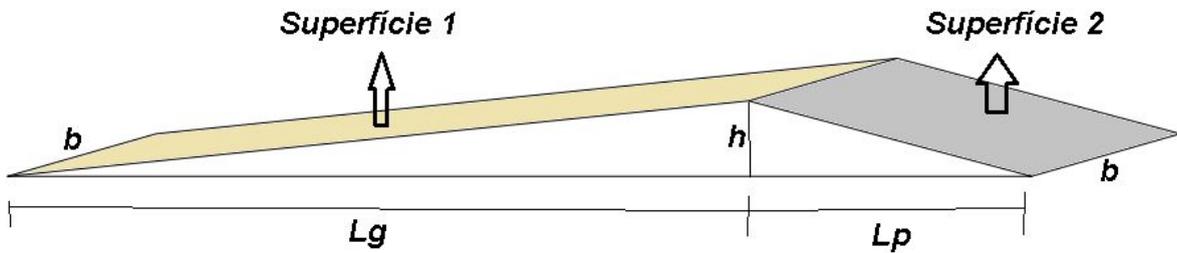
a refere-se a projeção do comprimento na horizontal (m);

h é a maior distância entre o plano horizontal e o telhado (m);

b denota a largura da superfície em questão (m).

As dimensões do telhado da STI foram obtidas a partir de plantas do prédio, sendo a cobertura composta por duas superfícies com inclinações e comprimentos diferentes, conforme figura mostrada a seguir:

Figura 06 - Esboço da cobertura do prédio da STI.



As dimensões L_g , L_p , b e h obtidas através da planta e cortes laterais do prédio da STI foram respectivamente 57,801, 22,7055, 12 e 0,5 m.

A área de contribuição para a calha da superfície 1 é dada por,

$$A_1 = \left(L_g + \frac{h}{2}\right) \cdot b \quad (16)$$

e a área de contribuição para a calha que drena as águas que caem sobre a superfície 2 é:

$$A_2 = \left(L_p + \frac{h}{2}\right) \cdot b \quad (17)$$

3.2 Calhas “Horizontais”

A denominação “horizontais” se dá pelo fato das calhas possuírem pequena inclinação em relação a horizontal. Para o projeto, esse tipo de calha foi definido como tubo de seção semicircular e por conseguinte o raio hidráulico (razão da área molhada pelo perímetro molhado) pode ser simplificado, sendo igual a metade do raio geométrico ($R_h = \frac{r}{2}$).

O dimensionamento da largura das calhas foi realizado utilizando a equação para condutos livres de Manning juntamente com a equação da continuidade:

$$V = \frac{R_h^{2/3} I^{1/2}}{n} \quad (18)$$

Onde,

V : velocidade média (m/s);

n : coeficiente de Manning (adimensional);

R_h : raio Hidráulico (m);

I : inclinação do fundo do canal (m/m).

E pela equação da continuidade:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (19)$$

Onde:

Q = Vazão de projeto em m³/s;

A = Seção da área molhada em m²;

V = Velocidade média do escoamento em m/s.

Igualando as equações obtemos a seguinte expressão:

$$\frac{Q}{A} = \frac{(\frac{5}{3})^{2/3} I^{1/2}}{n} \quad (20)$$

Isolando os termos geométricos,

$$r^{\frac{2}{3}} \cdot A = \frac{1,5874 \cdot Q \cdot n}{I^{1/2}} \quad (21)$$

como A refere-se a área de um semicírculo ($\frac{\pi r^2}{2}$), podemos reescrever a equação da seguinte forma:

$$r^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{\pi r^2}{2} = \frac{1,5874 \cdot Q \cdot n}{I^{1/2}} \quad (22)$$

$$r = \left(\frac{1,01057 \cdot Q \cdot n}{I^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (23)$$

Como o diâmetro D é o dobro do raio,

$$\frac{D}{2} = \left(\frac{1,01057 \cdot Q \cdot n}{I^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (24)$$

$$D = 2 \left(\frac{1,01057 \cdot Q \cdot n}{I^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (25)$$

O valor de D de projeto para cada calha é o diâmetro nominal disponível no mercado, igual ou imediatamente superior ao calculado (50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350 ou 400 mm).

O dimensionamento das calhas é feito a partir da vazão obtida pelo método racional, pois o conduto possui seção semicircular, a máxima vazão se dá a plena

seção, ou seja, quando a altura da lâmina líquida é igual ao raio. O material definido para as calhas é o policloreto de vinila (PVC) rígido, sendo a declividade de projeto 1% (adotada) e o valor de n igual 0,012 (Macintyre, 1990). A drenagem do prédio da STI definida para este trabalho conta com 2 calhas horizontais em extremidades opostas à cobertura, sendo que cada uma é responsável por drenar frações diferentes da vazão total, por possuírem áreas de contribuição diferentes. Elas conduzem a água para o funil de saída que faz a concordância entre o fluxo horizontal e vertical.

3.3 Condutores verticais

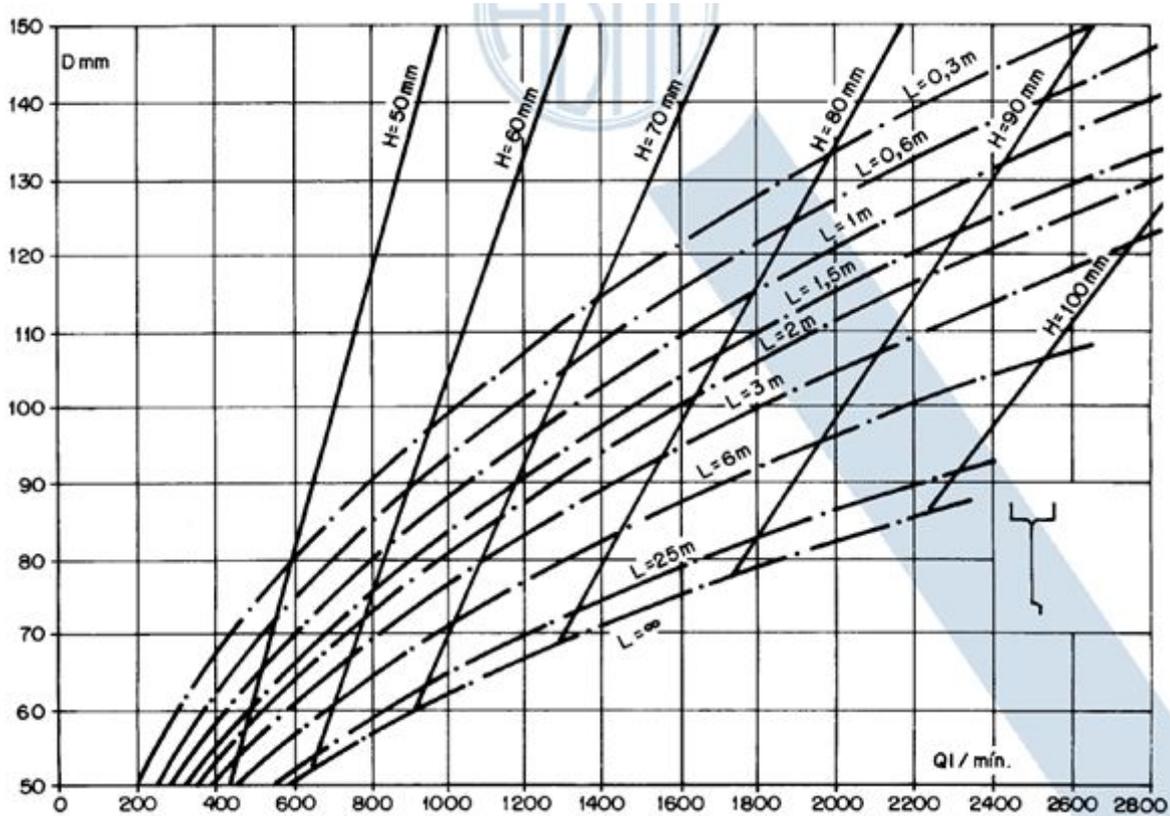
Para realizar o dimensionamento dos condutores verticais de seção circular foram utilizados os dados de projeto de cada calha separadamente, que são a vazão de projeto, altura de lâmina de água na calha e comprimento do conduto. O diâmetro adotado é o comercial igual ou imediatamente superior ao obtido através do ábaco para a determinação de diâmetros de condutores verticais disponível na figura 3 da NBR 10844 (ABNT, 2019), mostrada abaixo. Sendo observado de que o diâmetro mínimo para o condutor deve ser 70mm.

O procedimento do dimensionamento é realizado primeiramente projetando uma linha vertical partindo da vazão máxima Q (eixo x) até interceptar as curvas de H (altura da lâmina na calha) e L (comprimento do condutor vertical) correspondentes. A partir do valor mais elevado de interceptação da vazão com as curvas H e L , traça-se uma horizontal a este ponto, obtendo-se o diâmetro D (eixo y) equivalente. Na inexistência de um valor de D para os valores de Q e L utilizados, deve-se interpolar/extrapolar o valor de D com base nos valores de H disponíveis no ábaco para a vazão analisada.

Para o projeto o valor de H é igual ao raio calculado para a calha, haja vista que por se tratar de um conduto com seção semicircular a máxima lâmina líquida admissível se dá quando esta é igual a metade do diâmetro.

As unidades de Q , H , L e D para uso no ábacos são, respectivamente, L/min, mm, m e mm.

Figura 07: Ábacos para a determinação de diâmetros de condutores verticais para calha com funil de saída.



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989)

3.4 Volume Potencial de Coleta

A disponibilidade teórica de água de chuva para armazenamento depende da precipitação, da área de captação, do coeficiente de escoamento superficial da cobertura e do volume inicialmente desviado, podendo ser estimado pela seguinte equação:

$$V = P \cdot A - V_{des} \quad (26)$$

Onde:

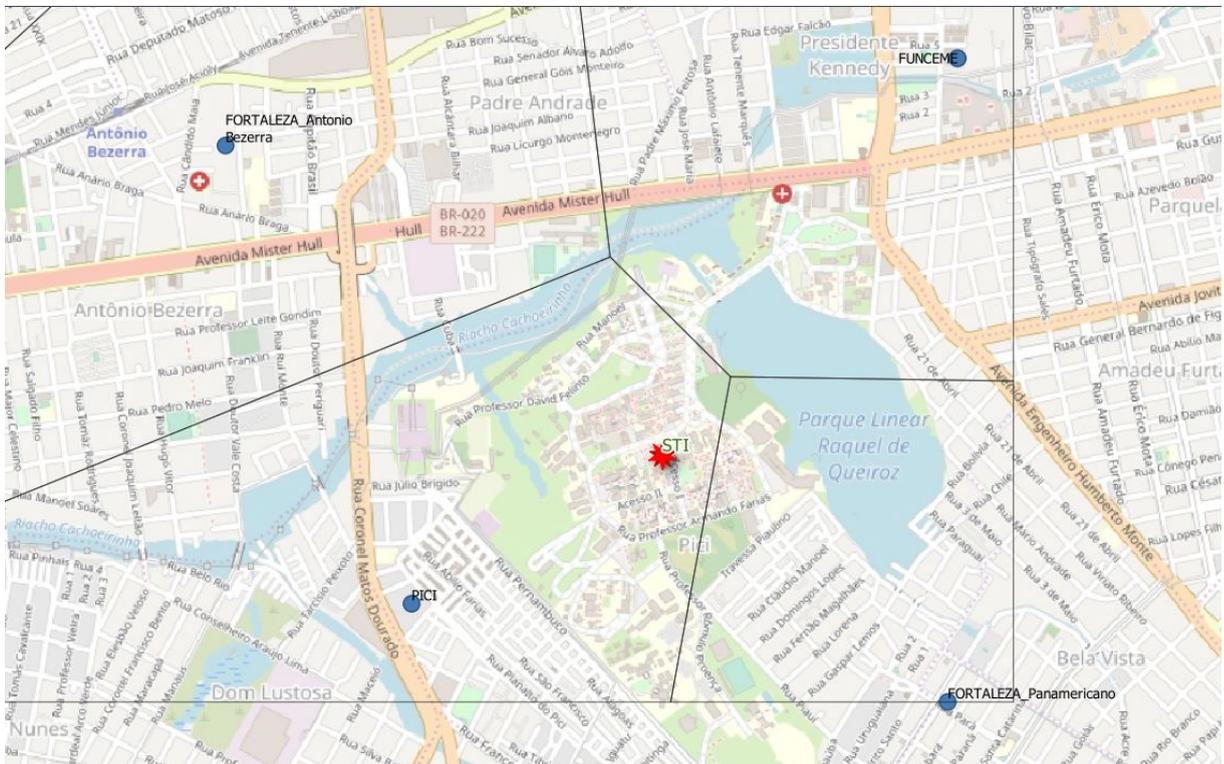
V refere-se a disponibilidade teórica de água da chuva para armazenamento em L;
P é a precipitação anual em mm;
A se refere a área de contribuição;
 V_{des} denota o volume de descarte devido ao *first flush* em L (efeito de primeira lavagem).

Para determinar **P** deve-se definir primeiramente qual série histórica utilizar, conseqüentemente, selecionar uma estação pluviométrica que produzirá um resultado mais confiável, para isso foi realizado o seguinte procedimento:

A área de estudo é o bloco 901, denominado Secretaria da Tecnologia da Informação pertencente à Universidade Federal do Ceará, e sua localização geográfica foi obtida no Google Earth (2019) e inserida em projeto utilizando o software livre QGIS versão 3.8. Foram gerados polígonos de Voronoi (Isto é, áreas geradas a partir do traçado perpendicular a metade da distância entre cada posto pluviométrico) tendo como dados de entrada as coordenadas geográficas obtidas através do HidroWeb (ANA, 2019) das 4 estações pluviométricas mais próximas ao local de estudo.

A figura 8 é o mapa que mostra a STI inserida na área de influência da estação denominada PICI.

Figura 08: STI inserida na área de influência da estação PICI.



Fonte: O autor

Uma amostra estatística é uma fração dos eventos coletada de forma padronizada para posterior análise. A partir dela é possível estimar parâmetros da população estatística (todos os eventos). O tamanho de uma amostra n pode ser estimado com base na seguinte equação:

$$n = \left[\frac{z}{E} \right]^2 \quad (27)$$

Onde,

n é o tamanho da amostra;

z é o valor crítico para cada grau de confiança;

E denota o erro máximo da estimativa.

Para determinar o tamanho da série histórica utilizada para estimar a precipitação média anual local, foi inicialmente considerado a hipótese de

simplificação de que a precipitação anual não varia no tempo em função das mudanças climáticas. Portanto, quanto maior a série de dados para determinar o valor de P menor será a margem de erro associada.

A estação PICI dispunha de medições desde Abril de 1919 a Agosto 2019, um total de quase 100 anos. Esses dados foram obtidos através do site HidroWeb gerenciado pela Agência Nacional de Águas (2019).

Para a presente pesquisa, foi considerado o tamanho da série (n) de análise igual ao somatório de todos os anos disponíveis com medições mensais ininterrupta na estação PICI. Isto é, de 1920 a 2018, excetuando os dados referentes a 1961 por haver descontinuidade de dez meses seguidos para este ano. Totalizando 97 anos ($n=97$).

A estimativa do erro máximo provável para uma amostra de tamanho n pode ser feita através da seguinte expressão:

$$n = \left[\frac{z/\sigma}{E} \right]^2 \quad (28)$$

Onde,

n é o tamanho da amostra;

z é o valor crítico para cada grau de confiança;

E denota o erro máximo da estimativa.

Foi calculado a margem de erro E para um grau de confiança de 95% ($z = 1,96$) com base na consideração feita ($n = 97$).

$$97 = \left[\frac{z}{E} \right]^2 \quad (29)$$

$$97 = \left[\frac{1,96}{E} \right]^2$$

$$E = \left[\frac{1,96}{\sqrt{97}} \right] \quad (30)$$

$$E = 0,199 = 19,9\%$$

Esse procedimento está embasado no teorema central do limite, que descreve que médias de grandes amostras aleatórias são aproximadamente normais.

O valor de **E** nos mostra que apesar da série ser relativamente grande ($n=97$) existe uma significativa margem de erro associada ao processo de determinação da precipitação média anual.

A média aritmética das precipitações anuais observada no período escolhido é de 1439,791 mm.

3.5 Mecanismo de Descarte

Para melhorar a qualidade da água reservada, se faz necessário descartar os primeiros milímetros de chuva, pois durante o período não chuvoso a cobertura da edificação pode acumular resíduos, como galhos, folhas, fezes de animais ou poeira que serão carregados pelo escoamento das primeiras chuvas, fenômeno denominado first flush. A NBR 15527 (ABNT, 2019) recomenda o descarte de 2 mm de chuva para cada metro quadrado de contribuição. Seguindo a sugestão, o volume total de água a ser descartada para a área de contribuição do projeto é calculado da seguinte forma:

$$V_{des} = A \cdot d \quad (31)$$

Onde:

Vdes = Volume total de descarte;

A = Área de contribuição;

d = Volume recomendado de descarte igual a 2 mm/m².

O dispositivo de descarte dos primeiros milímetros adotado foi o DesviUFPE (Lima, 2012), que consiste basicamente na junção de tubulações de PVC rígido formando uma grade de vasos comunicantes. Esse sistema tem como vantagem sua simplicidade de construção e modificação como mostrado na figura 03. Para seu

dimensionamento basta apenas, a partir de um diâmetro escolhido, calcular o comprimento de tubulação necessária para armazenar o volume de descarte conforme a seguinte expressão:

$$S = \frac{V_{des}}{A_b} \quad (32)$$

Onde,

S é o comprimento de tubulação necessária;

A_b é a área da seção do tubo;

V_{des} refere-se ao volume de descarte.

O comprimento **S** calculado deverá ser distribuído em todas as tubulações do sistema de descarte. O comprimento de cada tubo é calculado dividindo o valor de **S** pelo número de tubos definido pelo projetista.

3.6 Dimensionamento do Reservatório

A estimativa do volume do reservatório foi feita seguindo duas metodologias de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais trazidas na NBR 15527 (ABNT, 2019). A partir dos valores calculados para cada método, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos no intuito de verificar suas diferenças em função das considerações inerentes a cada método.

3.6.1 Método de Azevedo Neto

A metodologia de Azevedo Neto se baseia na consideração da influência dos meses com precipitação desprezível. O volume é estimado pelo produto da precipitação média anual pela área de contribuição e o número de meses com pouca chuva ou de seca, multiplicado pelo coeficiente adimensional 0,042. A fórmula para estimativa do volume é mostrada a seguir:

$$V_r = 0,042 \times P \times A \times M \quad (33)$$

Onde,

V_r é o volume do reservatório em L;

P refere-se a precipitação média anual em mm;

A é a área de contribuição para a vazão em m²;

M é o número de meses com pouca chuva ou de seca.

O coeficiente 0,042 é responsável por considerar que a água deve ser retida por um tempo de 15 dias no reservatório.

A norma não especifica os critérios para a determinação dos meses com precipitação desprezível e do volume precipitado a ser considerado desprezível. Logo, há uma subjetividade na aplicação do método. Para o presente trabalho, em que a área de estudo está localizada em Fortaleza no Ceará, foi definido como precipitação desprezível os meses de Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro. Totalizando um número de meses com pouca expressão chuvosa igual a 6.

A multiplicação de **P** por **A** refere-se ao potencial de coleta total da cobertura. Para o sistema proposto neste trabalho para a STI, esse produto é substituído pelo volume potencial de armazenamento (**V**) calculado através da equação 26. Este ajuste deve ser feito por conta do sistema de descarte das primeiras águas, visto que a água inicial não segue para armazenamento.

A fórmula de dimensionamento de reservatório pelo método de Azevedo Neto adaptada para o presente trabalho é:

$$V_r = 0,042 \times V \times 6 \quad (34)$$

Onde,

V_r é o volume do reservatório em L;

V refere-se a disponibilidade anual teórica de água para armazenamento em litros, considerando o descarte inicial no início do ciclo chuvoso.

3.6.2 Método Prático Inglês

O método Prático Inglês leva em consideração que a água tenha um tempo de detenção médio no reservatório de cerca de 18 dias. O cálculo é feito através da multiplicação da precipitação média anual pela área de contribuição da coleta e por

um coeficiente adimensional igual a 0,05 que garante que o tempo de detenção hidráulico no reservatório seja de cerca de 18 dias.

$$V_r = 0,05 \times P \times A \quad (35)$$

Onde,

V_r é o volume do reservatório em L;

P refere-se a precipitação média anual em mm;

A é a área de contribuição para a vazão em m².

Pelo mesmo motivo do método de Azevedo Neto, o produto **P x A** foi substituído pelo volume teórico disponível anual para armazenamento. Sendo a equação adapta a:

$$V_r = 0,05 \times V \quad (36)$$

Onde,

V_r é o volume do reservatório em L;

V refere-se a disponibilidade anual teórica de água para armazenamento em litros, considerando o descarte inicial no início do ciclo chuvoso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dimensionamento do Sistema de Coleta.

A intensidade de chuva de projeto é obtida a partir da equação IDF, utilizando a duração da precipitação igual a 5 min e o período de retorno 25 anos, conforme recomendações das NBR 10844 (ABNT, 1989) e NBR 15527 (ABNT, 2019). Utilizando a equação IDF proposta por Silva *et al.* (2013) foi obtido o seguinte resultado:

$$i = \frac{2345,29 \cdot 25^{0,173}}{(5+28,31)^{0,904}} = 172,04 \text{ mm/h} \quad (37)$$

O valor da intensidade de chuva para uma duração de 5 min e período de retorno de 21 anos para a cidade de Fortaleza pode ser obtido no anexo da NBR 10844 (ABNT, 1989) (anexo 1), sendo igual a 180mm/h. Esse dado foi extraído do trabalho “Chuvas Intensas no Brasil”, autoria de Otto Pfafstetter - Ministério da Viação e Obras Públicas - Departamento Nacional de Obras e Saneamento - 1957. Intuitivamente espera-se que adotando o método de análise do trabalho supracitado para um período de retorno superior a 21 anos na cidade de Fortaleza obtenha-se uma intensidade de chuva superior a 180 mm/h. Então, ao estimar a vazão de projeto utilizando a equação IDF proposta por Silva *et al.* (2013) estamos implicando num dimensionamento de menor porte, portanto, menos oneroso. Isto ocorre devido a vazão de projeto ser diretamente proporcional a intensidade pluviométrica.

4.1.1 Dimensionamento das Calhas

Utilizando a fórmula do Método Racional e substituindo os valores de intensidade de chuva obtida anteriormente pela equação de Silva *et al.* (2013), juntamente com a determinação das áreas de contribuição, foi possível calcular a vazão de projeto. Entretanto, como cada calha é responsável por drenar a água interceptada por áreas de tamanho diferentes, foi calculado a vazão de projeto para cada calha.

Para a calha responsável por conduzir as águas que caem sobre a superfície 1, a vazão de projeto (Q1) é dada por:

$$A1 = (Lg + \frac{h}{2}) \cdot b \quad (38)$$

$$Q1 = i \cdot A1 = 172,04 \text{ mm/h} * A1 \text{ m}^2 \quad (39)$$

Onde,

$$A1 = (57,801+0,5) \times 12 = 699,612 \text{ m}^2 \approx 700 \text{ m}^2$$

Logo,

$$Q1 = 172,04 \text{ mm/h} * 700 \text{ m}^2$$

$$Q1 = 120.428,0 \text{ L/h} = 2007,133 \text{ L/min}$$

$$Q1 = 33,452 \text{ L/s} = 0,033452 \text{ m}^3/\text{s}$$

O diâmetro mínimo (D1) necessário para drenar a vazão calculada para a superfície 1 é dado por,

$$D1 = 2 \left(\frac{1,01057 \cdot Q1 \cdot n}{I^{1/2}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (40)$$

Onde,

$n = 0,012$ (PVC);

$I = 0,01$ (adotado);

Então,

$$D1 = 2 \left(\frac{1,01057 \cdot 0,033452 \cdot 0,012}{0,01^{1/2}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$D1 = 0,2536 \text{ m} = 253,6 \text{ mm}$$

Logo o diâmetro adotado para a calha que drena a área 1 (superfície maior) é 300mm, pois é o diâmetro comercial imediatamente superior ao calculado.

Para a calha responsável por conduzir as águas que caem sobre a superfície 2, a vazão de projeto (Q2) é dada por:

$$Q2 = i \cdot A2 \quad (41)$$

$$Q2 = 172,04 \text{ mm/h} * A2 \text{ m}^2$$

Onde,

$$A2 = (22,7055+0,5) \times 12 = 278,466 \text{ m}^2 \approx 278,5 \text{ m}^2$$

Logo,

$$Q2 = 172,04 \text{ mm/h} * 278,5 \text{ m}^2 = 47.913,14 \text{ L/h} = 798,552 \text{ L/min}$$

$$Q2 = 13,309 \text{ L/s} = 0,013309 \text{ m}^3/\text{s}$$

O diâmetro mínimo (D2) necessário para drenar a vazão calculada para a superfície 2 é dado por,

$$D2 = 2 \left(\frac{1,01057 \cdot Q2 \cdot n}{I^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (42)$$

Onde,

$n = 0,012$ (PVC);

$I = 0,01$ (adotado);

Então,

$$D2 = 2 \left(\frac{1,01057 \cdot 0,013309 \cdot 0,012}{0,01^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D2 = 0,1795 \text{ m} = 179,5 \text{ mm}$$

Logo o diâmetro adotado para a calha que drena a área 2 (superfície menor) é 200mm, pois é o diâmetro comercial imediatamente superior ao calculado.

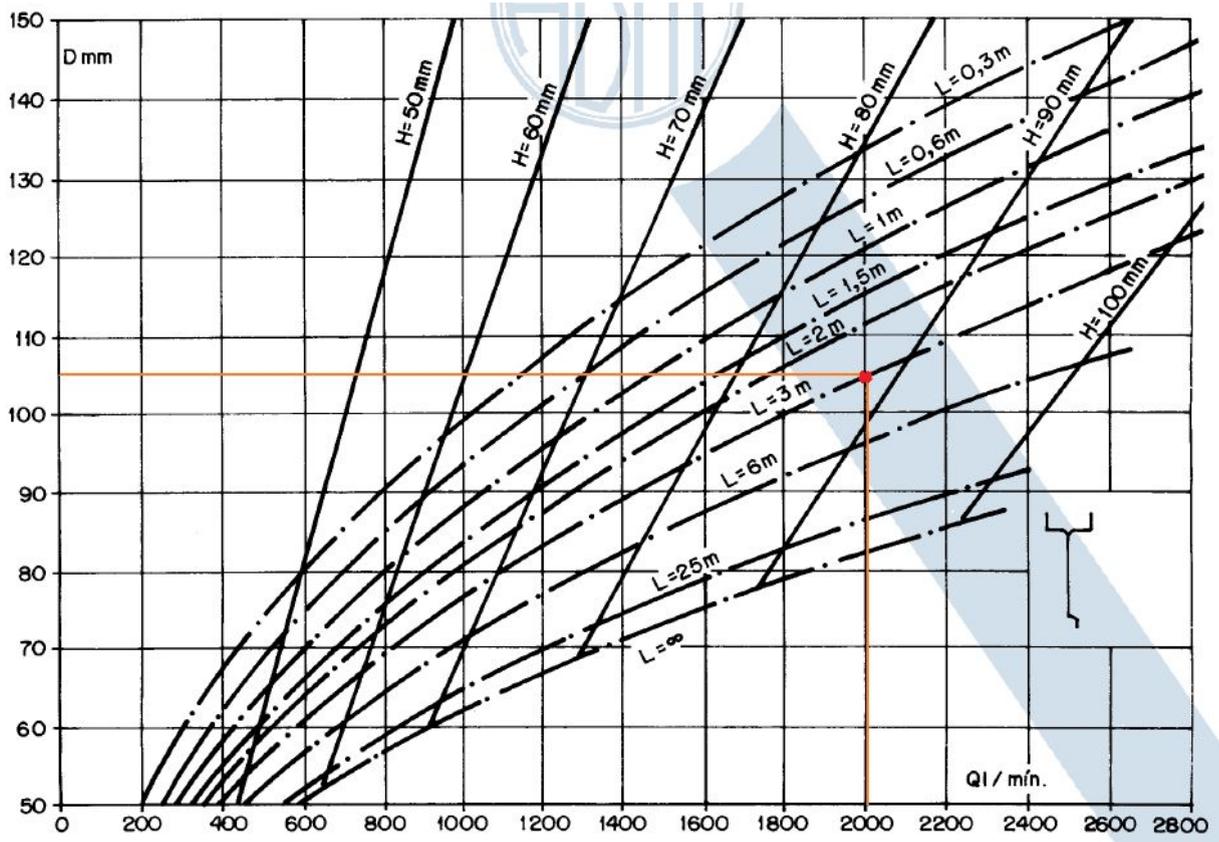
4.1.2 Dimensionamento dos Condutores Verticais

Tanto o condutor vertical que drena a água da superfície 1 como o responsável pela condução da chuva que cai sobre a área 2 possuem um comprimento de projeto de 3 m, que é o suficiente para conduzir a água para armazenamento em reservatório apoiado no segundo pavimento do prédio da STI. O reservatório mantido numa cota elevada (em relação ao térreo e primeiro pavimento) torna possível fazer uso da água por escoamento em mangueira ou tubulação rígida

em função da diferença de energia potencial, evitando o trabalho desgastante de retirada e transporte de água manualmente em recipientes.

O condutor vertical responsável por drenar a água que cai sobre a superfície 1 é dimensionado conforme mostrado no ábaco a seguir. Sabendo que $Q_1=2007,133$ L/min e considerando que H (altura da lâmina de água na calha) é igual ao raio calculado ($D/2$), isto é, $H = 126,8$ mm, traçamos as seguintes retas:

Figura 09: Dimensionamento do diâmetro para o condutor vertical da superfície 1.



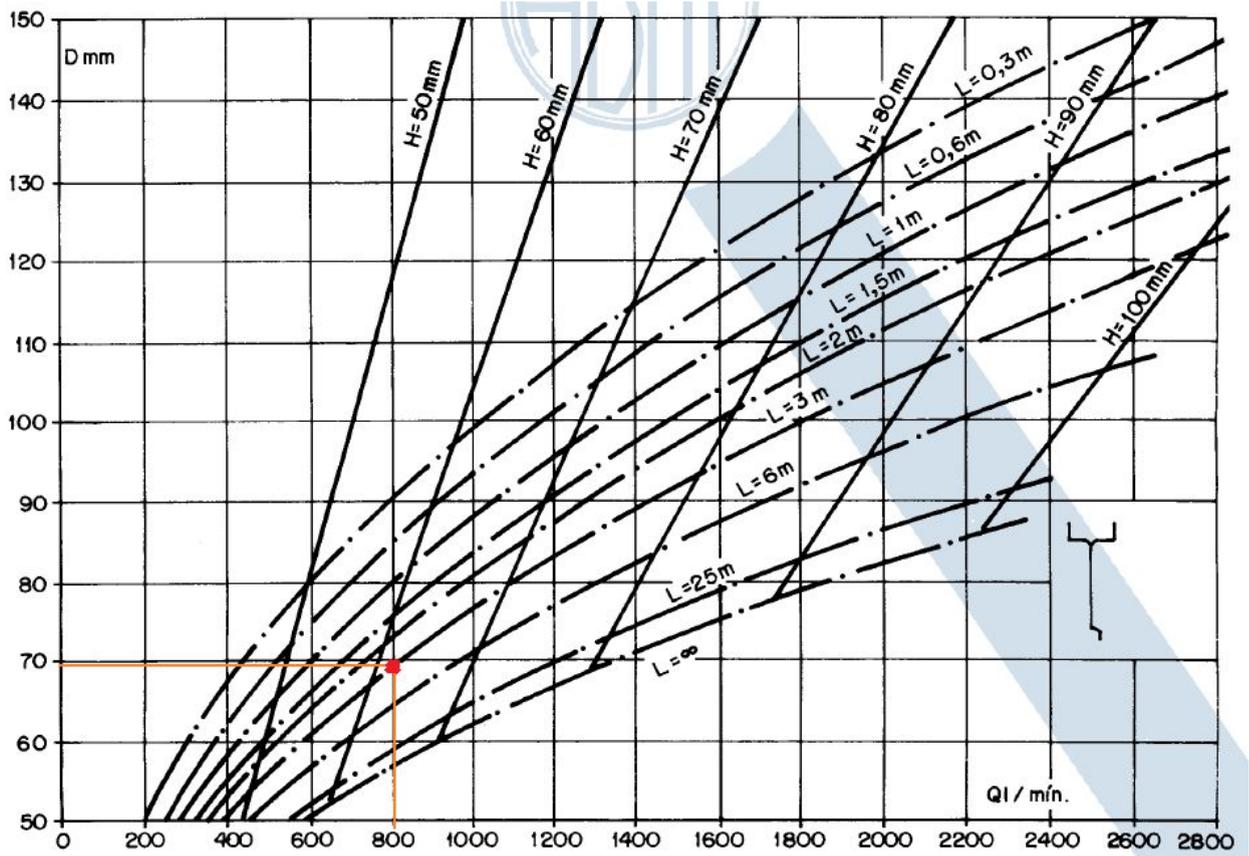
Fonte: Adaptado de NBR 15527 (2019).

O valor do diâmetro para a calha da superfície 1 obtido no gráfico é 106 mm, pois para a vazão calculada (2007,133 L/min), só há interceptação para um valor de H inferior a cerca de 94mm. Logo a interceptação entre a curva $L = 3m$ e a vazão de Q_1 definem o diâmetro obtido no gráfico, sendo o adotado para o projeto igual a 150 mm por ser o diâmetro comercial imediatamente superior ao obtido pelo ábaco.

Para a o tubo vertical responsável por conduzir as águas da calha da superfície 2, o diâmetro foi definido conforme traçado mostrado abaixo. Sabendo que

$Q_2 = 798,552 \text{ L/min}$ e $H = D_2 / 2 = 89,75\text{mm}$ (pior caso, pois está sendo considerado que a lâmina de água se mantém a mesma do diâmetro calculado).

Figura 10: Dimensionamento do diâmetro para o condutor vertical da superfície 2.



Fonte: Adaptado de NBR 15527 (ABNT, 2019).

O valor do diâmetro para a calha da superfície 1 obtido no gráfico é cerca de 69 mm, pois para a vazão calculada (798,552 L/min), só há interceptação para um valor de H inferior a 66mm. Logo a interceptação entre a curva $L = 3\text{m}$ e a vazão de Q_2 definem o diâmetro obtido no gráfico, sendo o adotado para o projeto igual a 75 mm por ser o diâmetro comercial imediatamente superior.

4.2 Volume Teórico Disponível de Coleta

O volume potencial de coleta foi calculado pela seguinte equação:

$$V = P A - V_{des} \quad (43)$$

Sendo **P** a precipitação média anual, **A** a área de contribuição total (**A1+A2**) e **Vdes** igual ao produto da área total de contribuição pela quantidade de água para descarte inicial recomendada pela NBR 15527 (2mm para cada metro quadrado).

$$V = 1439,791 \text{ mm} \times (700 + 278,5) - 2 \text{ mm} \times (700 + 278,5)$$

$$V = 1.406.878,494 \text{ L} \approx 1406,8785 \text{ m}^3$$

Esta estimativa é a favor da segurança de operação do sistema, visto que o valor de **Vdes** é contabilizado apenas uma vez para todo o ciclo chuvoso anual. **Vdes** calculado é igual a 1957 L (1,957 m³), isto é, o volume total para descarte no início do período chuvoso. O comprimento de tubo total necessário (**St**) para a construção dos dois (um para cada superfície) mecanismos DesviUFPE (Lima, 2012) responsável por drenar esse volume no período inicial do escoamento considerando tubos de PVC com diâmetro de 250mm (adotado para o projeto) é dado por:

$$St = \frac{V_{des}}{Ab} \quad (44)$$

Onde,

$$Ab = \pi r^2 \quad \text{e} \quad r = D/2 = 0,125 \text{ m}$$

$$Ab = \pi 0,125^2 = 0,04909 \text{ m}^2$$

Logo,

$$Lt = \frac{1,957}{0,04909} = 39,8656 \text{ m} \approx 39,9 \text{ m}$$

Para o sistema são necessários dois dispositivos de desvio das primeiras águas, um para cada superfície do telhado analisado no presente trabalho. Para a calha que drena as águas advindas da superfície 1 temos que:

$$A1 \approx 700 \text{ m}^2.$$

Logo,

$$\frac{A1}{A} = \frac{700}{(700+278,5)} = 0,71538 = 71,538\% \quad (45)$$

Ou seja, a superfície maior que compõe o telhado é responsável por coletar 71,538% da água que cai sobre a cobertura do prédio. Portanto, o comprimento de tubo **S1** utilizado para construção do DesviUFPE responsável por desviar as primeiras águas advindas desta fração da cobertura é proporcional a área e deve ser igual a **St** x 0,71538 = 39,9 x 0,71538 = 28,5437 m. Já o mecanismo de descarte da outra superfície que compõe a cobertura do prédio é construído com o comprimento de tubo restante, sendo 39,9 - 28,5437 = 11,3564 m.

O DesviUFPE da superfície 1 é responsável por coletar um volume de **$Ab \times S1 = 0,04909 \text{ m}^2 \times 28,5437 \text{ m} = 1,4012 \text{ m}^3 = 1.401,2 \text{ L}$** . Já o mecanismo de descarte acoplado a calha da superfície menor tem capacidade de armazenar um volume igual a **$Ab \times S1 = 0,04909 \text{ m}^2 \times 11,3564 \text{ m} = 0,55749 \text{ m}^3 = 557,49 \text{ L}$**

4.3 Dimensionamento do Reservatório

O volume do reservatório estimado pelo Método de Azevedo Neto é:

$$V_r = 0,042 \times 1.406.878,494 \times 6 = 354.533,38 \text{ L} \approx 354,5 \text{ m}^3$$

Já o volume do reservatório definido pelo Método Prático Inglês é:

$$V_r = 0,05 \times 1.406.878,494 = 70343,9247 \text{ L} \approx 70,34 \text{ m}^3$$

A grande diferença no volume do reservatório calculado pelos dois métodos pode ser explicada por conta do método de Azevedo Neto levar em consideração o número de meses com precipitação desprezível. Isto é, ao multiplicar a precipitação anual pelo referido número de meses, considera-se que quanto maior o período de seca local, maior deve ser o reservatório.

Vários métodos de dimensionamento de reservatório para águas pluviais levam em conta a demanda como uma das variáveis da estimativa. No caso da STI, se faz necessário mensurar o consumo de água no prédio para propor o melhor método de dimensionamento. Essa medição pode ser feita através da instalação e monitoramento de um hidrômetro ou por balanço hídrico do reservatório do bloco.

5 CONCLUSÃO

Para o projeto do sistema de aproveitamento de águas pluviais para o prédio da STI, foi calculado uma vazão máxima para os condutores responsáveis por drenar as águas da superfície 1 (maior fração da área total) igual a 2007,133 L/min. Sendo dimensionado para conduzir as águas da área uma calha com diâmetro igual a 300mm e um condutor vertical com diâmetro 150 mm.

Em relação a superfície 2, a vazão máxima de projeto estimada foi de 798,552 L/min, sendo dimensionada para drenar essa água uma calha com diâmetro de 200mm e um condutor vertical com 75 mm.

Para cada superfície que compõe o telhado foi dimensionado um sistema de descarte das primeiras águas, sendo o volume de desvio inicial da superfície 1 e superfície 2 igual a 1.401,2 L e 557,49 L , respectivamente.

Seguindo a metodologia abordada, foi estimado para a cobertura da STI um volume potencial anual de coleta de água pluvial igual a 1406,8785 m³. Sendo previsto para esse recurso um uso para fins não nobres, como rega de jardins, descargas em bacias sanitárias, lavagem de pisos, reservas de incêndio, etc.

Foi apresentado dois dimensionamentos para o reservatório da água efetivamente coletada. Um seguindo a metodologia de Azevedo Neto que resultou num volume de 354,5 m³, e outro seguindo o Método Prático Inglês que gerou um volume de 70,34 m³. As metodologias diferem em virtude das considerações inerentes a cada método. Na metodologia de Azevedo Neto há a influência dos meses com precipitação desprezível e o tempo de detenção da água no reservatório é de 15 dias. Já para o Método Prático Inglês é considerado que o tempo de detenção hidráulica seja de 18 dias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação**. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>>. Acesso em: 18 out. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HIDROWEB v3.0.5**. 2019. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 07 out. 2019.

Agência Nacional de Águas. **Quantidade de água**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 18 out. 2019.

ALVES, F.; KOCHLING, T.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **Journal of Water and Health**, v. 12, n. 3, p. 513- 525, 2014.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. APROVEITAMENTO IMEDIATO DA ÁGUA DE CHUVA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.73-73, 27 mar. 2013. Revista GESTA. <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i1.7106>.

ARAÚJO, Lincoln Eloi de et al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.162-169, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862008000200005>.

ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Acesso à Água para Populações no Semiárido Brasileiro: Cisternas e Outras Tecnologias de Acesso à Água Adaptadas ao Semiárido Brasileiro**. 2019. P. 9-11. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acervo/publicacoes?artigo_id=10981>. Acesso em: 21 out. 2019.

ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Ações - P1MC**. 2019. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>>. Acesso em: 21 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: Abnt, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis. Rio de Janeiro: Abnt, 2019.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. . **Situação da Água no Mundo**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo/agua-no-mundo>>. Acesso em: 12 out. 2019.

CEARÁ. Secretaria do Planejamento. Autarquia da Região Metropolitana de Fortaleza. **Plano Diretor de Drenagem na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza, 1978. 269 p.

CECÍLIO, Roberto et al. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [s.l.], v. 4, n. 3, p.82-92, 31 dez. 2009. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.104>.

FIGUEIRAS, M. L. **Avaliação da influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade bacteriológica da água captada em telhado**. 2013. 71p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru. 2013.

GOMES, Uende et al. A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.7-7, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p7-16>.

GOOGLE. **Google Earth**. 2019. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho do dispositivo de desvio das primeiras águas da chuva utilizada em cisternas no semiárido pernambucano**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2012.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Manual de Instalações: Hidráulicas e Sanitárias**. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., p.141 1990.

MATOS NETO, C. E. A.; FRAGA, N. S. Equação de Chuvas Intensas para a Cidade de Fortaleza. In: **V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983**, Blumenau-SC. Anais V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983.

Otto Pfafstetter. **Chuvas Intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982.

PORTO, M. F. A. **Aspectos Qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. Porto Alegre. UFGRS, ABRH, 1998.

RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M.; OLIVEIRA, T.S.; LOBATO, A.O.; Equações de Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas para as Localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agrária**. Curitiba. v.9, n.4, p.511-519. 2008.

SILVA, Francisco Osny Enéas da; PALÁCIO, Francisco Flávio Rocha; CAMPOS, José Nilson Bezerra. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista Dae**, [s.l.], v. 61, n. 192, p.48-59, 2013. Editora Cubo Multimedia. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.106>.

SILVA, Selma Thaís Bruno da et al. Comportamento de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva como barreiras sanitárias para proteção de cisternas. **Águas Subterrâneas**, [s.l.], v. 31, n. 2, p.2-5, 14 fev. 2017. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i2.28658>.

TESTON, Andréa. **IMPACTO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA NA DRENAGEM: ESTUDO DE CASO DE UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL EM CURITIBA/PR**. 2015. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2233/1/CT_PPGECC_M_Teston%2c%20Andrea_2015.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019.

TRIOLA, Mario F.. **Introdução a Estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1999. p. 147-152.

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. (p.126-130).

UNEP — United Nations Environment Programme. Rainwater harvesting: a lifeline for human wellbeing. A report prepared for UNEP by Stockholm Environment Institute. 69 p., 2009.

Anexo A

NBR 10844/1989

11

ANEXO - Tabela 5

Tabela 5 - Chuvas intensas no Brasil (Duração - 5min)

Local	Intensidade pluviométrica (mm/h)		
	período de retorno (anos)		
	1	5	25
1 - Alegrete/RS	174	238	313(17)
2 - Alto Itatiaia/RJ	124	164	240
3 - Alto Tapajós/PA	168	229	267(21)
4 - Alto Teresópolis/RJ	114	137(3)	-
5 - Aracaju/SE	116	122	126
6 - Avaré/SP	115	144	170
7 - Bagé/RS	126	204	234(10)
8 - Barbacena/MG	156	222	265(12)
9 - Barra do Corda/MA	120	128	152(20)
10 - Bauru/SP	110	120	148(9)
11 - Belém/PA	138	157	185(20)
12 - Belo Horizonte/MG	132	227	230(12)
13 - Blumenau/SC	120	125	152(15)
14 - Bonsucesso/MG	143	196	-
15 - Cabo Frio/RJ	113	146	218
16 - Campos/RJ	132	206	240
17 - Campos do Jordão/SP	122	144	164(9)
18 - Catalão/GO	132	174	198(22)
19 - Caxambu/MG	106	137(3)	-
20 - Caxias do Sul/RS	120	127	218
21 - Corumbá/MT	120	131	161(9)
22 - Cruz Alta/RS	204	246	347(14)
23 - Cuiabá/MT	144	190	230(12)
24 - Curitiba/PR	132	204	228
25 - Encruzilhada/RS	106	126	158(17)
26 - Fernando de Noronha/FN	110	120	140(6)
27 - Florianópolis/SC	114	120	144
28 - Formosa/GO	136	176	217(20)
29 - Fortaleza/CE	120	156	180(21)
30 - Goiânia/GO	120	178	192(17)
31 - Guaramiranga/CE	114	126	152(19)
32 - Irai/RS	120	198	228(16)
33 - Jacarezinho/PR	115	122	146(11)
34 - João Pessoa/PB Pessoa/PB	115	140	163(23)
35 - Juaretê/AM	192	240	288(10)
36 - km 47 - Rodovia Presidente Dutra/RJ	122	164	174(14)
37 - Lins/SP	96	122	137(13)
38 - Maceió/AL	102	122	174
39 - Manaus/AM	138	180	198
40 - Natal/RN	113	120	143(19)
41 - Nazaré/PE	118	134	155(19)
42 - Niterói/RJ	130	183	250
43 - Nova Friburgo/RJ	120	124	156
44 - Olinda/PE	115	167	173(20)
45 - Ouro Preto/MG	120	211	-
46 - Paracatu/MG	122	233	-
47 - Paranaguá/PR	127	186	191(23)
48 - Paratins/AM	130	200	205(13)
49 - Passa Quatro/MG	118	180	192(10)
50 - Passo Fundo/RS	110	125	180
51 - Petrópolis/RJ	120	126	156
52 - Pinheiral/RJ	142	214	244
53 - Piracicaba/SP	119	122	151(10)
54 - Ponta Grossa/PR	120	126	148

/continua

Os valores entre parênteses indicam os períodos de retorno a que se referem as intensidades pluviométricas, em vez de 5 ou 25 anos, em virtude de os períodos de observação dos postos não terem sido suficientes.