

**UNIEVANGÉLICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**NUBIA LORRAINE FREIRE DO CARMO**

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CENTRO  
UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS E SEUS EFEITOS NA  
DRENAGEM URBANA**

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**NUBIA LORRAINE FREIRE DO CARMO**

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CENTRO  
UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS E SEUS EFEITOS NA  
DRENAGEM URBANA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: MSC FABRÍCIO NASCIMENTO SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

CARMO, NUBIA L. F.

Aproveitamento de águas pluviais em centro universitário de Anápolis e seus efeitos na drenagem urbana.

68 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Aproveitamento

2. Sustentabilidade

3. Águas de Chuva

4. Drenagem Urbana

I. ENC/UNI

II. Bacharel (10<sup>a</sup>)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARMO, Nubia L. F. Aproveitamento de águas pluviais em centro universitário de Anápolis e seus efeitos na drenagem urbana. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 68 p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Nubia Lorraine Freire do Carmo.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:  
Aproveitamento de águas pluviais em centro universitário de Anápolis e seus efeitos na drenagem urbana.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Nubia Lorraine Freire do Carmo.

Nubia Lorraine Freire do Carmo

E-mail: nubia.f93@hotmail.com

**NUBIA LORRAINE FREIRE DO CARMO**

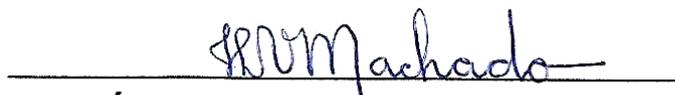
**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CENTRO  
UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS E SEUS EFEITOS NA  
DRENAGEM URBANA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**



**FABRÍCIO NASCIMENTO SILVA, Mestre (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)**



**HAYDÉE LISBOA VIEIRA MACHADO, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



**RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, Especialista (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 29 de NOVEMBRO de 2018.**

## **AGRADECIMENTOS**

*“Cantarei ao Senhor toda a minha vida;  
louvarei ao meu Deus enquanto eu viver.  
Seja-lhe agradável a minha meditação,  
pois no Senhor tenho alegria.”*

***Salmos 104:33-34***

## RESUMO

As alternativas que remetem ao uso mais consciente dos recursos naturais estão cada vez mais presentes no mundo contemporâneo, onde o ser humano reconhece a cada dia a limitação dos recursos disponíveis. A técnica de aproveitar melhor a água presente na natureza, apesar de não ser tão recente, remete aos conceitos atuais de sustentabilidade, embora seja importante entender e quantificar cada um dos benefícios gerados. Neste trabalho são avaliados e analisados os efeitos do aproveitamento da água da chuva na drenagem urbana da avenida Brasil Norte em Anápolis, Goiás, no que diz respeito à diminuição do volume de água deslocado no escoamento superficial da área. Além disso, propõe-se avaliar a utilização de um sistema de aproveitamento de água da chuva, para fins não potáveis, direcionado ao esgotamento de bacias sanitárias, no Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. Através de dados pluviométricos da região e da quantidade de usuários do sistema em uma edificação do centro universitário, foram quantificados o volume de chuva aproveitável, bem como a demanda existente no local, observando que o volume de chuva disponível para captação em cobertura é suficiente para atender a demanda durante os três meses de maior seca na região. Como a instituição conta, atualmente com sistema de poço artesiano, que durante o período de estiagem tem seu nível freático consideravelmente diminuído, o aproveitamento de águas pluviais diminui anualmente em 30% o consumo de água potável direcionado para este fim. Quanto ao escoamento superficial, que devido à grande declividade do terreno em estudo, favorece o deslocamento de grandes volumes de chuva precipitado para a Avenida Brasil, a utilização do sistema de aproveitamento gera uma redução mensal de cerca de 28% do volume de chuva escoado para as galerias pluviais do sistema de drenagem presente.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Aproveitamento. Águas de chuva. Sustentabilidade. Drenagem urbana.

## **ABSTRACT**

The alternatives that refer to the more conscious use of natural resources are increasingly present in the contemporary world, where the human being recognizes each day the limitation of available resources. The technique of taking better advantage of water present in nature, although not so recent, refers to the current concepts of sustainability, although it is important to understand and quantify each of the benefits generated. In this work, the effects of the use of rainwater in the urban drainage of the Brasil Norte avenue in Anápolis, Goiás, are evaluated and analyzed in relation to the decrease of the volume of water displaced in the surface runoff of the area. In addition, it is proposed to evaluate the use of a system of rainwater harvesting, for non-potable purposes, directed to the exhaustion of sanitary basins, at the Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. Through the rainfall data of the region and the number of users of the system in a university campus building, the amount of rainfall was measured as well as the demand on the site, noting that the amount of rainfall available for rainfall collection is sufficient to meet the demand during the three months of drought in the region. As the institution counts, currently with artesian well system, that during the dry season has its water table considerably diminished, the use of rainwater annually reduces the consumption of drinking water directed to this end by 30%. As for surface runoff, due to the large slope of the terrain under study, it favors the displacement of large volumes of precipitated rain to Avenida Brasil, the use of the utilization system generates a monthly reduction of about 28% of the volume of rainfall drained to the storm drains of the present drainage system.

### **KEYWORDS:**

Use. Rainwater. Sustainability. Urban drainage.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Contraste em regiões do Brasil, seca e inundações.....  | 12 |
| Figura 2 – Alagamentos em Trecho da Avenida Brasil, na cidade de Anápolis .....                                | 13 |
| Figura 3 – Distribuição de recursos hídricos potáveis nas regiões do Brasil .....                              | 16 |
| Figura 4 – Ciclo hidrológico representado em três dimensões.....   | 20 |
| Figura 5 – Gráfico da evolução dos desastres naturais, segundo ISDR.....                                       | 21 |
| Figura 6 – Distribuição espacial da precipitação média mensal no País – médias do período de 1961 a 2007 ..... | 23 |
| Figura 7 – Ilustração de Kobiyama, demonstrando a importância da educação ambiental para crianças.....         | 27 |
| Figura 8 – Ilustração de modelo de sistema de aproveitamento de água pluvial .....                             | 33 |
| Figura 9 – Diagramas de aproveitamento máximo e aquém do máximo para cálculo de volume do reservatório .....   | 38 |
| Figura 10 – Ilustração esquemática dos conceitos de canalização e reservação .....                             | 47 |
| Figura 11 – Mapa do Local de estudo, Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA .....                    | 50 |
| Figura 12 – Mapa do local de estudo, bloco HI, UniEVANGÉLICA.....  | 52 |
| Figura 13 – Dimensões genéricas do reservatório .....  | 55 |
| Figura 14 – Modelo exemplificativo do sistema .....  | 56 |
| Figura 15– Delimitação da área de estudo, bloco HI, UniEVANGÉLICA .....  | 57 |
| Figura 16 – Declividade do terreno no local de estudo.....   | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Parâmetros de qualidade da água de chuva para usos restritivos não potáveis ..... | 25 |
| Tabela 2 – Coeficientes de escoamento para telhados em diferentes literaturas.....           | 34 |
| Tabela 3 – Estimativa de consumo <i>per capita</i> de água em instituição de ensino.....     | 40 |
| Tabela 4 – Volume de precipitação em intervalo de um ano, em Anápolis.....                   | 51 |
| Tabela 5 – Composição da Área de Estudo.....   | 58 |
| Tabela 6 – Volume de precipitação em cinco anos, para Goiânia.....                           | 59 |
| Tabela 7 – Volume de chuva escoado no local de estudo .....                                  | 61 |

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

|         |   |
|---------|---|
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas              |
| ANA     | Agência Nacional de Águas                             |
| CONAMA  | Conselho Nacional do Meio Ambiente                    |
| FUNASA  | Fundação Nacional de Saúde                            |
| INMET   | Instituto Nacional de Meteorologia                    |
| LAPAGEO | Laboratório de Pesquisas Avançadas e Geoprocessamento |
| LID     | Urbanização de Baixo Impacto                          |
| NBR     | Norma Brasileira                                      |
| ONU     | Organização das Nações Unidas                         |
| PDDRU   | Plano Diretor de Drenagem Urbana                      |
| PVC     | Policloreto de Vinila                                 |
| SUDS    | Sistema de Drenagem Urbana Sustentável                |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>11</b> |
| 1.1 CONTEXTO HISTÓRICO .....   | 11        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA .....  | 12        |
| 1.3 OBJETIVOS.....   | 13        |
| <b>1.3.1 Objetivo geral.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.3.2 Objetivos específicos .....</b>   | <b>13</b> |
| 1.4 METODOLOGIA.....   | 14        |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....  | 14        |
| <b>2 HIDROLOGIA E ÁGUAS DE CHUVA.....</b>  | <b>16</b> |
| 2.1 DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS.....   | 16        |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DA ÁGUA .....  | 17        |
| 2.3 CICLO HIDROLÓGICO .....  | 19        |
| <b>2.3.1 Hidrologia urbana e enchentes .....</b>   | <b>21</b> |
| 2.4 PRECIPITAÇÃO E HIDROGRAMAS .....   | 22        |
| 2.5 QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA .....   | 23        |
| 2.6 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA: BENEFÍCIOS .....  | 26        |
| <b>3 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA .....</b>                                 | <b>29</b> |
| 3.1 CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS E HIDRODINÂMICAS .....                                   | 29        |
| 3.2 LEGISLAÇÕES SOBRE O USO DA ÁGUA DA CHUVA.....  | 31        |
| <b>3.2.1 Código das Águas.....</b>   | <b>31</b> |
| <b>3.2.2 Lei das Águas, número 9.433/97 e Política Nacional de Recursos Hídricos .....</b> | <b>31</b> |
| <b>3.2.3 Normas NBR 15527/2007 e NBR 13969/1997 .....</b>                                  | <b>32</b> |
| 3.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO.....  | 32        |
| <b>3.3.1 Superfícies de Captação .....</b>   | <b>33</b> |
| <b>3.3.2 Unidades de condução da água pluvial.....</b>                                     | <b>34</b> |
| <b>3.3.3 Reservatórios de armazenamento .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>3.3.4 Tratamento e distribuição.....</b>  | <b>36</b> |
| 3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA<br>PLUVIAL .....                  | 37        |
| <b>3.4.1 Métodos de dimensionamento.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>3.4.2 Estimativa de demanda .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>4 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA.....</b>  | <b>42</b> |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.1      | HISTÓRICO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL.....                             | 42        |
| 4.2      | CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA .....                      | 43        |
| 4.3      | SUPERFÍCIES, INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....                  | 45        |
| 4.4      | MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS DE DRENAGEM URBANA .....                      | 46        |
| 4.5      | IMPACTOS ESPERADOS DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL E<br>LIMITADORES ..... | 48        |
| <b>5</b> | <b>ESTUDO DE CASO.....</b>  | <b>49</b> |
| 5.1      | CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....  | 49        |
| 5.2      | CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....                                  | 49        |
| 5.3      | VOLUME APROVEITÁVEL DE ÁGUA DA CHUVA.....                               | 51        |
| 5.4      | CÁLCULO DE DEMANDA.....   | 53        |
| 5.5      | DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO .....                                   | 54        |
| 5.6      | PARÂMETROS PARA ANÁLISE DA DRENAGEM LOCAL.....                          | 57        |
| 5.7      | AVALIAÇÃO DO VOLUME DE CHUVA ESCOADO NA ÁREA .....                      | 60        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>62</b> |
| 6.1      | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 62        |
| 6.2      | RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS.....                                 | 63        |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>65</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Desde o seu primórdio, a humanidade tem buscado incessantemente como forma de sobrevivência e auto-afirmação, dominar aspectos da natureza, em suas diversas manifestações. Seja para obtenção de alimentos, na elaboração de refúgios e moradia, ou na utilização dos recursos disponíveis, sempre se houve um planejamento mesmo que instintivo na busca de uma maior eficiência em suas ações. Tal planejamento, que antes era feito de forma simplória, vem sendo aperfeiçoado com o tempo e com as novas tecnologias que surgem a cada dia.

Nessa busca pela manipulação dos recursos e melhoria da qualidade de vida, profissionais da engenharia buscam a cada dia desenvolver novas técnicas, métodos e sistemas, principalmente no aprimoramento de procedimentos construtivos. Isso se torna cada vez mais presente uma vez que o crescimento das cidades têm aumentado de forma exponencial, e a maior eficiência dos estudos promove também maior aproveitamento dos recursos disponíveis e com isso maior economia. Além disso, as edificações ocupam hoje um grande espaço onde antes só havia a natureza, onde ela própria se equilibrava e onde os recursos, através de transformações naturais se supriam.

Tal crescimento ocupacional trouxe também um maior consumo de diversos recursos naturais, como é o caso da água. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), nos últimos anos houve um crescimento significativo no consumo de água potável, cerca de duas vezes mais do que a população, e espera-se que a demanda cresça ainda 55% até 2050. Se esse percentual de consumo se manter, em 2030 a sociedade enfrentará uma insuficiência de 40% no abastecimento de água (UNESCO, 2015).

Se por um lado o avanço tecnológico promove um melhor uso dos recursos, por outro a modificação intensa do meio ambiente provoca efeitos indesejáveis e desafiadores. Quando o ambiente em que o ser humano se insere é modificado, consequências são geradas, seja de forma desejada ou não, e cabe ao engenheiro lidar com essas alterações da melhor forma possível, evitando qualquer forma de prejuízo ou danos irreversíveis. Algumas dessas consequências podem ser visualizadas na figura a seguir, que evidencia o contraste presente no cotidiano da sociedade atualmente.

**Figura 1 – Contraste em regiões do Brasil, seca e inundações.**



Fonte: News Paraíba, 2017.



Fonte: Colégio Web, 2014.

Pode-se observar, por exemplo, que apesar de se enfrentar tão grande falta de recursos hídricos no mundo e em específico no Brasil, por outro lado a população sofre com excessos, a cada período de chuva, como inundações, enchentes e problemas similares, intensificados com limitação dos sistemas de drenagem urbana.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O Brasil é um país de contrastes, que podem ser observados também por suas características climáticas e ambientais, e isso faz com que as particularidades nos projetos que envolvam o meio ambiente sejam maiores pois cada região necessita de cuidados especiais em determinadas áreas. Porém existem hoje problemas comuns que podem ser estudados de forma mais aprofundada, sendo que abrangem fatores que atingem a toda a população mundial, como é o caso da escassez de recursos hídricos contrapondo inundações em grandes cidades. A Figura 2 mostra trecho da Avenida Brasil, em Anápolis – Goiás, onde alagamentos constantes devido ao intenso período de chuva, provocam transtornos à toda a população.

**Figura 2 – Alagamentos em Trecho da Avenida Brasil, na cidade de Anápolis**



Fonte: CABÓ, 2010.

Sendo assim o trabalho propõe estudar impactos da implantação de sistemas de aproveitamento da água da chuva para usos não potáveis no Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, demonstrando através de pesquisas bibliográficas e estudos locais, os benefícios e as vantagens da implantação do sistema, tanto na economia de consumo de água potável, quanto na redução do escoamento superficial e volumes de águas pluviais direcionados à Avenida Brasil Norte, que impactam diretamente a drenagem urbana local.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral apresentar os efeitos do aproveitamento de água das chuvas no consumo de água potável em uma instituição de ensino superior, o Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, bem como na drenagem urbana da área, avaliando tanto os recursos disponíveis e necessários quanto a demanda alcançada através utilização de sistemas de aproveitamento de água para fins não potáveis na cidade de Anápolis.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Apresentar conceitos relacionados ao aproveitamento de água e drenagem urbana;
- Estudar a eficiência do sistema de aproveitamento de água da chuva;

- Analisar os impactos da utilização do sistema de águas pluviais na diminuição do consumo de água potável;
- Analisar os impactos da utilização do sistema de aproveitamento de água nos volumes escoados superficialmente para a rede de drenagem urbana local;
- Avaliar as características do local de estudo que influenciam o comportamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

#### 1.4 METODOLOGIA

O presente trabalho será desenvolvido por meio de pesquisa descritiva, bibliográfica, de caráter qualitativo e quantitativo, onde serão apresentados os efeitos do aproveitamento da água da chuva em uma instituição de ensino, e seu impacto na drenagem urbana do local.

A instituição escolhida para o estudo, o Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, se entre duas das principais avenidas do município e localiza-se em uma região de terreno inclinado o que favorece a ocorrência de um grande volume de água em escoamento superficial, mesmo que parte da água das chuvas seja absorvida por áreas permeáveis presentes no campus.

Através de observações de características da área de estudo, percebe-se que a grande declividade do terreno na região favorece o aumento de volume de água no escoamento superficial, conduzindo o volume hídrico gerado a uma região de vias importantes da cidade: Avenida Brasil.

Sendo assim, este estudo pretende propor um maior aproveitamento desses volumes, em atividades que configuram o maior consumo de água da edificação – esgotamento sanitário, buscando gerar uma economia satisfatória e contribuindo na drenagem urbana da região. O objetivo do trabalho é avaliar a possível implantação de sistemas de reuso de águas, apresentando benefícios do uso destes sistemas.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Apresentados no primeiro capítulo a justificativa e os objetivos do trabalho, o capítulo dois apresenta aspectos da hidrologia como o ciclo hidrológico, além das características físico-químicas da água, a importância desse recurso, sua disponibilidade no meio ambiente e seu comportamento natural. No terceiro capítulo são apresentados os principais componentes do

sistema de aproveitamento da água da chuva, mostrando também o comportamento da água em seu estado estático ou dinâmico, e as características para dimensionamento do reservatório. No capítulo seguinte, o quatro, apresentam-se características da drenagem pluvial, além de mostrar os métodos não convencionais e sustentáveis. Além disso, são apresentados os principais impactos de um sistema de drenagem eficiente. O capítulo cinco aborda as características da área estudada, juntamente com os cálculos de consumo e captação de água, avaliando o impacto no consumo de água potável e mostrando o impacto do aproveitamento da água da chuva na redução do escoamento superficial local. Finalizando o trabalho, são apresentadas as considerações finais e as recomendações para posteriores estudos.

## 2 HIDROLOGIA E ÁGUAS DE CHUVA

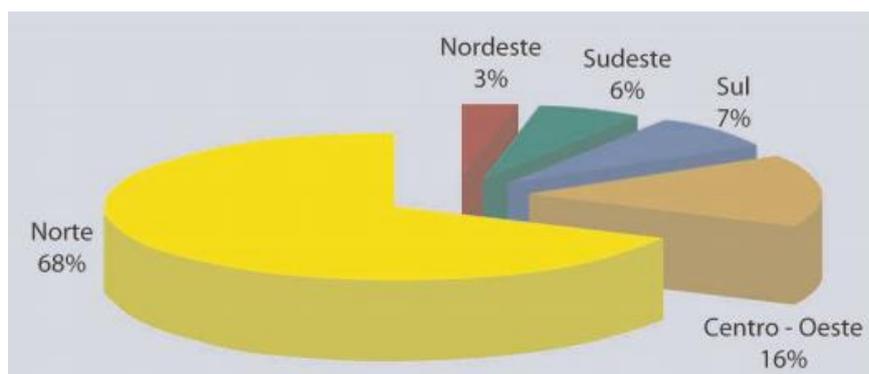
### 2.1 DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

A água é uma substância extremamente importante para a manutenção da vida no planeta, e pode ser encontrada de diversas formas e em diversos lugares da atmosfera terrestre, inclusive nos seres vivos. Ainda que em muitos locais não possua disponibilidade de água potável, cerca de 70 por cento da superfície do planeta terra é coberto pela água, com um volume de aproximadamente 1,4 bilhões de Km<sup>3</sup> (GRASSI, 2001). Além disso, vale ressaltar que esse volume se equilibra a cada dia, conservando essa presença tão predominante.

Existem duas formas de caracterizar a presença dos recursos hídricos no planeta: a primeira é em relação à quantidade de água disponível e a segunda é em relação à sua qualidade. Segundo Benedito Braga (2005), a massa de total de água existente no planeta é de aproximadamente 265.400 trilhões de toneladas, distribuídas em sua maior parte nos oceanos (96,5%), reservatórios subterrâneos (1,7%) e nas calotas polares (1,74). Do total apresentado, apenas 0,5% representa a água doce explorável para o uso do ser humano. Além dessa proporção extrema, a água doce não é distribuída de maneira uniforme em todas as regiões tampouco períodos do ano, o que dificulta o acesso à grande parte da população.

No Brasil se concentram cerca de 12% da água doce do mundo, porém a maior parte desse recurso está disponível em áreas com menor demanda populacional – Figura 3. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), em locais onde o número de habitantes é maior, a quantidade de água disponível é pequena, o que ocasiona uma insuficiência no sistema. Isso já pode ser observado em outras regiões do país, pois mesmo com as dificuldades causadas pela falta de água, o desperdício ainda é um grande vilão.

**Figura 3 – Distribuição de recursos hídricos potáveis nas regiões do Brasil**



Fonte: ANA, 2009.

O ser-humano busca desde o início desenvolver mecanismos para que suas necessidades sejam atendidas da forma mais prática possível. Quando as civilizações deixaram seus hábitos nômades, estabelecendo uma cultura mais sedentária, houve a necessidade de instalações, mesmo que rústicas de reserva de água, para manter seus hábitos cotidianos. Com o desenvolvimento de aglomerados urbanos, caracterizado por um grande número de indivíduos em um local relativamente pequeno, o sistema de abastecimento de água coletivo passou a ser cada vez mais sobrecarregado, e como muitas vezes não é projetado para uma demanda grandiosa, provoca transtornos quanto à deficiência no processo. Isso não só gerou problemas de insuficiência como também foi alvo de críticas quanto ao controle sanitário do sistema. Publicações do século XVII associaram epidemias como febre tifoide e cólera ao controle sanitário do sistema de abastecimento de água e gerenciamento de águas pluviais, o que promoveu melhorias nos sistemas, mas por outro lado, criou barreiras quanto ao reaproveitamento de águas em geral, as chamadas águas de reuso e quanto ao aproveitamento de água das chuvas (DORNELLES, 2012).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DA ÁGUA

Desde o princípio o ser humano reconhece a importância da água para si e para o ambiente em que vive, mas com o tempo, características particulares desse recurso passaram a ser estudadas de forma mais profunda objetivando o maior aproveitamento e exploração da substância. Ao longo da história o homem passou a perceber que atividades do dia a dia como a produção de alimentos dependia extremamente da presença de água no cultivo, e assim passou a manter um contato constante com os recursos hídricos, o que favoreceu o desenvolvimento das cidades ao redor de rios e lagos. Tempos mais tarde, através de estudos mecânicos, passaram a utilizar a água na movimentação de máquinas, moinhos e a nível industrial, através da condução do fluido por diversos lugares.

Em 1804 dois pesquisadores, o químico francês Joseph Louis Gay-Lussac e o naturalista alemão Alexander Von Humboldt apresentaram a composição química da água, consistindo em dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio –  $H_2O$ . Essa é a substância de maior abundância na superfície terrestre, e pode ser encontrada na forma natural em três estados físicos: forma líquida, sólida – gelo, e forma gasosa – vapor (FUNASA, 2014).

Outra característica de grande relevância quanto à utilização da água no mundo é a de solvente universal, tanto na limpeza como transporte de resíduos gerados pelo homem,

justamente por suas propriedades moleculares. Isso permite que ao redor dos cursos de água, as cidades fossem se estabelecendo e crescendo, possibilitando a realização das mais diversas atividades domésticas, necessárias ao homem desde sempre.

A predominância dessa substância no planeta terra se deve à suas peculiares características, a começar pelo seu elevado calor específico. Essa característica permite que o equilíbrio térmico e biológico seja mantido, caracterizando também, em nível geral como regulador do ambiente. Aliado ao seu alto calor específico (1 g Cal/g), a água apresenta ainda um elevado calor latente de fusão (80 g Cal/g) e alto calor latente de vaporização (536 g Cal/g), o que condiciona seres de cada região aos seus ambientes (BRAGA, 2005).

Por outro lado, com relação ao peso específico da água, também chamado de densidade absoluta, indicam a relação entre a massa e o volume de uma determinada substância, e no caso da água, a densidade máxima ocorre à temperatura de 4°C, maior que a temperatura de congelamento. Assim fenômenos de estratificação de camadas com diferentes temperaturas de água podem ser observadas em reservatórios e lagos. Essa característica também influencia na sua viscosidade, que é a sua resistência ao escoamento, parâmetro de extrema importância no estudo de deslocamentos hídricos.

Como predominantemente se utiliza a água em seu estado líquido, é necessário também apresentar suas propriedades ligadas a este estado físico, começando pela tensão superficial. Essa característica é básica de todos os líquidos, mas se distinguem em cada um, estando relacionada ao tipo de ligação química existente. Na água, a tensão superficial resulta em propriedades de aderência do líquido à um corpo e a sua resistência à uma mínima tração, adesão e coesão (GRIBBIN, 2013).

Resultando também da tensão superficial, têm-se a capilaridade, descrita como a tendência dos líquidos em fluir por tubos capilares ou corpos porosos. Através dessa propriedade, por exemplo, que as plantas retiram água do solo para o seu metabolismo por meio das raízes, sistema que faz parte do ciclo hidrológico. Além disso a capilaridade deve ser observada na utilização de determinados materiais para a construção de reservatórios de água, evitando o deslocamento indesejável de umidade. É também devido à essa propriedade que se observa a instabilidade dos níveis de lençol freático no solo, influenciado tanto pela área quanto principalmente pela época do ano e períodos de estiagem. Em períodos de seca, o nível do lençol freático abaixa consideravelmente, ao contrário do que ocorre em períodos de chuva.

Antes do estudo sobre a movimentação dos volumes de água na natureza, é importante observar também a resistência dos fluidos em relação à tensão de cisalhamento gerada pelo

contato entre suas moléculas. Com o movimento do deslocamento, uma camada do fluido influencia outra, e essa capacidade varia de líquido para líquido segundo a sua densidade. A viscosidade de um líquido, dividida pela sua densidade é chamada de densidade cinemática, e é de extrema importância em estudos hidráulicos, pois mostram a aceleração característica do líquido (GRIBBIN, 2013).

Apresentadas as características específicas da água, será descrito a seguir o funcionamento em âmbito geral desse recurso: o ciclo hidrológico. Assim como o indivíduo de adapta ao ambiente de acordo com as características hidrológicas do lugar, as estruturas e obras urbanas devem ser adaptadas ao meio natural, garantindo que o sistema funcione de forma mais equilibrada e satisfatória.

### 2.3 CICLO HIDROLÓGICO

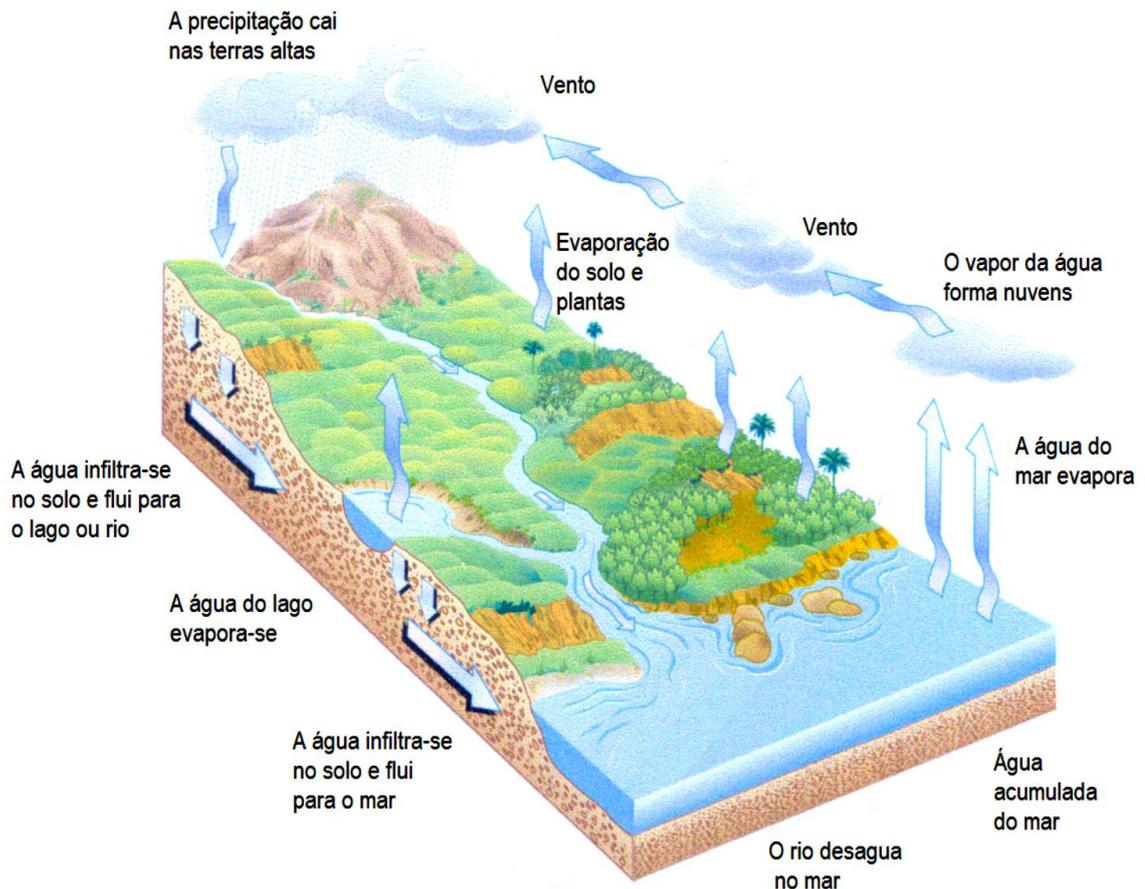
Seres vivos que habitam em ambientes muito secos, ou em épocas em que a disponibilidade hídrica diminui tendem a desenvolver mecanismos de armazenamento de água ou que pelo menos evitem sua desidratação intensa. Isso também pode ser estudado e adaptado às construções tecnológicas criadas pelo homem, visando maior eficiência no uso deste recurso. Porém, para reproduzir esse funcionamento natural em obras construtivas é necessário antes conhecer o ciclo natural das águas, suas características e formas de equilíbrio.

Ao longo do ano, grandes volumes de água circulam na atmosfera, passando por diversos estados físicos e diferentes lugares, transferidos de reservatórios naturais. Dentre esses reservatórios estão os rios, lagos, oceanos, aquíferos e a umidade atmosférica, que passam por transformações básicas de evaporação e transpiração. Além disso, pode-se afirmar que o ciclo da água só é estabelecido desta forma devido à diferença entre o volume de água que evapora e precipita nos oceanos e continentes. Pode-se então afirmar que boa parte das águas de chuva nos continentes são oriundas da água evaporada dos oceanos e carregada à medida que ventos provenientes de regiões mais frias vão em direção ao Equador (BRAGA, 2005).

A água evaporada dos continentes chega à atmosfera através da evapotranspiração onde parte da água existente no solo é utilizada pelas plantas e descartada pelas folhas em forma de vapor, ou através da evaporação direta de rios, lagos e outras superfícies. Isso ocorre devido ao elevado nível de agitação das moléculas, gerado pela energia solar e eólica, onde o vapor de água é aquecido e tende a subir, expandindo e diminuindo a temperatura. Quando a umidade relativa do ar chega ao seu grau máximo de saturação, acontece a condensação da água, fazendo

com que as pequenas partículas aumentem de tamanho e não sejam mais suportadas pelas forças de sustentação (BRAGA, 2005).

**Figura 4 – Ciclo hidrológico representado em três dimensões**



Fonte: MAY, 2004.

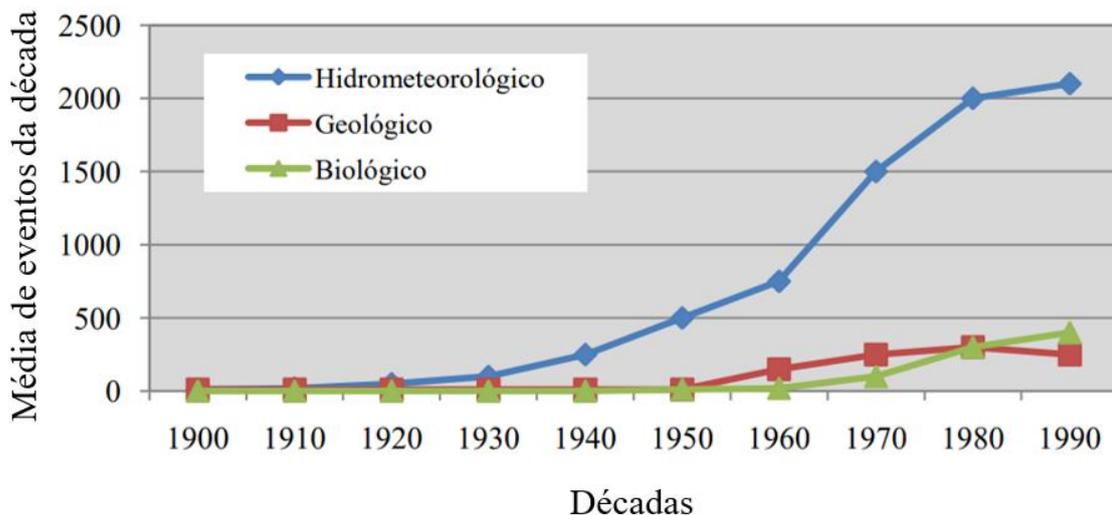
Parte desse volume que cai na forma de chuva, neve ou granizo é absorvida pelas plantas e outras superfícies, parte infiltra no solo e outra parcela esco superficialmente até níveis mais baixos de concentração e acumulação, como mostrado na Figura 4. A partir desse acúmulo, seja em rios, reservatórios ou oceanos por exemplo, a água está pronta para iniciar seu ciclo novamente. É importante observar que a porção de água infiltrada no solo é retida por capilaridade até a saturação das partículas subterrâneas, percolando de forma gradativa e permitindo o escoamento subterrâneo para formação de nascentes.

### 2.3.1 Hidrologia urbana e enchentes

Com a visibilidade dos recursos hídricos cada vez maior, sendo um recurso limitado e sob a perspectiva da sustentabilidade, fez-se necessário estudos profundos acerca dos regimes hidrológicos não só em âmbito geral, mas também dentro das cidades. Sendo assim, o ciclo hidrológico urbano apresenta alterações em diversas taxas, devido a fatores de urbanização. Essas alterações no ciclo da água podem ser facilmente percebidas, uma vez que a impermeabilização e pavimentação do solo, aliada à redução de áreas verdes reduz o volume dos reservatórios subterrâneos naturais, os aquíferos, e acelera a evaporação da água. Isso aumenta a quantidade de água que escoando pelas cidades, gerando inúmeros transtornos.

Segundo a *International Strategy for Disaster Reduction* das Nações Unidas, citado por Lou (2010), a evolução dos desastres naturais em eventos hidrometeorológicos registrou um aumento grandioso, comparado a outros tipos de catástrofes, como epidemias e terremotos – Figura 5. Segundo Lou, as ocorrências que apresentaram mais aumento foram as relacionadas a inundações: “No período de 1991-2005, as inundações representaram 30,7% dos eventos hidrometeorológicos, e 15% de todas as mortes relacionadas com desastres naturais. Cerca de 66 milhões de pessoas sofreram com inundações de 1973 a 1997.” (LOU, 2010)

Figura 5 – Gráfico da evolução dos desastres naturais, segundo ISDR



Fonte: LOU, 2010.

Além do grande número de vítimas dos desastres causados pelas inundações ou pelas secas, grandes são os prejuízos financeiros causados por tais fenômenos. Os impactos são ainda

maiores em países subdesenvolvidos, uma vez que grande parte da população constrói suas moradias em locais de risco, e nem sempre as grandes empreiteiras se preocupam em conservar as características naturais dos cursos de água.

## 2.4 PRECIPITAÇÃO E HIDROGRAMAS

Para se estudar as características das precipitações, algumas definições devem ser observadas, pois influenciam diretamente os sistemas de aproveitamento da água da chuva (HAGEMANN, 2009). A altura pluviométrica, que é a distância entre a água que precipita do solo por unidade de área; a duração da precipitação, a intensidade da mesma, e o tempo de retorno, que é o número médio de anos que se espera para que uma precipitação seja igualada ou superada, são alguns dos parâmetros importantes no estudo do comportamento hidrológico.

Como já dito anteriormente, parte da água que cai na superfície da terra escoar de forma superficial ou subterrânea até o curso d'água mais próximo. Esse escoamento superficial é alvo de grande preocupação nos projetos de estruturas hidráulicas, pois contribui com o maior volume de água que a estrutura deve conduzir. Partindo deste princípio, para calcular a vazão de um curso de água, é necessário conhecer e dimensionar a área que capta a água da chuva, também chamada de área de captação, condicionando o tempo de escoamento desse volume (GRIBBIN, 2013).

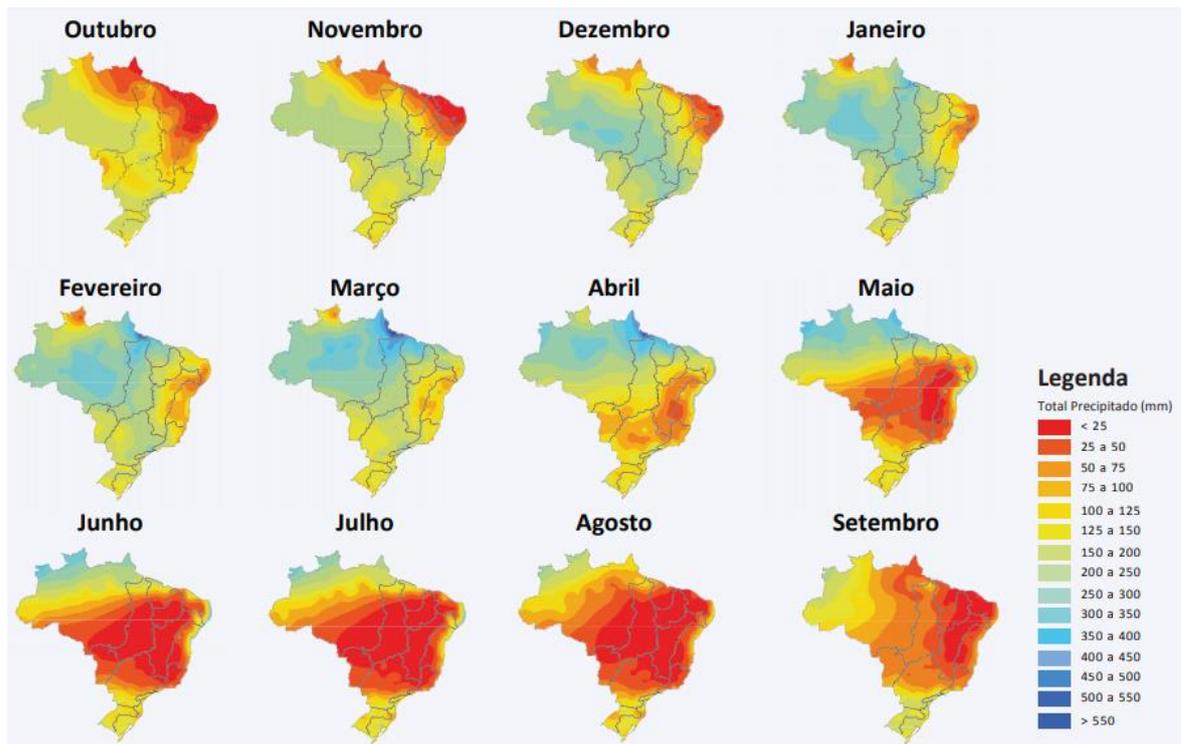
Há tempos atrás a chuva caía de maneira praticamente imprevisível, o que dificultava a quantificação a nível de projeto. Com base em estudos que foram sendo realizados e métodos aperfeiçoados, hoje temos um banco de dados que nos permite prever a possibilidade de ocorrência de uma determinada precipitação. Isso possibilita maior precisão nos estudos que utilizam das águas de origem pluvial para sua realização, como é o caso das reservas de aproveitamento. Desta forma, equipamentos de coleta de dados de precipitação são utilizados, gerando relatórios históricos sobre as maiores precipitações diárias, seu tempo de duração e a frequência registrada.

Para projetos de engenharia devem-se adotar critérios de escolha da precipitação segundo a obra a ser executada. Logo, a identificação da melhor série de eventos de precipitação, bem como a locação da região de estudo, são importantíssimas para o embasamento dos dados para cálculo (ARGOLO, 2015).

Partindo de resultados práticos e reais, os estudos realizados permitiram a criação de equações para representar o comportamento climático em determinada região. Ainda que a intensidade das chuvas oscile, durante cada ocorrência, uma média de longo prazo define um

padrão específico. No Brasil, segundo a Conjuntura do Recursos Hídricos, a precipitação média anual entre os anos de 1961 e 2007 é de 1.761 mm, variando de valores entre 50 mm a 3.000 mm, dependendo da região do país estudada. Além das condições geográficas, é importante considerar a sazonalidade das chuvas no país (Figura 6), parâmetros que direcionam a pesquisa da utilização das águas provenientes da precipitação (ANA, 2013).

**Figura 6 – Distribuição espacial da precipitação média mensal no País – médias do período de 1961 a 2007**



Fonte: ANA, 2013.

Para fins de projeção de sistemas de aproveitamento da água da chuva, são utilizados dados reais de precipitação, uma vez que o dimensionamento do sistema depende diretamente do volume de água utilizado e o volume de água disponível em determinada época e região. Como mostra a Figura 6, o estado de Goiás conta com menos de 25 mm de água precipitada durante os meses de maio a setembro, e durante esse período a utilização de água reservada se restringe ao volume coletado em meses anteriores à estiagem.

## 2.5 QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA

Apesar de ser uma técnica que vem sendo aperfeiçoada ano após ano, devido ao problema de escassez, o aproveitamento da água da chuva não é um método desenvolvido

recentemente. Além de ser uma estratégia realizada desde tempos antigos por civilizações de todo o mundo, no Brasil podem ser encontradas obras arcaicas para captação da água da chuva. Ghanayem (2001), citado por Simone May (2004), afirma que a mais antiga cisterna pluvial presente no Brasil foi construída em 1943, na ilha de Fernando de Noronha.

Sabe-se, portanto, que apesar de uma iniciativa benéfica para a população, é necessário qualificar a água da chuva segundo as características de potabilidade uma vez que dependendo do fim desejado, a água deve atender à alguns parâmetros específicos. Um exemplo disso é a utilização deste recurso para fins potáveis e não potáveis, onde este último, por não depender da pureza completa da água pode ser utilizado em atividades de limpeza, jardinagem e descargas sanitárias. Além disso a origem da água também influencia na sua utilização, já que esta carrega substâncias e componentes dos locais por onde passou.

A modificação das características naturais da água se dá inicialmente pelas propriedades do ambiente em que ocorre a precipitação, como poluição atmosférica e a presença de gases nocivos no ar. A partir da captação, que normalmente ocorre nos telhados, partículas químicas e biológicas vão sendo incluídas no volume de água, e são identificadas geralmente por propriedades como pH, turbidez e coloração.

O primeiro aspecto a ser analisado nesse trabalho é quanto ao potencial hidrogeniônico da água em geral, o pH. Esse potencial, segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), representa as condições alcalinas ou ácidas de uma substância, através da medição da presença de íons de hidrogênio  $H^+$ , onde em uma escala de 0 a 14, substâncias abaixo do nível 7 são ácidas e acima são básicas ou alcalinas. O pH da água é naturalmente neutro, e a sua variação influencia diretamente na solubilidade da substância, que é sua capacidade de dissolver outros componentes, a toxicidade e a presença de matéria orgânica na mesma. As alterações no pH da água podem ter origem natural ou antropogênica, pelo contato com despejos humanos onde sua caracterização ácida pode aumentar a agressividade e corrosão e em predominância alcalina, a ocorrência de incrustações (FUNASA, 2014).

Uma vez que a água da chuva é de caráter naturalmente ácido, devido entre outros fatores à absorção de substâncias químicas presentes na atmosfera, sua destinação se restringe à utilização externa (jardinagem e limpeza) e sanitária (VASCONCELOS, 2007). Através da verificação do pH é possível avaliar a presença de enxofre, óxidos de nitrogênio, zinco e chumbo, e essa avaliação pode ser realizada de forma simples, no próprio reservatório.

Outro fator avaliado e regulamentado por norma é a turbidez da água da chuva a ser utilizada e esse aspecto representa o grau de alteração à passagem da luz através da água. É

alterado principalmente pela presença de sólidos em suspensão e valores elevados podem inibir a ação de substâncias de tratamento e favorecer a proliferação de micro-organismos. Com a turbidez alterada, a coloração da água também é modificada, caracterizando a presença dos sólidos. Quanto à dureza e alcalinidade da água, parâmetros que correspondem à presença de cátions metálicos e íons neutralizadores de ácidos, respectivamente, é recomendado valores baixos na substância, uma vez que a alta concentração favorece a presença de incrustações das tubulações e degradação das partes do sistema.

A presença de matéria orgânica é outro fator a ser observado e pode influenciar diretamente os outros parâmetros. Caracteriza-se pela presença de organismos vivos na água coletada ou matérias provenientes desses organismos e pode prejudicar o sistema se não tratada de forma correta. Um exemplo é a presença de incrustações nas tubulações e reservatórios causados pela deposição de matéria orgânica ali. Na tabela a seguir são apresentadas algumas especificações quanto às características exigidas pela Norma 15527/2007, que regulamenta além do dimensionamento dos sistemas, as características da água aproveitada.

**Tabela 1 – Parâmetros de qualidade da água de chuva para usos restritivos não potáveis**

| Parâmetro                         | Análise   | Valor   |
|-----------------------------------|-----------|---|
| Coliformes Totais                 | Semestral | Ausência de 100 ml  |
| Coliformes Termotolerantes        | Semestral | Ausência de 100 ml  |
| Cloro Residual Livre <sup>1</sup> | Mensal    | 0,5 a 3,0 mg/L<br>< 2,0 uT <sup>2</sup> , para usos menos |
| Turbidez                          | Mensal    | restritivos.<br>< 5,0 Ut                                  |
| Cor Aparente                      | Mensal    | < 15 uH <sup>3</sup><br>De 6,0 a 8,0 para tubulações      |
| Ajuste de pH                      | Mensal    | de aço carbono ou galvanizado.                            |

Fonte: ABNT, 2007.

A água coletada em telhados, coberturas e outras superfícies pode ser contaminada por diversas substâncias como fezes de animais, folhas, partículas no ar e de elementos presentes

<sup>1</sup> No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

<sup>2</sup> uT é a unidade de turbidez.

<sup>3</sup> uH é a unidade Hazen.

na própria superfície. Após a condução da água e seu armazenamento no reservatório, substâncias ainda presentes depositam no fundo e contribuem para a proliferação de microorganismos, que influenciam de forma negativa no sistema pois se destinada para uso potável requer de um tratamento específico, detalhado e de alto custo, que diminui a viabilidade de implantação (DORNELLES, 2012).

Para que muitos desses problemas sejam minimizados e até eliminados, alguns mecanismos de controle podem ser instalados no sistema como filtros e tampas herméticas no reservatório. Além disso a água da chuva, não apresentando padrões de qualidade suficientes para sua potabilidade, deve ser identificada quanto aos pontos de distribuição, evitando a ingestão e o consumo de forma indesejada (DORNELLES, 2012).

## 2.6 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA: BENEFÍCIOS

Uma vez que permite a utilização de volumes de água que seriam direcionados às redes de águas pluviais, deslocados por um longo caminho e com isso absorvendo contaminantes e outros fatores que inviabilizem sua utilização posterior, o aproveitamento da água da chuva é um mecanismo de grandes benefícios sociais, ambientais e econômicos. Por outro lado, existem fatores diversos que dificultam sua implantação, e que impedem que esses sistemas sejam utilizados pela sociedade.

Apesar de se estimar facilmente a viabilidade econômica da instalação do sistema, é importante observar que cada região, tipo de edificação e local de aproveitamento apresenta suas particularidades, sendo impossível generalizar seu uso, necessitando de projeções baseadas em características específicas. Estudos diversos apontam projetos eficientes de sistemas de aproveitamento de água pluvial no Brasil, porém dependem de características do volume disponível de precipitação, demanda existente, além da área disponível para captação da água. Quando a demanda a ser atendida pelo sistema é maior que o volume captado de água, o tempo de retorno é diminuído, porém o nível de atendimento é deficiente. Por outro lado, quanto maior o volume do reservatório, maior a quantidade de água aproveitada, menor os gastos com água tarifada, porém, maior o gasto na construção do reservatório. Com relação à captação, quanto maior a área, maior a utilização do reservatório, maiores ocorrências de extravasamento, e menor aproveitamento efetivo da água captada (DORNELLES, 2012).

Além disso, as vantagens ambientais da instalação do sistema são demonstradas em muitos trabalhos, que apresentam a escassez como principal justificativa de reuso, embora seja

conhecida a preciosidade desse bem à humanidade, que em muitos lugares se apresentada em abundância. Pode se dizer que a evolução das tecnologias permite maior aproveitamento de qualquer recurso assim como otimização de processos, o que garante melhores resultados também para o futuro. Além disso, ao se reduzir a captação de água de bacias e outros locais, através da captação de água de chuva, conserva os volumes de águas ali, diminuindo a concentração de contaminantes. De acordo com Kobyama (2002) citado por Dornelles (2012), a utilização da água da chuva também promove a conscientização da população quanto ao uso racional desse recurso, uma vez que aproxima o usuário do sistema de fornecimento da água, como mostrado na Figura 7.

**Figura 7 – Ilustração de Kobyama, demonstrando a importância da educação ambiental para crianças**



Fonte: KOBAYAMA, 2002.

Uma vez que os volumes de água precipitada nas zonas urbanas escoam em maior parte de forma superficial e são direcionadas às galerias de água pluvial, sobrecarregando o sistema em dias mais chuvosos, a captação de parte dessa água e sua utilização em atividades onde antes se utilizaria água fornecida pela distribuição convencional, é citada por diversos autores na literatura. May (2004) afirma que a viabilidade do sistema de aproveitamento da água se dá devido a diminuição da utilização de água fornecida por sistemas tarifados, além da diminuição dos riscos de alagamentos nas cidades. Outros autores como Teston (2015) afirmam que apesar de depender de diversas variáveis, o aproveitamento de água de chuva contribui na diminuição do volume dos reservatórios de contenção de cheias.

Apesar de tanta referência que contextualize o benefício dos sistemas de aproveitamento à drenagem urbana pluvial, existem ainda materiais que demonstram a ineficiência do sistema individualizado em residências, devido principalmente ao alto investimento inicial e à pequena diminuição do volume geral de água escoada. Tucci (2007) alerta que apesar do benefício à economia do consumo de água tarifada, o uso da água pluvial pode não ser tão eficiente na drenagem pluvial, se tratando de edificações residenciais. Tais afirmações não desfavorecem o uso do sistema, mas enfatiza a necessidade de bons estudos específicos para cada região analisada, além de se observar também critérios de demanda e disponibilidade pluviométricas características do local, como proposto neste trabalho.

### 3 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Uma vez que a água das chuvas cai sobre a superfície urbana, ela é geralmente encaminhada para dutos de drenagem e conduzida às galerias de águas pluviais, localizadas por toda a cidade. Porém, se tratando de um recurso gratuito, oferecido pela natureza, nada mais viável do que utilizá-la para diversos fins, principalmente não potáveis. Para isso, é necessário armazená-la em um local apropriado que será mediador entre a captação e a distribuição final. Assim, entre a captação, armazenamento e distribuição a água apresenta alguns comportamentos importantes que serão apresentados a seguir.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS E HIDRODINÂMICAS

O estudo do comportamento da água em repouso é chamado hidrostática e uma das ações mais importantes nessa situação é a força que o volume de água exerce no reservatório, podendo ser entendido como a pressão resultante do peso da água. Essa pressão exercida pela água atua formando um ângulo reto na superfície submersa, como nas paredes do reservatório.

Esse fenômeno, exclusivo dos fluidos, ocorre porque as moléculas de água não resistem à força de cisalhamento. Portanto em qualquer superfície submersa, há apenas força normal, sem força de cisalhamento. Em qualquer sólido, as forças normal e de cisalhamento existem sob qualquer superfície, por causa da natureza das moléculas que compõem o sólido (GRIBBIN, 2013).

Descontada a pressão atmosférica, obtemos a pressão efetiva do líquido. Portanto, em superfícies expostas à atmosfera, também chamada superfície livre, a pressão inicial é a mesma pressão atmosférica, sendo dotada nula em projetos, e a medida que se aumenta a profundidade abaixo da superfície livre, aumenta-se também a pressão. Em superfícies horizontais planas, como o fundo do reservatório por exemplo, a pressão age de forma perpendicular ao plano, distribuindo uniformemente ao longo de toda a área e podendo ser representada em um chamado centro de pressão, onde a força de pressão resultante se concentra (GRIBBIN, 2013).

No caso das paredes laterais do reservatório, sendo a superfície vertical, a pressão distribuída é aumentada de acordo com a profundidade abaixo da superfície livre, podendo ser representada de forma triangular ou trapezoidal. Se a superfície for inclinada, a pressão é perpendicular a distribuição de pressão e pode ser derivada. Se o reservatório estudado se caracterizar em uma superfície curva, valem as regras mostradas, porém estabelecida a partir do raio e ângulo da curvatura.

Conhecido o comportamento dos volumes de água em um recipiente fechado, é importante saber o valor da pressão existente ali e para isso, contamos com alguns equipamentos criados para isso. Com o passar dos anos, a partir de muito estudo, foram sendo desenvolvidos diversos aparelhos para medição da pressão de fluidos. Dentre eles encontramos o piezômetro, tubo conectado a um volume de água e com uma das extremidades livre à pressão atmosférica, que promove a diferença de pressão, medindo a pressão em sistemas hidráulicos, estáticos ou dinâmicos. Além do piezômetro, o manômetro, utilizado para medir pressões relativamente altas, determina a pressão por diferença de altura que o peso da água provoca em um tubo contendo um líquido referência, como o mercúrio, por exemplo.

No caso do estudo da água em movimento, a hidrodinâmica, o deslocamento das partículas pode ocorrer em todas as direções, de forma livre, ou conduzido por um caminho estabelecido como o escoamento em um tubo. Mesmo no escoamento determinado o movimento ocorre de forma variável pois as partículas podem se deslocar à frente umas das outras ou lateralmente, gerando diversas velocidades. Apesar disso, o fluxo geral segue uniformemente no mesmo sentido e velocidade média.

Para caracterizar o deslocamento de água em uma tubulação, temos dois elementos essenciais que são a velocidade média do escoamento, descrita por Gribbin (2013) como a taxa de mudança da localização das partículas de água, utilizando um ponto específico como parâmetro, e a vazão, que é a quantidade de água que atravessa uma posição específica do tubo em um período de tempo. Além disso, esses parâmetros podem ser muito bem conhecidos em um sistema, uma vez que nenhuma partícula de água é criada nem destruída em intervalos, ou seja, de acordo com a lei de conservação de massa, a quantidade de massa que passa por determinada seção é a mesma que atravessa outra seção seguinte.

Baseado na velocidade de escoamento, no diâmetro do tubo utilizado, e na viscosidade característica da água, pode-se caracterizar o escoamento entre laminar, quando ocorre de maneira uniforme e contínua, e em baixa velocidade, ou turbulento, ao atingir uma velocidade maior, que faz com que o fluxo ocorra de forma instável e gerando maior perda de energia. Tais parâmetros permitem uma projeção mais precisa dos sistemas de aproveitamento de água das chuvas, uma vez que se trata de um conjunto complexo de unidades, sejam elas estáticas ou cinéticas, na condução da água para sua utilização.

## 3.2 LEGISLAÇÕES SOBRE O USO DA ÁGUA DA CHUVA

Por muito tempo, a questão do aproveitamento da água da chuva não foi alvo de regimentos e leis específicas, tampouco quanto ao padrão de qualidade dos recursos hídricos disponibilizados, deixando de ser uma preocupação inclusive dos profissionais da construção civil. Com o avanço de regulamentos e preocupações com a sustentabilidade, como uma busca por métodos naturais alternativos e eficientes, foram aprovadas no Brasil leis de caráter nacional e regional acerca do assunto, padronizando e até incentivando a instalação do sistema. Tais leis regulamentam tanto a captação e distribuição da água da chuva quanto a seus padrões de qualidade.

### 3.2.1 Código das Águas

Criado no ano de 1934, o decreto de número 24.643, também chamado de código das águas, define os diversos tipos de água e dentre eles a água de origem pluvial. Estabelece então as permissões de uso desse recurso, possibilitando ao dono do local onde a água chega, usufruir dela a vontade, proibindo-o, entretanto, de usá-la de forma exagerada e desordenada, prejudicando outros usuários, e de desviar essa água do seu curso natural, sem a concordância de usuários afetados pela utilização do sistema (CÓDIGO DAS ÁGUAS, 1934).

Além disso, o código proíbe o uso particular de águas que caiam em locais públicos, bem como a transposição de serviços de captação além dos limites do terreno do proprietário utilizador. A partir deste decreto então, outras normas foram sendo estabelecidas inclusive projetos de leis que vêm sendo desenvolvidos não só a nível ambiental, mas em qualquer área de estudo para a sociedade.

### 3.2.2 Lei das Águas, número 9.433/97 e Política Nacional de Recursos Hídricos

A lei de número 9.433/97, também chamada de Lei das Águas institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e objetiva garantir o uso dos recursos hídricos não só para a sociedade presente como também às futuras gerações, promovendo o uso racional da água e a sua qualidade. Além disso, em 2017, quando a lei completou 20 anos, foi aprovada uma alteração no artigo segundo da lei onde prevê a promoção de iniciativas que estimulem a

utilização de águas pluviais na manutenção de jardins, limpeza de áreas externas, atividades agrícolas e industriais (BRASIL, 2017).

A lei estabelece ainda que a gestão dos recursos hídricos, deve ser feita de forma descentralizada, contando com a participação do poder público, usuários e comunidade, prevendo que em situação de escassez, a água deve ser usada prioritariamente para consumo humano e dessedentação de animais.

### **3.2.3 Normas NBR 15527/2007 e NBR 13969/1997**

Em 2007 surge a primeira diretriz específica quanto aos requisitos para aproveitamento da água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, a NBR 15527/07. Trata-se das condições gerais que os sistemas de aproveitamento de água pluvial devem atender, principalmente relacionados aos seus componentes como calhas, reservatórios e elementos de manutenção. No entanto, também estabelece parâmetros de qualidade da água da chuva a ser utilizada, como demonstrado no capítulo anterior.

Relacionada mais especificamente às águas de reúso, a NBR 13969/ 97 – Tanques Sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – estabelece parâmetros quanto aos padrões da águas para reúso, e classifica o recurso quanto ao seu uso. Dentre as quatro classes apresentadas em norma, as classes 2 e 3 ,respectivamente, estão relacionadas ao uso da água para lavagem de pisos, calçadas, fins paisagísticos, exceto chafarizes, e ao reúso em descargas de sanitários (ABNT, 1997).

Antes do estabelecimento da Norma Brasileira (NBR), outras legislações eram utilizadas para especificar regras sobre o uso da água da chuva de acordo com a sua qualidade, e dentre essas legislações estão: a Portaria MS nº 518/04 do Ministério da Saúde, que estabelece parâmetros biológicos e químicos da água para consumo humano; a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 274/00, que categoriza e caracteriza as águas quanto ao contato primário do ser humano; e a Resolução CONAMA 357/05, que classifica os corpos d'água quanto ao lançamento de efluentes diversos.

## **3.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO**

Existem diversos tipos de sistema de aproveitamento de água da chuva, desde mais simples até sistemas complexos. De modo geral o sistema de aproveitamento de água da chuva

conta com 3 componentes essenciais à sua existência: a captação, condução e compartimentos de reserva. Apesar de estudados de forma separada, são conectados e o resultado satisfatório do sistema necessita do bom funcionamento do todo. Além disso, a NBR 15527/2007 estabelece o cumprimento de uma série de requisitos elaborados na NBR 10844/1989 – Instalações Prediais de Águas Pluviais - Procedimento, e da NBR 5626/1998 – Instalações de Água Fria. Tais componentes podem ser visualizados na Figura 8 a seguir.

**Figura 8 – Ilustração de modelo de sistema de aproveitamento de água pluvial**



Fonte: RENDEIRO, 2013.

### 3.3.1 Superfícies de Captação

Os sistemas de captação de água da chuva compreendem grandes áreas em que incidem a água da chuva precipitada. Podem ser caracterizadas por telhados ou por superfícies impermeáveis presentes em estacionamentos, pátios e galerias. Apesar desses elementos poderem ser utilizados, o mais comum é que a captação seja realizada em áreas de cobertura por uma série de fatores. Além da água recolhida em coberturas ser menos contaminada por agentes externos, ela alcança uma velocidade maior devido à força gravitacional e é direcionada mais rapidamente às unidades de condução.

Por outro lado, ao entrar em contato com o material da superfície de captação, mais precisamente o telhado, essa água é contaminada com partículas do material. Segundo Zerbinatti (2011) *et al*, em pesquisa realizada sobre a qualidade da água da chuva coletada em telhados, foram encontrados resultados comparando os diversos tipos de material. Assim, além concluir que a água com melhor qualidade seja a captada diretamente da chuva, a amostra com a pior qualidade foi a captada em telhado de fibrocimento. Tais elementos podem ser prejudiciais à saúde se ingeridos pelo ser humano, mas para utilização não potável, não apresenta riscos. Uma técnica exigida pela NBR 15527 é a de lavar toda a superfície de captação, conectando o sistema somente após a eliminação dos riscos de contaminação (ABNT, 2007).

É importante lembrar que o volume de água captado não corresponde à totalidade de precipitação, pois parte é absorvida pelas superfícies porosas do telhado. Assim, coberturas metálicas são mais eficientes quanto ao volume de captação, mas também devem ser observadas quanto à presença de vazamentos. Referente ao escoamento da água no telhado, a parcela de água da precipitação efetivamente escoada é chamada de coeficiente de escoamento, e segundo Dornelles (2012), por se tratar de um coeficiente subjetivo, apresenta valores diferentes de acordo com diferentes autores (Tabela 2), e cabe ao projetista adotá-lo segundo as particularidades da estrutura a ser construída.

**Tabela 2 – Coeficientes de escoamento para telhados em diferentes literaturas**

| Autor                  | Valor             |
|------------------------|-------------------|
| Urbonas e Stahre, 1993 | entre 0,85 e 0,95 |
| Hari, 2005             | entre 0,75 e 0,90 |
| Tomaz, 2004            | 0,80              |
| Waterfall, 1998        | entre 0,90 e 0,95 |

Fonte: DORNELLES, 2012.

### **3.3.2 Unidades de condução da água pluvial**

Os componentes de condução são os responsáveis por levar a água captada até os reservatórios de armazenamento, ou caso existam, até a eliminação do primeiro volume de água das chuvas. Essa condução é tradicionalmente realizada por meio de calhas e tubulações, sendo os materiais mais utilizados o Policloreto de Vinila (PVC), plástico ou outro material inerte,

isso porque como a água da chuva é naturalmente ácida, condutos de metal podem apresentar corrosão rapidamente.

O dimensionamento de calhas e condutores deve ser realizado segundo a norma NBR 10844/1989 – Instalações Prediais de Águas Pluviais, especifica detalhadamente a forma de instalação, inclusive parâmetros como período de retorno de precipitações, intensidade pluviométrica, vazão de projeto, entre outros, também relacionados na norma NBR 15527/2007 (HAGEMANN, 2009).

Para garantir que o sistema não seja obstruído por sólidos e outros pequenos detritos deslocados junto ao escoamento de água, é necessária a instalação de elementos de filtragem com diversas características, como demonstrado por Dornelles (2012), observando sempre as características do local de captação:

- a) Manuais ou automáticos: quando os dispositivos necessitam de alguma operação, durante ou após a precipitação;
- b) Filtragem ou descarte: se trata de dispositivos que permitem a filtragem de todo volume de água ou quando parte proporcional deste volume é descartada;
- c) Artesanais ou industriais: dispositivos construídos no próprio local ou pré-fabricados com o objetivo de tratar parcialmente a água da chuva.

Durante épocas de seca, com a inutilização do sistema, são acumulados na superfície de captação detritos como folhas e fezes de animais, que podem obstruir e contaminar o sistema, sendo necessária a limpeza geral do mesmo. Além disso, as primeiras chuvas a cair carregam consigo diversos poluentes da atmosfera e deve ser descartada. Para isso, existem diversos tipos de dispositivos de descarte, cuja principal função é eliminar a água das primeiras chuvas ou de resíduos de limpeza, para que o restante da água coletado não seja contaminado. Ainda que opiniões sobre o volume a ser descartado sejam distintas, devem ser observadas as condições da área de coleta, clima e fatores urbanísticos, porém na ausência de dados a norma exige um descarte de 2 mm da precipitação inicial (ABNT, 2007).

### **3.3.3 Reservatórios de armazenamento**

Os reservatórios de armazenamento são os locais onde a água da chuva, captada é armazenada para ser posteriormente levada aos pontos de distribuição finais, não sendo aconselhável estar localizado muito distante desses locais. Por apresentar muitas vezes um custo elevado, é inviabilizada a sua construção, sendo de extrema importância um estudo prévio

quanto a disposição do sistema na área e o retorno econômico alcançado em um intervalo de tempo. Podem estar posicionados sobre o solo ou enterrado, construído com diversos materiais sendo os mais comuns a alvenaria, concreto, ferro-cimento, metal galvanizado, polipropileno e fibra de vidro (HAGEMANN, 2009).

Além da escolha do material que o reservatório será constituído, é importante observar uma série de fatores que assegurem a qualidade da água ali armazenada. Deve-se evitar a entrada de claridade no reservatório para evitar a proliferação de micro-organismos, além de conservar o mesmo completamente fechado evitando a entrada de pequenos animais. Outra atitude importante é a projeção do fundo do reservatório com declividade em direção à tubulação de drenagem, para que a limpeza, que deve ser realizada periodicamente, seja facilitada (MAY, 2004).

### **3.3.4 Tratamento e distribuição**

O sistema de tratamento da água depende do fim que esta terá no edifício, indo desde tratamentos mais simples até complexos, como osmose reversa e ultravioleta. Se comparado aos sistemas de tratamento de águas de reuso, o aproveitamento de água pluvial exige bem menos cuidado quanto à isso, apresentando porém a desvantagem de um volume resumido ou quase extinto em períodos de seca. Para que a qualidade da água não seja diminuída durante o período de armazenamento, devido à proliferação de organismos vivos, existem métodos diversos que podem ser realizados, como a oxigenação da água, injetando ar no reservatório, formação de filme flutuante, utilização de cloro, podendo utilizar em válvulas que permitam a eliminação a uma taxa constante.

Saindo do reservatório de armazenamento, a água captada é distribuída aos pontos de utilização, e o projeto de distribuição como todo o sistema deve também atender as regulamentações definidas na norma NBR 10844/1989 – Instalações prediais de águas pluviais, e destinada baseado no volume de demanda previamente calculado. Além disso, a norma proíbe o lançamento de águas pluviais em rede de esgoto, uma vez que esta é usada apenas para despejo de águas residuárias (ABNT, 1989).

A norma NBR 15527/07 especifica que as tubulações e componentes de aproveitamento da água pluvial devem ser identificados quanto ao uso não potável com identificação gráfica e placas de advertência, sendo independente do sistema de água potável, proibindo o uso de conexões cruzadas (ABNT, 2007).

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

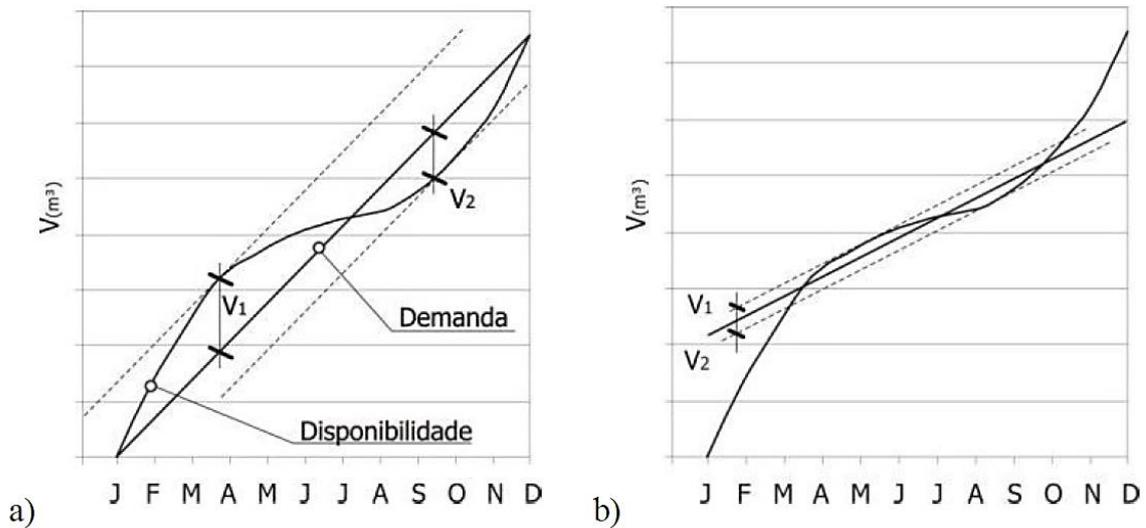
Segundo a norma NBR 15527/07, o dimensionamento dos reservatórios de água da chuva deve atender a norma NBR 12217/1994 – Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público, respeitando as características de demanda. Além disso, são sugeridos métodos para determinação do volume do reservatório, de acordo com séries históricas de precipitação, volumes prováveis de chuva e ocorrências prováveis que interfiram nos cálculos.

#### 3.4.1 Métodos de dimensionamento

Os métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva apesar de diferentes utilizam, na maioria das vezes os mesmos fatores para o cálculo: séries históricas de precipitação, demanda a ser atendida, coeficiente de escoamento superficial, área de captação, e eficiência requerida. Podem ser divididos, segundo Dornelles (2012) em práticos, onde as limitações de realidade são maiores por caracterizar as precipitações de forma sazonal e proporcionar a precipitação e o volume do reservatório de forma mais simplória; estatístico, que por necessitarem de dados mais precisos e caracterizados por precipitações diárias são mais complexos de serem calculados; e os métodos de simulação, que além de dimensionarem o reservatório, fornecem índices de desempenho. São sugeridos na norma NBR 15527/2007 – água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, os seguintes métodos:

- a) método de *rippl*: Também chamado de diagrama de massas, o método de *Rippl* é um método muito utilizado na regularização de vazões em reservatórios, para garantir que o abastecimento seja possível mesmo em períodos de seca. Sendo o primeiro apresentado em norma é simulado matematicamente por diagramas que representam, em um intervalo de um ano hidrológico, o volume de precipitação (disponibilidade), e o volume exigido pela demanda, como mostrado na figura a seguir.

**Figura 9 – Diagramas de aproveitamento máximo e aquém do máximo para cálculo de volume do reservatório**



Fonte: DORNELLES, 2012.

Nos diagramas apresentados, a demanda é disposta de forma constante no tempo, e a diferença entre esta e a curva de disponibilidade, somadas ( $V_1$  e  $V_2$ ), representa o volume do reservatório. Dornelles (2012) explica ainda que “Quando a demanda não é a máxima possível aproveitável (disponibilidade média) a linha de demanda passa a ter uma inclinação menor.” Assim, de acordo com os pontos de tangência entre as curvas, a partir da soma das diferenças entre eles, calcula-se o volume do reservatório – Figura 9 (b). O volume do reservatório pode também ser equacionado diminuindo da demanda diária o volume de chuva precipitado em determinada área, obtendo o volume de reserva necessária. O grande problema da utilização do método de Rippl é que por se basear em um período crítico da série de dados, gera o máximo déficit de água existente historicamente, resultando em volumes muito grandes de reserva, não correspondendo muitas vezes à realidade necessária e tornando a instalação pouco viável;

b) método de simulação: Este método utiliza o balanço de massas para o dimensionamento, uma vez que calcula o volume do reservatório segundo a referência de um reservatório cheio, representado por 0. De acordo com o intervalo de tempo, valores positivos obtidos continuam a mostrar o reservatório cheio e o maior resultado negativo obtido representa o volume do reservatório. Desta forma, o volume do reservatório passa a ser um dado de entrada, e os cálculos realizados ajustam o dimensionamento para sua maior eficiência, modificando o volume de acordo com a necessidade de demanda até encontrar um volume ideal. Em norma, o volume de reserva é calculado somando o

volume de chuva captado em determinada área ao volume do reservatório cheio, diminuindo apenas a demanda utilizada;

c) método azevedo neto: Trata-se de um método prático e comportamental, em que o volume do reservatório é calculado a partir de períodos de estiagem (sem precipitações), obtidos experimentalmente. Dornelles (2012) recomenda a contagem dos meses com precipitação inferior à 100 mm, e locais onde a precipitação está sempre acima desse valor, utiliza-se pelo menos 1 mês de referência. Assim o volume pode ser obtido através da precipitação média anual, da área de coleta e do número de meses com pouca ou ausência completa de precipitação;

d) método prático alemão: Trata-se de um método empírico que obtém o volume de reserva a partir do valor mínimo entre 6% da demanda anual e 6% da disponibilidade de água de chuva;

e) método prático inglês: É o método empírico que calcula o volume do reservatório, adotando 5% do volume anual de água pluvial captado;

f) método prático australiano: É um método que calcula o volume do reservatório por tentativas até que sejam otimizadas as variáveis, e é obtido a partir do volume mensal produzido pela chuva, de acordo com o coeficiente de escoamento superficial, precipitação média mensal, área de coleta e volume por evaporação.

A partir dos métodos apresentados, o volume do reservatório pode ser obtido e este dimensionado, de acordo também com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais (ABNT, 2007). Além disso, existem hoje programas e sistemas disponíveis que, a partir de dados fornecidos calculam o volume do reservatório necessário para determinada demanda, fornecendo também o nível de viabilidade do sistema a ser instalado. Um exemplo é o Netuno, um programa computacional desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina que tem como objetivo principal verificar a viabilidade da substituição de água da chuva em pontos de consumo onde a água potável não seja necessária, estimando diversos fatores como a porcentagem de dias em que a demanda de água pluvial é atendida ou não.

Para que o dimensionamento seja eficaz e econômico, é importante escolher um método que atenda as características da situação trabalhada, sendo extremamente importante o conhecimento das informações e variáveis que cada um exige. Isso evita que o volume do reservatório seja superestimado ou subestimado, elevando o custo ou não atendendo a demanda por completo, pois um grande reservatório permite um maior volume de armazenamento, porém eleva bastante o custo.

### 3.4.2 Estimativa de demanda

Estimar o volume de água que será utilizado é um dos primeiros e mais importantes passos para um bom dimensionamento do sistema de aproveitamento de água pluvial, uma vez que interfere diretamente na simulação do seu funcionamento, o que será aproveitado e o que será lançado na rede pluvial. Assim, os valores per capita de consumo podem ser obtidos a partir de características como o padrão de habitação, número de pessoas a consumir o recurso, clima, entre outros fatores. Além disso, o custo do serviço prestado de fornecimento de água interfere na sua utilização pois quanto maior o valor cobrado, ou quando cobrado em taxa individualizada, se tende a reduzir o consumo.

No caso do aproveitamento de água da chuva, o consumo desse recurso se restringe ao uso não potável podendo ser destinado principalmente para descarga de bacias sanitárias, onde se utiliza a maior parcela da água consumida, irrigação de jardins, lavagem de ambientes externos e veículos. No caso da utilização em bacias sanitárias, o volume utilizado não depende de fatores externos, mas apenas do número de usuários que as utilizam (DORNELLES, 2012).

Em estabelecimentos de uso público como escolas, o consumo de água em bacias sanitárias pode representar 50% do volume total, e deve ser alvo de atenção quanto às estimativas. Alguns autores definem os valores de consumo em estabelecimentos de ensino, e são citados por Hagemann (2009), que apresenta a seguinte tabela.

**Tabela 3 – Estimativa de consumo *per capita* de água em instituição de ensino**

| Categoria                  | Faixa     | Unidade              | Autor  |
|----------------------------|-----------|----------------------|--|
| Universidades              | 477 – 519 | Litros/empregado/dia | Dziegielewski <i>et al</i> (1993)            |
| Escolas e<br>Universidades | 210       | Litros/empregado/dia | Army Institute for Water<br>Resources (1987) |
| Escola                     | 10-30     | Litros/aluno/turno   | Melo e Neto (1988)                           |
| Escola                     | 50        | Litros/pessoa/dia    | Sabesp (1983)                                |
| Escola                     | 38-76     | Litros/aluno/dia     | Metcalf & Eddy (1991)                        |
| Escola                     | 50        | Litros/pessoa/dia    | DMAE (1988)                                  |
| Escola                     | 76        | Litros/aluno/dia     | Qasim, Syed R. (1994)                        |
| Escola                     | 50        | Litros/aluno/dia     | Macintyre (1982)                             |

Fonte: HAGEMANN, 2009.

Além de possuírem áreas normalmente grandes, em comparação as edificações residenciais, o que facilita a captação de grandes volumes de água pluvial, as instituições de ensino, também são locais favoráveis à instalação de sistema de aproveitamento desse tipo de recurso pois apresentam demanda elevada principalmente na utilização de água para fins não potáveis. Isso permite uma grande economia no consumo de água tratada, além de contar com o retorno do investimento em um prazo menor.

## 4 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Com o avanço da urbanização e os impactos, positivos e negativos, gerados pelo crescimento das cidades, as consequências da ocupação do solo passaram a ficar mais evidentes atualmente. As ações imediatistas no setor da construção civil, bem como o acúmulo de reações da natureza, que vem perdendo seu espaço, agravaram ainda mais os problemas com enchentes urbanas além de perdas econômicas e sociais. Assim, os projetos de drenagem urbana passaram a ser mais observados na elaboração de sistemas de transporte de água pluvial mais eficazes e equilibrados, promovendo a evolução nos estudos de coleta de água da chuva, que vão desde a simples preocupação com a higiene urbana, até métodos de manejo sustentável mais elaborados.

Pode-se então definir drenagem urbana como o conjunto de métodos que objetivam redirecionar o fluxo de água e seu volume em áreas urbanas, transportando para outros locais pré-definidos, minimizando os riscos e prejuízos causados pelas inundações. Estes sistemas deveriam ser realizados de forma harmônica e articulada com o todo que forma o ambiente urbano, principalmente com relação a natureza, e essa nova visão vem ganhando cada vez mais espaço hoje em dia. Isso porque as práticas tradicionais de drenagem urbana tendem a sobrecarregar os condutos de escoamento e as calhas de água pluvial, uma vez que o principal objetivo é remover o volume de água de determinada região, transferindo e acumulando este em outros locais.

### 4.1 HISTÓRICO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL

Durante o século passado, os problemas relacionados ao volume de água das chuvas em áreas urbanas eram resolvidos apenas tratando de transportá-lo à jusante, drenando o local o mais rápido possível. Com isso, muitos fatores como a passagem da água na superfície do solo durante o transporte eram desconsiderados, o que gerava grandes transtornos principalmente relacionados à transmissão de doenças. Além disso, as canalizações pluviais eram utilizadas simultaneamente para o transporte de águas de esgoto, caracterizando os sistemas unitários, que foram praticamente eliminados com o desenvolvimento de novas tecnologias de drenagem urbana (GRIBBIN, 2013).

Com o passar do tempo e a ineficiência dos sistemas existentes, foram se obtendo novas formas de drenagem no meio urbano, onde o objetivo inicial era impermeabilizar as

superfícies e canalizar o máximo de volumes de água da chuva que caíam no solo, sem pensar que o crescimento das cidades promoveria também um acúmulo de problemas. Com o aparecimento das consequências dessas modificações urbanísticas, metodologias foram sendo aprimoradas, buscando equacionar problemas das cheias, que invadem os centros urbanos em períodos de chuva causando danos estruturais em habitações, degradação ambiental e propagação de doenças.

Diferentes abordagens foram concebidas, de acordo com necessidades mais prementes de cada época, sendo possível destacar uma linha evolutiva, de forma consistente, desde a Revolução Industrial, que vai de uma concepção higienista, usualmente identificada com práticas consideradas tradicionais, até práticas mais atuais de manejo sustentável de águas urbanas e o projeto de cidades sensíveis à presença da água, integrando um quadro legal, institucional, social, econômico e técnico, que coloca a água no centro da discussão urbana (MIGUEZ, 2015).

Atualmente os sistemas de drenagem urbana são formados por diversas partes desde a captação da água da chuva até seu lançamento final, e caracterizam-se pela captação do escoamento superficial das águas de chuva em ruas, estacionamentos, áreas verdes e encaminhando-os aos corpos receptores. Em um contexto contemporâneo os principais objetivos dos sistemas de drenagem são a redução alagamentos, preservação de várzeas, quantificação e qualificação das águas escoadas, preservação de condições de tráfego e logradouros, evitando a transferência de problemas à jusante. Ainda assim, segundo Souza (2013), os sistemas de drenagem urbana no Brasil seguem predominantemente um padrão baseado em eficiência hidráulica apenas, sendo uma ação pontual à curto prazo.

Segundo a Lei Federal nº 11.445, de 2007, criação que deu início às preocupações com saneamento básico urbano no Brasil, a drenagem urbana é um serviço que deve ser oferecido, considerando princípios de integração urbana, sendo um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, que amortecem as vazões de cheias nas áreas urbanas. Além disso ela prevê a adoção de bacia hidrográfica para cada município norteando as suas ações (BRASIL, 2007).

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Os sistemas de drenagem convencionais podem lidar basicamente com três tipos de águas: águas residuais domésticas, águas residuais industriais ou comerciais e águas residuais pluviais. Esse último tipo caracteriza-se além de águas provenientes de água das chuvas, todas as águas recolhidas em sarjetas e sumidouros, utilizadas em áreas externas como jardins e lavagens. De um modo geral, os sistemas de drenagem podem ser divididos quanto à

configuração da rede em sistemas separativos, quando existem redes distintas de coletores para água residual doméstica e água pluvial, sistemas unitários, onde a coleta e transporte ocorre em um mesmo local, sistemas mistos, uma junção dos dois sistemas anteriores, e sistemas separativos parciais, em que em determinadas situações se permite a junção de tipos de coleta (CÂNDIDO, 2013).

Geograficamente os sistemas de drenagem são caracterizados pela sua disposição dentro de uma área urbana, sendo chamado de microdrenagem o sistema de condutos pluviais localizados na zona urbana primária ou em loteamentos, e a macrodrenagem, que se caracteriza por envolver o conjunto de diferentes sistemas de microdrenagem, dependendo da malha urbana e podem apresentar diferentes configurações.

Apesar de possuírem basicamente a mesma estrutura, com metodologias de projeto e elaboração tradicionalistas, atualmente percebe-se que os sistemas de drenagem presentes no Brasil não respondem de forma positiva e eficiente a sua função determinada. Desta forma, esses processos podem ser melhorados a partir de técnicas incorporadas denominadas pela literatura como medidas de controle. As medidas de controle podem ser caracterizadas também como medidas de correção ou prevenção, dependendo da sua aplicação no sistema de drenagem. Podem ainda ser estruturais, correspondendo a obras relacionadas ao controle de enchentes e não estruturais, referentes às medidas que controlem os efeitos das enchentes através de regulamentações, normas e programas de conscientização.

Segundo Aluísio Canholi (2014), em seu livro sobre *Drenagem urbana e controle de enchentes*, as medidas de controle estruturais, podem ser realizadas de forma a acelerarem o processo de escoamento através de canalização e obras relacionadas, desvio de escoamento, diminuição do fluxo, através de reservatórios e restauração de calhas naturais, que faz parte do foco do presente trabalho.

Porém, para que haja uma padronização nos sistemas de drenagem de cada cidade é necessário o estabelecimento de regulamentações que estabeleçam o correto projeto e elaboração de mecanismos eficientes, mais especificamente definidos nos Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU), ainda pouco encontrado nos municípios do país. Se tratam de planejamentos de extrema importância para um equilíbrio socioambiental na área urbana, uma vez que estabelecem parâmetros para uso da bacia hidrográfica, através de simulações de situações que previnam riscos às cidades. Caso o município não possua PDDrU definido, os sistemas de drenagem normalmente seguem regras estabelecidas no Plano Diretor convencional, ou em leis complementares destinadas a esse fim.

Segundo Verônica Donoso (2016), em um relatório de oficina sobre paisagismo e ocupação acerca do processo que compõe a cidade de Anápolis, são apresentadas algumas problemáticas que a cidade enfrenta quanto ao sistema de drenagem atual, sendo constituído por estruturas inadequadas para atender a demanda presente, e com um déficit de informações técnicas quanto à constituição da rede de drenagem existente na cidade. Além disso, não existe na cidade nenhuma legislação específica ou manual de drenagem que possibilite a fiscalização de obras existentes ou que vem sendo construídas, alterando a estrutura da cidade que aumenta a impermeabilização urbana e conseqüentemente o acúmulo de vazão de água pluvial (DONOSO, 2016).

#### 4.3 SUPERFÍCIES, INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Pode-se considerar que para a engenharia, a parcela mais importante no estudo sobre drenagem é a avaliação do comportamento da água em diversas situações e em contato com os diversos materiais, fatores que podem modificar características relevantes em projetos e métodos executivos. Desta forma, são de extrema relevância tanto a identificação dos materiais e substâncias constituintes das estruturas que podem ter contato com partículas de água – umidade, quanto a composição das superfícies por onde essa água percorrerá.

Cada tipo de elemento presente na superfície como um todo apresenta estruturas moleculares distintas, que interagem também com moléculas de água de forma particular. Assim, pode-se considerar que essa interação permite identificar o grau de absorção de água pelos materiais, e quando essa absorção se relaciona principalmente às camadas de solo, na drenagem, denomina-se infiltração. A infiltração acontece quando, após períodos de chuva, parte da água que chega a superfície do terreno, penetra no solo, atingindo os vazios ali existentes, e têm continuidade até que se atinja a capacidade máxima de infiltração, permitindo ao volume excedente que se desloque sobre a superfície níveis abaixo (MOLINARI, 2004).

Como dito, cada tipo de superfície possui um nível de permeabilidade, e como o deslocamento de água é uma variável de difícil controle na engenharia, tem se buscado cada vez mais desenvolver substâncias que evite esse processo, os chamados impermeabilizantes. Desta forma, o uso constante destes componentes em estruturas, pavimentação e revestimentos que compõem o ambiente urbano, minimiza os efeitos locais da infiltração da água, porém favorece e intensifica os volumes de água que escoam pelas superfícies, acumulando-se gradativamente. Essa taxa de escoamento superficial, também conhecido como coeficiente de

*runoff*, particular de cada superfície, permite a quantificação do volume de água que efetivamente se desloca sobre o terreno até as galerias de água pluvial, após os períodos de chuva.

Para minimizar os efeitos desse acúmulo de água pluvial deslocada, de forma menos agressiva ao ambiente e mais eficiente, novos métodos de drenagem foram desenvolvidos, e vem ganhando cada vez mais espaço nos centros urbanos, ainda que de forma sutil, e alguns serão apresentados a seguir.

#### 4.4 MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS DE DRENAGEM URBANA

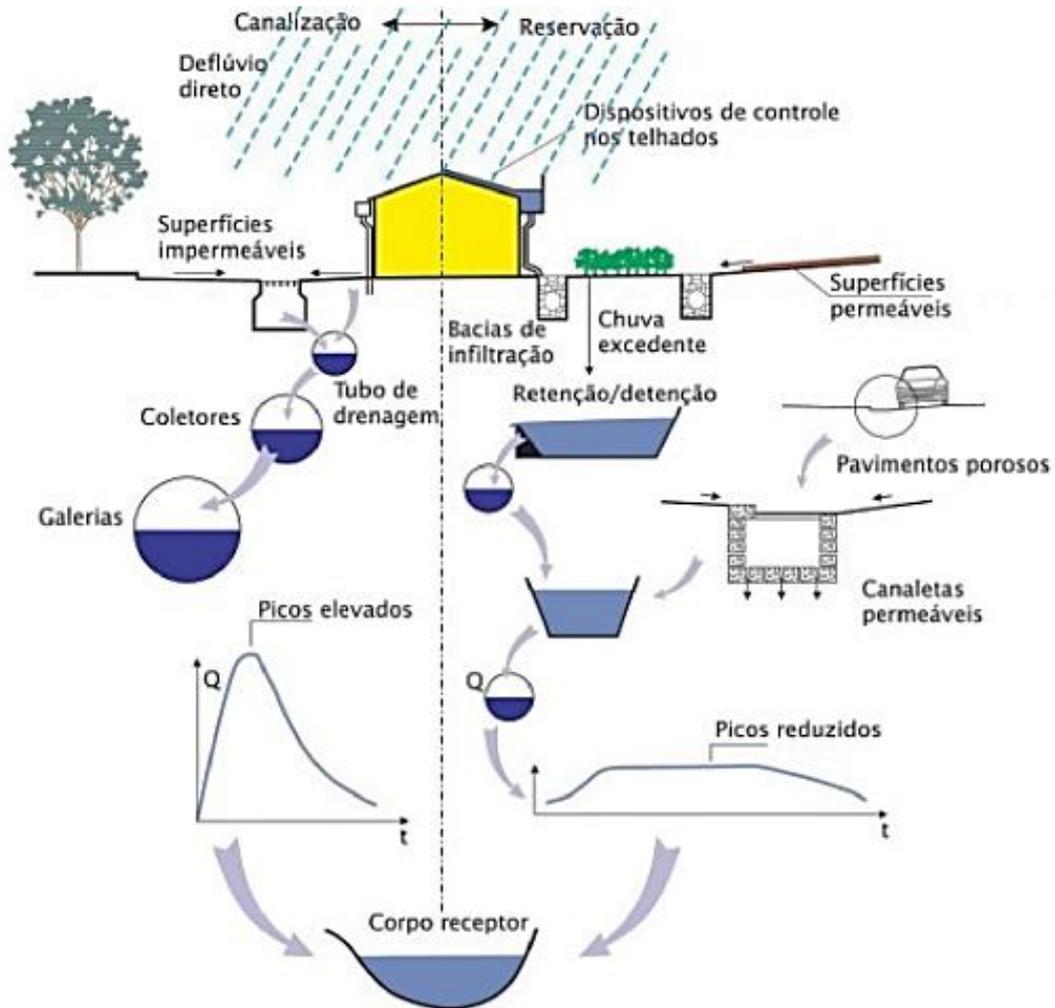
Com a descoberta de novas metodologias de drenagem, e o avanço de tecnologias sustentáveis, novos modelos de drenagem urbana vêm sendo implantados em diversas cidades, tentando aproximar os modos de escoamento e drenagem aos pré-existentes na natureza. A forma tradicional de drenagem está sendo complementada por concepções que valorizam o curso natural das águas de chuva, incluindo soluções adequadas para cada etapa do transporte, entre eles a recepção nos corpos d'água. Assim, o agravamento dos problemas das cheias é minimizado, partindo de conhecimentos sobre o ciclo hidrológico urbano e compreensão das necessidades de cuidados específicos na elaboração de projetos.

As medidas não convencionais de drenagem urbana são caracterizadas como métodos que ainda apresentam pouca utilização devido as diferenças que apresentam dos sistemas predominantemente utilizados, sendo necessária uma adequação completa do sistema existente. Apesar de possuírem conceitos diferentes dos métodos tradicionais, podem estar associados a eles, garantindo uma otimização do sistema projetado. Canholi apresenta em seu trabalho algumas medidas utilizadas nessas metodologias:

Dentre as medidas não convencionais mais frequentemente adotadas, destacam-se aquelas que visam a incrementar o processo da infiltração; reter os escoamentos em reservatórios; ou retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios (...). As soluções que envolvem retenção dos escoamentos são compostas por estruturas que amortecem os picos de vazão por meio do conveniente armazenamento dos deflúvios. (CANHOLI, 2014)

Além disso o autor compara dois conceitos relacionados às medidas não convencionais de drenagem, o de canalização, voltado à implantação de galerias que favorecem o rápido escoamento para aproveitamento de fundos de vale, e o conceito de retenção, cuja a principal finalidade é a redução dos picos de enchentes, armazenando parte do volume de água escoado. A figura a seguir representa essa comparação.

Figura 10 – Ilustração esquemática dos conceitos de canalização e reservação



Fonte: CANHOLI, 2014.

Aliados a essas formas de drenagem, ultimamente se tem observado um grande avanço de técnicas de Urbanização de Baixo Impacto (LID), e Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (SUDS). Ambas se diferenciam por apresentar conceitos voltados à urbanização como um todo e melhorias locais, respectivamente, porém com mesmo objetivo de promover o desenvolvimento aliado a prevenção e controle de problemas de drenagem. Esses sistemas baseiam-se em princípios de transporte e captação de água, retenção e detenção, infiltração e permeabilidade, além de técnicas que controlem o assoreamento e erosões.

A utilização de parte da água da chuva que seria direcionada aos sistemas de drenagem urbana, através da coleta e reserva, pode ser considerada um método alternativo de drenagem uma vez que promove o aproveitamento desse recurso que seria simplesmente transportado à jusante. Segundo Dornelles (2012), o aproveitamento da água da chuva, aliado ao serviço de

drenagem urbana está em pauta contínua atualmente, uma vez que se trata de uma medida de controle de alagamentos.

#### 4.5 IMPACTOS ESPERADOS DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL E LIMITADORES

Apesar de se considerar diversas variáveis no dimensionamento de reservatórios para aproveitamento da água da chuva, o principal item observado no presente trabalho é o volume de água armazenado para utilização. Como a área de pesquisa se trata de uma instituição de ensino onde um dos principais pontos de consumo de água contempla o esgotamento de bacias sanitárias, espera-se que a instalação do sistema seja viável quanto à diminuição do uso de água potável e vantajosa também quanto à drenagem pluvial na região.

Uma vez que se trata de uma grande área de captação, aliada à um terreno com grande declividade, espera-se que o volume de água acumulada para reuso seja grande a ponto de causar um bom efeito na drenagem à jusante. Ainda que o impacto seja pequeno, caso a implantação do sistema seja favorável para a instituição, trata-se de uma boa solução para o meio ambiente e as políticas urbanas.

Quanto aos limitadores da implantação do sistema temos inicialmente a adequação das superfícies que servirão de captação da água da chuva, uma vez que a instituição conta com uma grande área de edificações já construídas. Além disso, por se tratar de uma grande demanda é possível que o investimento para a construção do reservatório seja alto, tornando o sistema pouco convidativo e por outro lado, a sazonalidade das precipitações e o longo período de estiagem impede que o reservatório esteja em pleno funcionamento o ano todo. Porém cada variável pode ser quantificada experimentalmente, avaliando a eficiência do sistema, e categorizando sua implantação.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para avaliar a eficiência de sistemas de aproveitamento de águas de origem pluvial é importante observar muitas características que condicionam sua utilização, limitando ou favorecendo a implantação. Desta forma, neste trabalho o estudo foi realizado no Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, situado no estado de Goiás. A cidade de Anápolis se localiza a aproximadamente 53 km da cidade de Goiânia, apresentando um clima tropical de altitude, com temperaturas que variam ao longo do ano entre 8°C – junho e julho, e 33°C – de janeiro à março.

Além da elevada variação de temperatura, a incidência predominante de chuvas na região ocorre entre os meses de setembro à maio, cessado por um longo período de estiagem. Esses fatores influenciam diretamente no cálculo do reservatório e são de extrema relevância no estudo, uma vez que fornecem dados sobre o volume de água que pode ser utilizado. Quanto ao relevo, apresenta-se predominantemente ondulado, com solo em elevada potencialidade erosiva principalmente ao norte, influenciada pela substituição da cobertura vegetal primitiva por áreas de pastagens e afetadas por queimadas, provocando a desnutrição do solo, e elevado escoamento superficial.

### 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Tais características morfoclimáticas, anteriormente citadas, também são predominantes no local do estudo. Localizado na região norte da cidade, o Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, se encontra em uma área que abrange duas das principais avenidas da cidade, Avenida Brasil e Avenida Universitária, em um terreno majoritariamente inclinado e com considerável área permeável, que será possivelmente preenchida com edificações acadêmicas no futuro, como mostra a Figura 11.

**Figura 11 – Mapa do Local de estudo, Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA**



Fonte: UNIMAPS, 2018.

O centro universitário conta atualmente com cerca de dez mil alunos e mil e oitocentos colaboradores, abrangendo uma área total de 260 mil metros quadrados. Por se tratar de uma grande área, o que pode favorecer a captação da água da chuva, e ser uma edificação em que a maior parte da água utilizada não necessita de tratamentos específicos, por ser direcionada à limpeza geral e esgotamento de sanitários, a utilização de sistemas de aproveitamento de água se torna um método bastante convidativo. Porém, outras variáveis devem ser estudadas e avaliadas, garantindo a eficiência do sistema. Além disso, como parte do estudo deste trabalho, cabe avaliar o impacto do aproveitamento desses volumes de águas pluviais, na drenagem urbana do local.

Uma dessas variáveis é o volume de água necessário para o abastecimento da instituição, e é obtido através do número de pessoas que utilizam os sistemas sanitários locais. Assim, calcula-se a demanda de água necessária obtendo-se, com isso, o volume do reservatório. Porém, é necessário primeiramente, quantificar o volume de água de chuva disponível para coleta durante o período de tempo pré-estabelecido, conforme apresentado em norma, e isso pode ser obtido através de dados pluviométricos da região. Para melhor compreensão e quantificação, o estudo foi realizado para uma edificação da instituição (Bloco HI), mas possibilitando posteriores avaliações para a área como um todo.

### 5.3 VOLUME APROVEITÁVEL DE ÁGUA DA CHUVA

Para garantir que o sistema atenda a demanda existente na instituição, destinados ao uso de sanitários e limpeza em geral, é necessário avaliar e quantificar o volume de água de chuva disponível no local. Esses dados podem ser obtidos, através de hidrogramas e relatórios pluviométricos disponibilizados em estações da região e, para o trabalho, os dados foram obtidos da estação meteorológica localizada no campus do centro universitário que, comparado aos dados de estações nacionais, apresenta pouca variação. Os dados disponibilizados estão representados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Volume de precipitação em intervalo de um ano, em Anápolis**

| Mês Correspondente | Volume de Precipitação (mm) |
|--------------------|-----------------------------|
| Julho/2017         | 0,00                        |
| Agosto/2017        | 0,00                        |
| Setembro/2017      | 32,40                       |
| Outubro/2017       | 146,80                      |
| Novembro/2017      | 196,00                      |
| Dezembro/2017      | 337,20                      |
| Janeiro/2018       | 172,20                      |
| Fevereiro/2018     | 264,80                      |
| Março/2018         | 132,20                      |
| Abril/2018         | 123,60                      |
| Mai/2018           | 14,60                       |
| Junho/2018         | 0,00                        |
| <b>Total</b>       | <b>1419,8</b>               |

Fonte: Estação Meteorológica LaPAGeo, 2018.

Segundo a norma NBR 15527/07, sobre aproveitamento da água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, para o cálculo do volume do reservatório, é necessário não só a média anual de precipitação, que deve desconsiderar 2 mm de primeiras chuvas para descarte, mas também a área de captação, em metros quadrados, obtida através da área do telhado do bloco em estudo. A área foi obtida através de medição por aplicativo de satélite, do *software* Google Earth, e pode ser visualizada na Figura 12, a seguir.

Figura 12 – Mapa do local de estudo, bloco HI, UniEVANGÉLICA



Fonte: Google Earth (Adaptado), 2018.

Como visualizado, trata-se de uma área para captação de aproximadamente 2.460 m<sup>2</sup>, constituída de cobertura metálica simples. Tais características influenciam diretamente no volume de água aproveitável, uma vez que permite quantificar a taxa de água que é de fato escoada para as calhas e quanto é absorvido pelo material ou evaporada, também conhecida como coeficiente de *runoff*, adotada como 0,9 no estudo. Além disso, a área de cobertura é totalmente desprovida de vegetação ou qualquer outro agente que favoreça o acúmulo de matérias orgânicas como folhas, dispensando inicialmente a necessidade de filtros nas calhas. Isso permite que o fator de eficiência utilizado na captação da água da chuva, adotado nos cálculos seja de 100%, ou 1,0, como mostra a equação (1), o que não prescinde possíveis estudos relacionados em trabalhos futuros.

$$V = P * A * C * \eta \quad (1)$$

Foi possível, então, se obter o volume de chuva aproveitável, baseado nas características da área de captação, como dimensão da cobertura, coeficiente de escoamento superficial do telhado e precipitação anual, desconsiderando 2 mm de primeiras chuvas descartados, aliados ao fator de eficiência do sistema, anteriormente citado, presente na NBR 15527. O volume aproveitável obtido foi de 3.139.009, 2 Litros.

## 5.4 CÁLCULO DE DEMANDA

Como dito anteriormente, devido à grande área de extensão total da instituição, os cálculos elaborados e o material de estudo foram direcionados para uma área delimitada que contém uma edificação (bloco) específica, facilitando a quantificação dos volumes de água, estudos de viabilidade da instalação do sistema de reserva, e visualização de impactos gerados. Assim, para calcular o volume de água utilizado diária, mensal, e anualmente foram coletados dados como números de alunos e funcionários que utilizam os sanitários do bloco, bem como a quantidade de água utilizada para limpeza do prédio nesses intervalos de tempo.

No bloco HI do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA estudam cerca de 2.120 alunos, distribuídos entre matutino e noturno, além de 68 funcionários. São utilizados cerca de 80 metros cúbicos de água por mês com limpezas gerais e esses dados foram obtidos segundo a área interna da edificação (TOMAZ, 2000). Além desses dados, o volume de água utilizado a cada descarga também é uma variável importante nessa avaliação e para isso foi utilizado o volume médio de água necessário para o funcionamento correto e a limpeza da bacia sanitária, estabelecido na norma NBR 15857/2011 – *Válvula de descarga para limpeza de bacias sanitárias*, que em média é de 9 litros. Entretanto, cabe salientar que no desempenho real, as válvulas de descarga podem utilizar até 30 litros de água, considerando variações diversas.

O cálculo de demanda foi realizado de forma simples como mostrado na equação (2), através do produto entre o número de usuários do sistema, o volume de água necessário por descarga sanitária e o número de vezes em que os usuários utilizam os sanitários, somados posteriormente ao volume de água utilizado na limpeza. A frequência de uso dos sanitários foi adotada segundo bibliografia específica, elaborada por Tomaz (2000), que estabelece uma frequência média de utilização de 2 vezes ao dia, por usuário. O volume diário de água obtido no cálculo foi de 39.384 litros.

$$V_{Diário} = N^{\circ}_{usuários} * F * V \quad (2)$$

O volume obtido mensalmente é de 984.600 litros, ou 1.065 metros cúbicos considerando também o volume utilizado na limpeza mensal, e foi obtido considerando 25 dias de funcionamento, uma vez que conta com funcionamento integral durante cinco dias da semana, e alguns cursos são realizados também aos sábados, ainda que em número consideravelmente reduzido. Como pode ser observado, as características de utilização do

sistema influenciam diretamente o volume de água de chuva necessário, e foram devidamente considerados no cálculo. A diferença de frequência de uso entre alunos e funcionários, além do número de dias adotado no estudo para o funcionamento do sistema foi observado de modo a garantir a vazão suficiente.

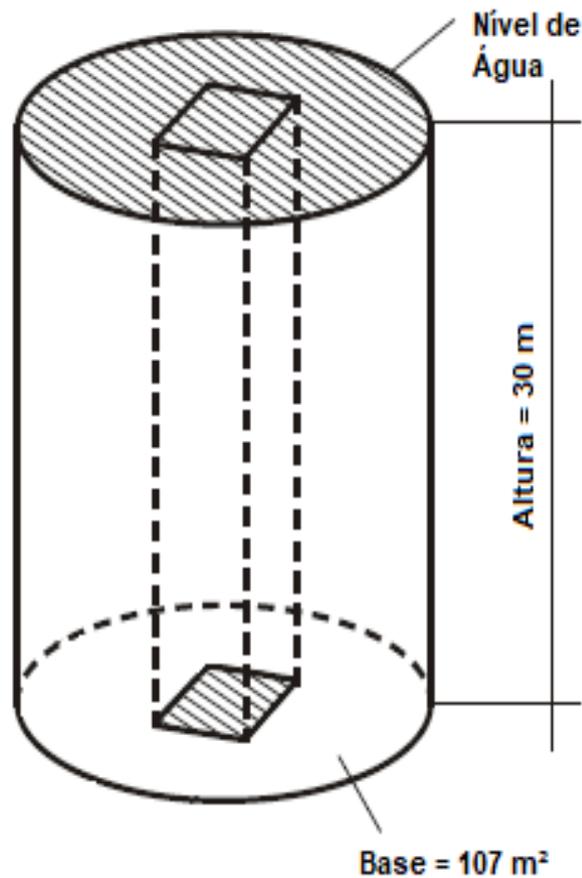
## 5.5 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Após a quantificação de água de chuva disponível no local, e da demanda característica de água para esgotamento sanitário e limpeza geral, o próximo cálculo realizado foi o do volume de água de reserva, ou seja, o volume do reservatório. Utilizando o método de Azevedo Neto, presente em norma, para cálculo do volume do reservatório necessário, e ainda com a utilização das variáveis anteriormente apresentadas como volume precipitado, e período de pouca chuva, foi obtido um volume de reserva de aproximadamente 750 metros cúbicos de água.

Considerando o volume de água de chuva disponível no ano ( $3.139 \text{ m}^3$ ) e a demanda anual de água para os fins apresentados ( $10.650 \text{ m}^3$ ), considerando os meses letivos, foi constatado que o nível de precipitação anual na região não é suficiente para atender toda a demanda durante o período de um ano. Para isso, objetivando atender de forma suficiente as necessidades hidrossanitárias da instituição, o tempo de utilização efetiva do sistema foi reduzido para os três meses de maior seca na região, ou seja, junho, julho e agosto, permitindo uma redução significativa no consumo de água potabilizada, ou seja, mais de 3.000 metros cúbicos. Consequentemente, para que a reserva seja realizada a partir do volume total de água disponível no ano, utilizado apenas nos meses de maior seca, o volume definido para o reservatório é o total disponível, porém com uma majoração a favor da segurança, ou seja, 3.200 metros cúbicos de água.

A configuração do reservatório pode ser obtida de diversas maneiras, a partir de características do local, onde adotando um elemento da dimensão como altura ou largura, é possível encontrar suas demais dimensões. Para o estudo foi escolhido um reservatório cilíndrico, com as dimensões apresentadas na Figura 13, que representa uma forma genérica do sistema, podendo ser adotado outro modelo. Além disso, é importante considerar um extravasor para as primeiras chuvas, que podem conter impurezas diversas, que possam danificar o sistema.

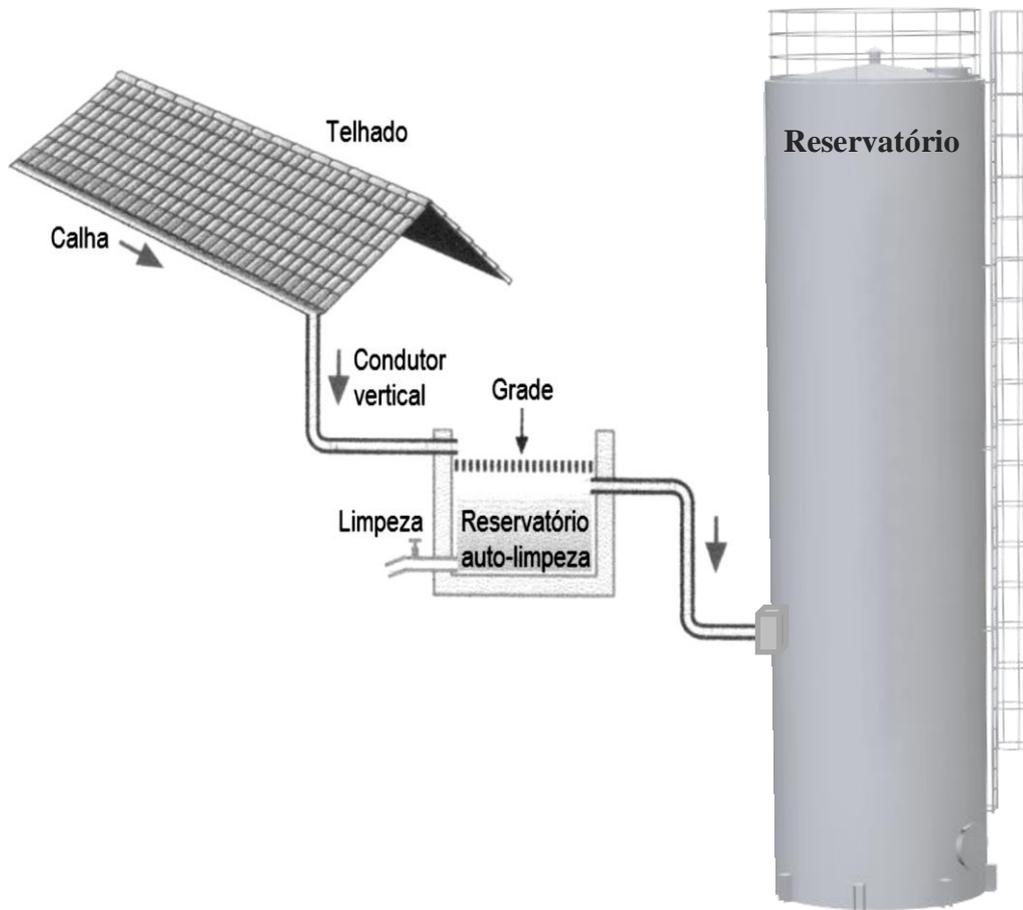
Figura 13 – Dimensões genéricas do reservatório



Fonte: Próprio Autor, 2018

Quanto à escolha do modelo de reservatório, fica a critério do projetista do sistema, e foi adotado no presente estudo, a nível exemplificativo, uma configuração cilíndrica, elevada, que pode ser encontrada no mercado ou feita in loco – Figura 14. Para essa escolha devem ser considerados critérios como manutenção, funcionalidade, eficiência, além de serem observados itens e acessórios como capacidade de vedação, válvulas extravasoras e de limpeza. Além disso, características externas também interferem no modelo a ser adotado como declive do terreno, que de acordo com o nível, exige uma maior pressão. Como a área em estudo se dispõe em um terreno com grande declividade é importante posicionar o reservatório em um local mais elevado, aproveitando assim, a força da gravidade para favorecer a distribuição final.

**Figura 14 – Modelo exemplificativo do sistema**



Fonte: Próprio Autor, adaptado de MAY (2004), 2018

Foi constatado que a instituição conta com poço artesiano para o consumo de água, o que significa que não se pode considerar que a utilização do sistema provoque economia no consumo de água tarifada mensal. Ainda assim, pode-se verificar que o uso do sistema permite a diminuição do consumo de água potável disponível e preservação do volume natural presente, principalmente em meses de seca, onde o nível do lençol freático diminui consideravelmente. Como a tendência é que se tenha cada vez mais usuários na instituição, o aproveitamento da água da chuva para esses fins diminuiria a sobrecarga ao sistema atual.

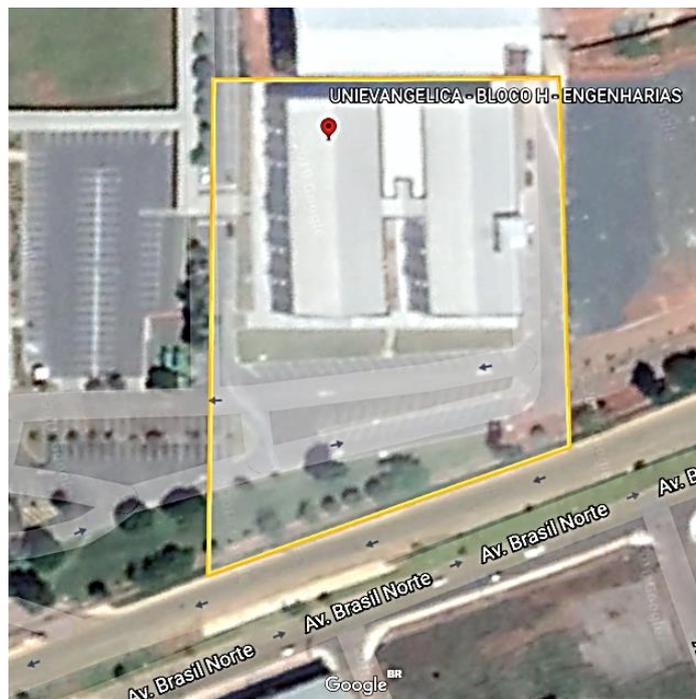
Além disso, essa estimativa considera apenas os cálculos para uma edificação em específico (HI), podendo ressaltar que a instituição conta com mais de cinco blocos (edificações), que geram aumento na demanda mas também permite maiores utilizações de áreas de cobertura para de captação da água da chuva, incluindo a cobertura do ginásio poliesportivo, que representa cerca de 5% da área do campus do centro universitário.

Durante os meses, em que o sistema de aproveitamento de água de chuva será efetivamente utilizado (junho, julho e agosto), o consumo acumulado de água para sanitários e limpeza acumula mais de 3 mil metros cúbicos de água, que configura economia significativa da água potável disponível. Simulando genericamente a diminuição de custo de água tarifada, caso fosse este o modelo presente na instituição, seriam reduzidos aproximadamente 30 mil reais por ano, que significa aproximadamente 30% do valor gasto, com usos não potáveis (SANEAGO, 2018). Essas observações podem também ser direcionadas à outros estabelecimentos que utilizem constantemente grandes volumes de água em sanitários, disponibilizados pela rede de água tarifada.

## 5.6 PARÂMETROS PARA ANÁLISE DA DRENAGEM LOCAL

Inicialmente, alguns parâmetros devem ser considerados para quantificar o volume de contribuição da área em estudo – Figura 15, como a composição das superfícies quanto à natureza, quantificação dessas, capacidade de permeabilidade, e volume de precipitações. Isso porque para cada tipo de superfície, está associado um índice de permeabilidade e um coeficiente de escoamento superficial, que se relacionam diretamente aos resultados obtidos.

**Figura 15– Delimitação da área de estudo, bloco HI, UniEVANGÉLICA**



Fonte: Google Earth (Adaptado), 2018.

Como apresentado anteriormente, devido à grande extensão do Campus, a área efetiva para o presente estudo foi selecionada com o objetivo de melhor quantificar o volume de chuva que de fato contribua no volume escoado para a rede de drenagem da avenida. As medições das áreas foram obtidas através de imagens de satélite disponibilizadas e obtidas pelo *software* Google Earth, sendo classificadas quanto à natureza que compõe o local em:

- a) Cobertura ou telhado;
- b) Pavimentos;
- c) Calçadas em cimento;
- d) Gramado.

Na Tabela 5 estão apresentadas as aproximadas áreas, bem como a taxa representativa e o coeficiente de escoamento correspondente. Os coeficientes de escoamento superficial foram obtidos considerando estudos (TOMAZ, 2005), em que avaliam, dentre outras características o tipo de solo e a inclinação do terreno avaliado. Cabe ressaltar que a área de estudo conta com terreno consideravelmente inclinado, como pode ser visualizado na Figura 16, com uma declividade aproximada de 7%, o que favorece o escoamento superficial, aumentado pela alta velocidade do curso de água.

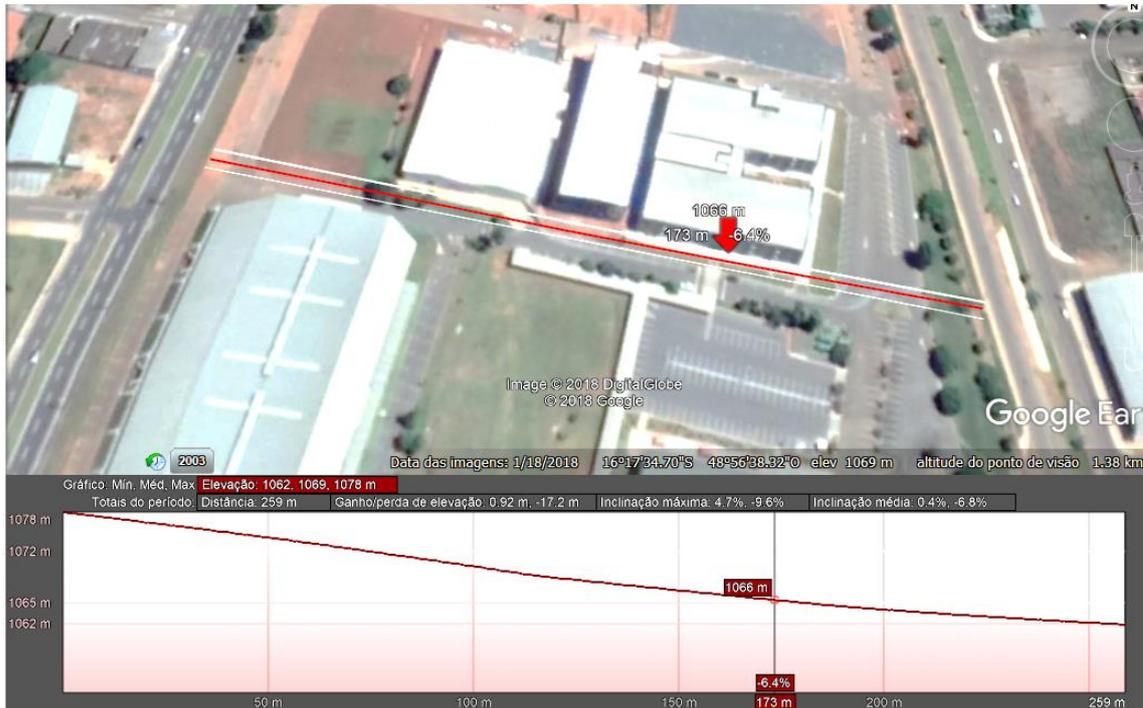
**Tabela 5 – Composição da Área de Estudo**

| Superfície   | Área           |            | Coeficiente de Escoamento Superficial |
|--------------|----------------|------------|---------------------------------------|
|              | m <sup>2</sup> | %          |                                       |
| Cobertura    | 2460           | 26         | 0,9                                   |
| Pavimento    | 3730           | 39         | 0,95                                  |
| Calçadas     | 930            | 10         | 0,95                                  |
| Gramado      | 2345           | 25         | 0,35                                  |
| <b>Total</b> | <b>9465</b>    | <b>100</b> | <b>0,78</b>                           |

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Se tratando de medições por satélite, existe a possibilidade de variações na magnitude das áreas, mas que exercem pouca influência nos resultados obtidos, uma vez que as proporções entre as áreas são as considerações mais importantes.

**Figura 16 – Declividade do terreno no local de estudo**



Fonte: Google Earth, 2018.

Quanto ao regime hidrológico da região, os dados obtidos na Estação Meteorológica LaPAGEo, localizada no Campus, em um intervalo de um ano (2017/2018) utilizado para o cálculo do volume de chuva aproveitável, foi comparado ao relatório anual de precipitações para a estação mais próxima, localizado na cidade de Goiânia, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, considerando um intervalo de cinco anos (2012-2017). Esses volumes anuais podem ser observados na Tabela 6, e se comparado ao obtido na instituição, percebe-se pouca variação.

**Tabela 6 – Volume de precipitação em cinco anos, para Goiânia**

| Ano Correspondente | Volume de Precipitação (mm) |
|--------------------|-----------------------------|
| 2013               | 1795                        |
| 2014               | 1655                        |
| 2015               | 1515                        |
| 2016               | 1390                        |
| 2017               | 1423                        |
| <b>Média Total</b> | <b>1555,6</b>               |

Fonte: Adaptado de INMET, 2018.

Considerando que as análises realizadas no presente trabalho caracterizam-se por comparações e avaliação de efeito do aproveitamento de águas pluviais no sistema de drenagem, e não de projeções para dimensionamento completo da rede, foram considerados os dados obtidos na Estação Meteorológica LaPAGeo, por estar localizada na área de estudo, ainda que mostre um período menor, de um ano.

## 5.7 AVALIAÇÃO DO VOLUME DE CHUVA ESCOADO NA ÁREA

Para a quantificação do volume de chuva escoado, considerando fatores diversos, foi utilizado o método racional, sendo o mais indicado para áreas menores. Esse método permite a avaliação a partir da área de contribuição, coeficiente de escoamento superficial e intensidade de precipitação, observado na equação (3).

$$V_{esc} = C * I * A \quad (3)$$

O volume de chuva escoado ( $V_{esc}$ ), em litros, é obtido através do produto entre o coeficiente de escoamento característico da superfície, a dimensão da área de contribuição e o volume de chuva no período, em milímetro. Para melhor compreensão das avaliações, foram realizadas simulações, com e sem o uso do aproveitamento de água em determinadas situações distintas como:

- a) Mês com maior incidência de chuva;
- b) Mês com menor incidência de chuva;
- c) Quantificação anual.

Os resultados obtidos para todas as simulações podem ser observados na Tabela 7, em que a quantificação sem o sistema de aproveitamento foi realizada avaliando a área total, e na quantificação com o sistema de aproveitamento, a área do telhado foi desconsiderada no escoamento superficial para drenagem, uma vez que contribui apenas no volume direcionado à reserva.

**Tabela 7 – Volume de chuva escoado no local de estudo**

| Situação                          | Volume de água pluvial escoado (m <sup>3</sup> ) |                               |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|
|                                   | Sem Sistema de Aproveitamento                    | Com Sistema de Aproveitamento |
| Mês com maior incidência de chuva | 2.516,1  | 1769,54                       |
| Mês com menor incidência de chuva | 108,95   | 76,62                         |
| Simulação Anual                   | 10.594,2   | 7450,76                       |

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Como pode ser observado, para o local em estudo e de acordo com as características apresentadas, a utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva na edificação promove uma redução de mais de 28% no volume de água escoado superficialmente para a Avenida Brasil. Esses valores podem ser influenciados pela intensidade e duração da precipitação, além de abrangerem uma pequena área, que pode ser aumentada em posteriores estudos.

## 6 CONCLUSÃO

### 6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu avaliar quantitativamente os benefícios gerados pela instalação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, tanto na economia do consumo de água potável quanto na redução do volume de água escoado para as galerias de drenagem pluvial da Avenida Brasil Norte, na cidade de Anápolis, em Goiás. Através de simulações pôde-se verificar o comportamento dos volumes de água escoado com e sem a utilização do sistema, além de apresentar a redução do volume de água potável para fins hidrossanitários.

O volume de chuva disponível para captação na área da edificação após captado é direcionado à um reservatório de autolimpeza, que elimina impurezas e detritos que acompanham a água em seus primeiros instantes de coleta. Só após atingir o nível de descarte os volumes de água são direcionados ao local de reserva definitivo. Como visto, o volume de água pluvial disponível no período de chuva, para a região é capaz de atender a demanda durante o período de maior seca na instituição, junho, julho e agosto. Ainda que a instituição em estudo conte com um sistema de obtenção de água através de poço artesiano, os níveis de água do lençol freático em períodos de estiagem tem seu volume reduzido, e com o crescimento constante de demanda, o atendimento pode ficar comprometido futuramente.

Ainda que sejam apresentados os benefícios da utilização do sistema, cabe ressaltar a importância de estudos de viabilidade completa para sua implantação. As técnicas de utilização de águas de reúso exigem avaliações cuidadosas quanto aos materiais utilizados e características dos componentes do sistema, de modo a garantir sua eficiência e permitir o maior aproveitamento no processo. Além disso, por mais que o estudo apresente resultados para uma instituição específica, as avaliações podem ser direcionadas à outras edificações de uso coletivo, comercial ou industrial, que se caracterizam por apresentar grande demanda do uso de sanitários, que permitem a utilização de águas não potáveis em seu funcionamento, eliminando a implantação conjunta de sistemas de tratamento complexo.

Ainda sobre a abrangência do uso dos sistemas de aproveitamento, muitas instituições, seja de ensino ou não, na maioria das vezes utilizam sistema de consumo de água tarifada da rede de fornecimento, pagando altos valores devido elevado índice de consumo. Cabe ressaltar que a utilização desses sistemas de aproveitamento não dispensam a utilização de políticas de

conscientização quanto ao desperdício e uso desnecessário desse recurso tão importante para todos.

Acerca da drenagem pluvial, os sistemas presentes na zona urbana não são projetados, muitas vezes, considerando o crescimento acelerado das cidades, tornando-se insuficientes com o passar do tempo. Na região em estudo, a área que conta com galerias pluviais para onde a água precipitada escoar, ou seja, a Avenida Brasil, permaneceu por muitos anos com um sistema de drenagem considerado arcaico, que favorecia, a cada período chuvoso, o acúmulo de grandes volumes de água na pista de rolamento, provocando inúmeros transtornos à sociedade. Assim, a instalação de alternativas que reduzam tanto volumes de água acumulados quanto que aproximem o máximo do funcionamento natural, permitem um equilíbrio satisfatório entre desenvolvimento sustentável e urbanização.

Apesar de o estudo considerar o índice de precipitações de forma geral, na análise de redução de escoamento superficial, cabe ressaltar que quanto maior o volume de chuva, maior a possibilidade de aproveitamento e captação e maior a redução do volume direcionado às redes de drenagem urbana. Além disso, quanto mais constante e longas as precipitações, mais rápido as superfícies permeáveis atingem o nível de saturação e menos água é absorvida, aumentando também a quantidade de água escoada.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

Como sugestões de trabalhos futuros, para maior detalhamento e completude do material apresentado, sugere-se a realização de um estudo de viabilidade completo acerca da instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, tanto na instituição de ensino avaliada, quanto em outras, que devido utilizarem água de rede tarifada, podem apresentar grande economia e retorno de investimento. Além disso, é importante avaliar o comportamento de cada estrutura nesses sistemas, uma vez que no Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA pode-se observar a presença de diversos tipos de estruturas diferentes, como metálicas e convencionais, analisando a diferença comportamental das mesmas ao sistema implantado.

Outro fator a ser melhor estudado é o uso de sistemas não convencionais de captação de água de chuva, como o uso de pavimento permeável, uma vez que o local de estudo conta com grande parte de áreas direcionada ao estacionamento de veículos. Além disso, pode-se

também avaliar se esses métodos promovem maior ou menor redução do escoamento superficial na região.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos: NBR 15527.** 2007.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação: NBR 13969.** 1997.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações prediais de águas pluviais: NBR 10844.** 1989.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalação predial de água fria: NBR 5626.** 1998.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público: NBR 12217.** 1994.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Válvula de Descarga para Limpeza de Bacias Sanitárias – Requisitos e Métodos de Ensaio: NBR 15857.** 2011.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Água: Fatos e Tendências.** 2ª Edição. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao\\_2.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf)>. Acesso em: 06 de março de 2018.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2013.
- ARGOLO, Eduardo D. **Simulações e modelagem hidrológica de microbacia urbana para previsão de inundações: o caso do Rio das Antas na cidade de Anápolis – GO.** Centro Universitário de Anápolis UniEvangélica. Anápolis, 2015.
- BRAGA, Benedito. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: Os desafios do desenvolvimento sustentável.** 2ª Edição. São Paulo: Pearson, 2005.
- BRASIL, Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.** 2007. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/553661.pdf>> Acesso em: 31 de maio de 2018.
- BRASIL, lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** 2017.
- BRASIL, Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Decreta o Código de Águas.** 1934. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em: 31 de maio de 2018.

CABÓ, Eucárice. **Alagamentos e inundações em Anápolis. De quem é a culpa?** Blog Educação Ambiental. 2010. Disponível em: <<http://semectambiental.blogspot.com.br/2010/12/as-fortes-chuvas-que-cairam-sobre-o.html>> Acesso em: 07 de março de 2018.

CÂNDIDO, João R. S. **Modelação dinâmica de sistemas de drenagem em meio urbano.** Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa. Dezembro, 2013.

CANHOLI, Aluísio P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

COLÉGIO-WEB. **Matéria: Como evitar inundações – Dicas para o bem-estar.** Disponível em: <https://www.colegioweb.com.br/wp-content/uploads/2014/03/Inunda%C3%A7%C3%B5es.jpg>. Acesso em 30 de Outubro de 2018.

DONOSO, Verônica G. **Quadro de paisagismo brasileiro – Sistemas de espaços livres: Anápolis, o processo que compõe a cidade.** 1ª Oficina. Anápolis, 2016.

DORNELLES, Fernando. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde - Brasil. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília, 2014.

GHANAYEM, M. Considerações ambientais em relação à captação de água da chuva. Palestina, Instituto de Pesquisa Aplicada-Jerusalém. Em: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, Manheim, 2001. Alemanha, 2001

GRASSI, Marco T. **As águas do planeta terra - Cadernos temáticos de Química Nova na Escola.** Paraná: Edição Especial, 2001.

GRIBBIN, Jhon E. **Introdução à Hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais - Tradução.** 3ª Edição. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

HAGEMANN, Sabrina E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso.** Universidade de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2009.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Históricos de Precipitação.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 23 de setembro de 2018.

KOBYIAMA, M. **Aproveitamento de Água de Chuva.** Ed. Organic Trading. 1ª Edição. Curitiba, 2002.

LAPAGEO – Laboratório de Pesquisas Avançadas e Geoprocessamento. **Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPSTMA).** Centro Universitário de Anápolis – Unievangélica. Goiás. 2018.

LOU, Rodrigo F. **Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do Rio Piabanha - Rio de Janeiro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

MIGUEZ, Marcelo G. *et al.* **Drenagem urbana: do projeto à sustentabilidade**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MMA, Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. **Define os critérios para a classificação de águas destinadas à recreação de contato primário**. 2000. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html> > Acesso em: 31 de maio de 2018.

MMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> > Acesso em: 31 de maio de 2018.

MOLINARI, Deivison C. *et al.* **Capacidade de infiltração de água no solo no distrito industrial II Manaus - Amazonas**. Manaus, 2004.

PARAÍBA, News. **Em 4 anos, secas e inundações afetam 55,7 milhões de brasileiros**. Disponível em: <http://www.newsparaiba.com.br/2017/12/em-4-anos-secas-e-inundacoes-afetam-557.html>. Acesso em 30 de outubro de 2018.

RENDEIRO, José E. **Sustentabilidade: Aproveitamento de Águas pluviais**. Disponível em: <http://blog.construir.arq.br/aproveitamento-aguas-pluviais/>. 2013. Acesso em 30 de outubro de 2018.

SANEAGO – Saneamento de Goiás. Resolução Normativa nº 0125/2018. Dispõe sobre a proposta de reajuste sanitário da empresa Saneamento de Goiás S/A. 2018.

SOUZA, Vladimir C. B. **Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, 2013.

TESTON, Andréa. **Impacto do aproveitamento de água da chuva na drenagem: estudo de caso de um condomínio horizontal em Curitiba – Paraná**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

TOMAZ, Plínio. **Previsão de Consumo de Água: Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos**. São Paulo: Navegar, 2000.

TOMAZ, Plínio **Aproveitamento de água de chuva de cobertura em área urbana para fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2005.

TUCCI, Carlos E. M. *et al.* **Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2007.

UNESCO, UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas – WWAP. **Encarando os Desafios: Estudos de Caso e Indicadores.** Relatório Mundial Sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. Paris, 2015.

UNIMAPS – **Sistema de Mapeamento da Unievangélica.** Disponível em: <http://ftt.unievangelica.edu.br/unimaps/app/site/view/index>. Acesso em: 20 de julho de 2018.

VASCONCELOS, Leonardo F. *et al.* **Captação de água de chuva para uso domiciliar: estudo de caso.** Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2007.

ZERBINATTI, Oberdan E. *et al.* **Qualidade da água proveniente da chuva coletada em diferentes tipos de telhados.** Espírito Santo do Pinhal, 2011.