UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECIV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

ALESSANDRO RODRIGUES DE AMORIM

Aproveitamento de água de chuva como instrumento de melhoria do abastecimento de água e de diminuição de riscos de deslizamento de terra em morro do Recife-PE.

Recife-PE,
2023

ALESSANDRO RODRIGUES DE AMORIM

Aproveitamento de água de chuva como instrumento de melhoria do abastecimento de água e de diminuição de riscos de deslizamento de terra em morro do Recife-PE.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Sávia Gavazza
Co-Orientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos

Recife-PE
2023

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Amorim, Alessandro Rodrigues de.
Aproveitamento de água de chuva como instrumento de melhoria do abastecimento de água e de diminuição de riscos de deslizamento de terra em morro do Recife-PE / Alessandro Rodrigues de Amorim. - Recife, 2024.
90f.: il.

Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação Engenharia Civil, 2023.
Orientação: Sávia Gavazza.
Coorientação: Sylvana Melo dos Santos.

1. Simulação; 2. Qualidade de água; 3. Balanço Hídrico. I. Gavazza, Sávia. II. Santos, Sylvana Melo dos. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central CDD 624

ALESSANDRO RODRIGUES DE AMORIM

Aproveitamento de água de chuva como instrumento de melhoria do abastecimento de água e de diminuição de riscos de deslizamento de terra em morro do Recife-PE.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Sávia Gavazza
Co-Orientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos

Aprovado em: 19/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

_____

Profª. Drª Bruna Scandolara Magnus (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

_____

Profª. Drª. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

_____

Drª. Shyrlane Torres Soares Veras (Examinadora Externa)
Agea Saneamento

Dedico este trabalho a todos que passaram em
minha vida e que de alguma forma
contribuíram para eu chegar aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todo apoio e proteção ao longo dos anos e por possibilitar a realização deste sonho.

Aos meus pais, Roberta e Alessandro, por todo apoio ao longo dos anos, carinho, cuidado e amor.

A minha namorada, que foi uma das maiores incentivadoras a realização deste sonho e que esteve sempre ao meu lado em momentos de insegurança.

As minhas orientadoras, Sávia Gavazza e Sylvana Santos, que incentivaram e apoiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de pesquisa, que ao longo dos anos dividiram os problemas e as conquistas acerca do estudo sobre a água de chuva.

Aos colegas de laboratório, que dividiram as angústias, as dificuldades e estiveram em momentos importantes na minha vida.

Aos técnicos do laboratório, por todo o suporte e auxílio ao longo dos anos.

Ao CNPQ, que fomentou minha bolsa de estudos em parte do mestrado (Processo: 163540/2021-7).

Ao projeto de pesquisa “Morro de Vontade”, que compartilharam o sonho de poder levar dignidade e segurança aos moradores de área de morro.

A FACEPE, pelo apoio ao projeto “Morro de Vontade” que possibilitou a compra de equipamentos e materiais necessários para esta pesquisa.

E, por fim, a todos que de alguma forma passaram em minha vida e auxiliaram nessa jornada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

O déficit hídrico é uma realidade no Brasil, especialmente na região Nordeste pois, além da distribuição irregular de corpos d'água, a região enfrenta desafios como alta temperatura e baixa pluviometria. Então, a utilização de fontes alternativas de abastecimento de água se torna cada vez mais necessária, destacando-se a utilização de água de chuva. Amplamente utilizada nas regiões semiáridas, a água de chuva também pode ser utilizada em áreas urbanas, impactando diretamente na mitigação de outros problemas, como alagamentos e deslizamentos. Assim, este trabalho teve por objetivo investigar o impacto da retenção da água de chuva no lote em área urbana. Foram realizados três balanços hídricos de oferta-consumo de água a partir de simulações de cenários em uma área de morro localizada na cidade do Recife-PE. Na realização do primeiro balanço hídrico, foi verificada a oferta-consumo de água em uma única residência, onde foi considerado o abastecimento por água de chuva em dois intervalos de tempo. Para a segunda e terceira simulação foram realizados o cálculo de balanços hídricos considerando toda a bacia do morro e as variáveis do ciclo hidrológico. No cálculo do escoamento superficial foi utilizado o método racional para a simulação 2 e para a simulação 3 foi utilizado o método SCS-CN, bem como informações derivadas de um mapeamento com emprego de aeronaves remotamente pilotadas (drones). Ambas foram realizadas em linguagem de programação em período quinzenais, sendo considerado para o 1° período de estudo chuvas atípicas e para o 2° período, chuvas típicas de inverno. Por fim, foi realizado o monitoramento, ao longo de 13 semanas, da qualidade da água de abastecimento de três casas localizadas na área de estudo. Os resultados das simulações indicaram que o abastecimento com água de chuva poderia suprir a demanda em 48% e 81% dos dias, com percentual correspondente de retenção de água no lote de 48% e 21% ao analisar a simulação 1. Para a simulação 2, apresentou resultado de redução de cerca de 12% do volume precipitado para o 1° período de estudo e 45% para o 2° período de estudo. Para a simulação 3, as simulações apresentaram resultados de redução de 7% do volume escoado que deixa de ser lançado na rede de drenagem urbana para o primeiro período de estudo e cerca de 39% para o 2° período de estudo. A qualidade da água na área estudada apresentou irregularidades em todas as residências, variando conforme a fonte de abastecimento, indicando a necessidade de medidas para garantir a segurança hídrica na região. Portanto, a utilização de água de chuva pode favorecer o abastecimento de água da região, atenuando a desigualdade de abastecimento e mitigação de problemas urbanos.

Palavras-chave: Simulação; Qualidade de água; Balanço Hídrico.

ABSTRACT

Water deficit is a reality in Brazil, especially in the Northeast region because, in addition to the irregular distribution of water bodies, the region faces challenges such as high temperatures and low rainfall. Therefore, the use of alternative sources of water supply becomes increasingly necessary, particularly the use of rainwater. Widely used in semi-arid regions, rainwater can also be used in urban areas, directly impacting the mitigation of other problems, such as flooding and landslides. Therefore, this work aimed to investigate the impact of rainwater retention on the plot in an urban area. Three water supply-consumption water balances were carried out based on scenario simulations in a hilly area located in the city of Recife-PE. When carrying out the first water balance, the supply-consumption of water in a single residence was verified, where rainwater supply was considered in two time intervals. For the second and third simulation, water balances were calculated considering the entire hill basin and the variables of the hydrological cycle. In calculating surface runoff, the rational method was used for simulation 2 and for simulation 3 the SCS-CN method was used, as well as information derived from mapping using remotely piloted aircraft (drones). Both were carried out in programming language fortnightly, considering atypical rains for the 1st study period and typical winter rains for the 2nd period. Finally, the quality of the water supply to three houses located in the study area was monitored over 13 weeks. The simulation results indicated that rainwater supply could meet demand on 48% and 81% of days, with a corresponding percentage of water retention in the batch of 48% and 21% when analyzing simulation 1. For simulation 2 , showed a reduction of around 12% in the precipitated volume for the 1st study period and 45% for the 2nd study period. For simulation 3, the simulations showed results of a reduction of 7% in the flow volume that is no longer released into the urban drainage network for the first study period and around 39% for the 2nd study period. The water quality in the studied area showed irregularities in all homes, varying according to the supply source, indicating the need for measures to guarantee water security in the region. Therefore, the use of rainwater can favor the region's water supply, alleviating supply inequality and mitigating urban problems.

Keywords: Simulation; Water quality; Hydric balance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Condutividade hidráulica x Umidade 30

Figura 2 - Tanque classe A. 32

Figura 3 - Evaporimétro de Piché (Atmômetro). 32

Figura 4 – Esquema de um lisímetro. 33

Figura 5 - Impactos da urbanização para as águas urbanas. 35

Figura 6 - Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico. 36

Figura 7 - Área de estudo. 39

Figura 8 - Classificação dos materiais encontrados na cobertura da área de estudo. 41

Figura 9 - Fluxograma do balanço hídrico. 48

Figura 10 – Precipitação, em mm, utilizada no balanço hídrico 2. 45

Figura 11 - Consumo de água por residência. 46

Figura 12 – Indicação ilustrativa dos pontos de coleta de água (P1, P2, P3). 49

Figura 13 - Indicação ilustrativa dos níveis dos pontos de coleta de água (Casa 1, Casa 2, Casa 3). 49

Figura 14 - Classificação dos materiais encontrados. 50

Figura 15 – Precipitação em maio de 2022. 51

Figura 16 – Precipitação em junho de 2022. 51

Figura 17 - Precipitação anual (de junho de 2021 a maio de 2022). 52

Figura 18 – Pluviometria de 24/05 a 07/06/22. 54

Figura 19 - Intensidade pluviométrica de 24/05 a 07/06/22. 55

Figura 20 - Pluviometria de 12/06 até 26/06/2022. 55

Figura 21 - Intensidade pluviométrica de 12/06 até 26/06/2022. 56

Figura 22 - Precipitação equivalente 1 57

Figura 23 - Precipitação equivalente 2 57

Figura 24 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 2 (período 1). 59

Figura 25 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 2 (período 2). 60

Figura 26 - Coeficientes de escoamento superficial (período 1). 62

Figura 27 - Coeficiente de escoamento superficial (período 2)..... 62

Figura 28 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 3 (período 1). 64

Figura 29 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 3 (período 2). 65

Figura 30 – - Pluviometria de 24/05 até 07/06/2021. 67

Figura 31 - Intensidade pluviométrica de 24/05 até 07/06/2021. 67

Figura 32 - Precipitação equivalente. 68

Figura 33 - Coeficiente de escoamento superficial (período 3)..... 68

Figura 34 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia 3° simulação (3° intervalo) 70

Figura 35 - Ficha de visitas dos agentes de saúde. 76

Figura 36 – Reservatório de água da casa 3 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de água no Brasil. 17

Tabela 2 - Padrão organoléptico de potabilidade. 23

Tabela 3 - Classificação das partículas minerais 30

Tabela 4 - Coeficiente de escoamento superficial por material da superfície. 46

Tabela 5 - Coeficientes CN. 47

Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos investigados e respectivas metodologias. 48

Tabela 8 – Resumo do balanço hídrico 1. 53

Tabela 9 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 2 (período 1). 58

Tabela 10 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 2 (período 2). 59

Tabela 11 - Dados de entrada e resultados – balanço hídrico 3 (período 1). 63

Tabela 12 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 3 (período 2). 64

Tabela 13 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 3 (período 3). 69

Tabela 14 - Análise de água casa 1, realizada em 2023. 72

Tabela 15 - Análise de água casa 2, realizada em 2023. 73

Tabela 16 - Análise de água casa 3, realizada em 2023. 74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

2 OBJETIVOS 16

2.1 OBJETIVO GERAL 16

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 17

3.1 ACESSO À ÁGUA POTÁVEL 17

3.2 FONTES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO 18

3.2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 19

3.2.2 CARROS PIPA 20

3.2.3 ÁGUA DA CHUVA 21

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO 22

3.4 DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA 24

3.5 REGULAMENTAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA 25

3.5.1 REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS 25

3.5.2 REGULAMENTAÇÕES NACIONAIS 26

3.5.3 REGULAMENTAÇÕES ESTADUAIS E MUNICIPAIS 26

3.6 CICLO HIDROLÓGICO 27

3.7 IMPACTOS DA PRECIPITAÇÃO EM ÁREAS URBANIZADAS 34

3.8 IMPACTOS DA CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA SOBRE A DRENAGEM URBANA 36

3.9 LEVANTAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS 38

4 MATERIAIS E MÉTODOS 39

4.1 ÁREA DE ESTUDO 39

4.2 MAPEAMENTO COM DRONES 40

4.3 BALANÇOS HÍDRICOS 40

4.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO LOCAL 48

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 50
5.1 MAPEAMENTO COM DRONES 50
5.2 BALANÇO HÍDRICO 1 51
5.2.1 PRECIPITAÇÃO 51
5.2.2 SIMULAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA 52
5.3 BALANÇO HÍDRICO 2 54
5.3.1 PRECIPITAÇÃO 54
5.3.2 VOLUME DE EXTRAVASSAMENTO 56
5.3.3 APLICAÇÃO NO SOFTWARE 57
5.4 BALANÇO HÍDRICO 3 61
5.4.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL 61
5.4.2 APLICAÇÃO NO SOFTWARE 62
5.5 COMPARATIVO DOS BALANÇOS HÍDRICOS 2 E 3 65
5.6 ANÁLISES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA ÁREA DE ESTUDO 70
6 CONCLUSÃO 78
7 REFERÊNCIAS 80

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma problemática enfrentada mundialmente, e é uma preocupação da atualidade. No Brasil e no mundo, o acesso à água tratada bem como a coleta e tratamento do esgoto são as principais preocupações para o estabelecimento de uma sociedade mais justa e sustentável. Ao mesmo tempo, é frequente os problemas relacionados ao clima, como enchentes ou secas extremas. Além disso, há uma grande contaminação dos corpos hídricos, que dificultam e encarecem o abastecimento de água para a população. Por outro lado, os sistemas convencionais de abastecimento comumente apresentam problemas no funcionamento, como as perdas de água, sendo que essas podem ser decorrentes de pressões elevadas, corrosão e infraestrutura envelhecida, que podem ocorrer ao longo da rede de distribuição de água (SHABANGU; HAMAM; ADEDEJI, 2020) e também relacionadas a ligações clandestinas, submedição e vazamentos (SNIS, 2021).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o índice de perdas nos sistemas de distribuição de água no Brasil vem crescendo ao longo dos anos, sendo esse índice, em 2022, de 37,8%. Em Pernambuco, as perdas dessa natureza chegam a 48,5% (SNIS, 2023). Tal situação é recorrente em vários países, Schouten e Halim (2010) demonstram que no setor global 48 bilhões m^3 de água são distribuídos sem sua devida cobrança e, cerca de ⅔ desse volume é perdido na rede de distribuição, sendo estimado cerca de US$ 14,6 bilhões em custos com as perdas de água anuais. No caso do nordeste brasileiro, o mesmo sofre com a falta de água em consequência de alguns fatores, como a geografia da região aliado a condições hídricas desfavoráveis, com evapotranspiração elevada e índices pluviométricos baixos (KOCH *et al.*, 2020; YAKIR; MORIN, 2011). Complementarmente, a falta de planejamento estratégico afeta diretamente os sistemas de abastecimento de água (CÔRTES *et al.*, 2015). Daí, a investigação de novas tecnologias para o abastecimento de água um fator importante para contribuir com a sustentabilidade na gestão da água, minimizando os impactos ambientais. De forma geral, as soluções alternativas de abastecimento de água objetivam reduzir a pressão sobre os recursos hídricos e aumentar a resiliência do sistema. Nesse contexto, a utilização de sistemas de captação de águas pluviais agrega esses benefícios ao sistema de abastecimento convencional (NASERISAFAVI; YAGHOUBI; SHARMA, 2022).

No Brasil, a captação, preservação e aproveitamento dos recursos hídricos são incentivados através da Lei 9.433 (BRASIL, 1997), conhecida como “Lei das águas”. No entanto, a água da chuva foi reconhecida como recurso hídrico apenas em 2017, através da Lei 13.501 (BRASIL, 2017). Alves *et al.* (2014) preconizam que a utilização de água de chuva para

abastecimento de água, em condições de potabilidade, tem potencial de contribuir efetivamente em cenários de escassez hídrica e/ou insuficiência de abastecimento. Os autores, porém, destacam ser necessário a realização de tratamento para a remoção completa de patógenos. Existem algumas formas de minimizar a presença dos patógenos da água, Carvalho *et al.* (2018) destaca o sistema DesviUFPE para o desvio do primeiro milímetro da água de chuva, que apresenta eficiência de 96% na remoção de coliformes totais, eliminação total de *E. Coli* e diminuição nos parâmetros de cor e turbidez.

Além da contribuição para a universalização do abastecimento de água, a utilização da água de chuva pode contribuir para o enfrentamento de desastres naturais. Isso pode ser observado, por exemplo, na Região Metropolitana do Recife (RMR), que apresenta recorrentes problemas com alagamentos, deslizamentos de terras e mobilidade urbana, em consequência da crescente urbanização da área, com diminuição das áreas permeáveis e aumento do escoamento superficial, bem como mau funcionamento do sistema de drenagem urbana (PARISI; SOARES; ROSA FILHO, 2020). Entretanto, para a implementação de um sistema de captação de água da chuva em grandes áreas, é necessário o planejamento, estudo do terreno e validação através de simulações de eventos climáticos. No entanto, os recursos de mapeamento obtidos por sensoriamento remoto tradicionais podem não atender satisfatoriamente a necessidade de maior detalhamento do local pela baixa resolução espacial, o que inviabiliza a distinção, com precisão, dos materiais impermeáveis e permeáveis (BHATNAGAR; GILL; GHOSH, 2020).

Os *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs), mais comumente conhecidos como drones, podem ser utilizados na localização automática e precisa de telhados de edificações e para o mapeamento do ambiente tridimensional de uma região (ALZARRAD *et al.*, 2021), facilitando as validações da área. Além disso, é uma tecnologia de custo relativamente baixo, quando comparado com os métodos tradicionais, e flexível, podendo realizar voos específicos para pequenas áreas, obtendo um mapeamento com resolução superior aos métodos convencionais (BHATNAGAR; GILL; GHOSH, 2020).

Desta forma, o presente trabalho apresenta tem como finalidade a promoção da captação de água da chuva para abastecimento humano e mitigação de desastres naturais em áreas urbanas da cidade do Recife. Através de classificações das coberturas superficiais do Córrego da Telha, utilizando mapeamento com drone e produzindo simulações de utilização de água da chuva.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visa avaliar, por meio do balanço hídrico, o impacto que a retenção da água de chuva no lote exerce sobre o abastecimento de água para fins potáveis e sobre a redução de riscos de deslizamento de terra no Córrego da Telha, morro localizado na cidade de Recife-PE

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Caracterizar a pluviometria local para definição das precipitações extremas e recorrentes.
b) Avaliar a disponibilidade de armazenamento da água de chuva em eventos pluviométricos de grande intensidade e de intensidade recorrente.
c) Realizar o balanço hídrico considerando diferentes cenários de consumo e a interação das variáveis do ciclo hidrológico.
d) Avaliar o impacto da retenção da água de chuva no lote na redução de escoamento superficial e infiltração no solo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os problemas de acesso à água potável no mundo e uma abordagem sobre as fontes alternativas de abastecimento, bem como, noções de qualidade de água e doenças de veiculação hídrica. Além disso, serão apresentadas as normativas e incentivos existentes sobre a utilização de água da chuva. Os impactos referentes a precipitação sobre as áreas urbanizadas e os impactos da captação de água da chuva sobre a drenagem urbana, assim como, os demais processos do ciclo hidrológico. Por fim, serão retratados aspectos relevantes sobre mapeamento cartográfico, inclusive com a utilização de drones e levantamento geomorfológico de Pernambuco.

3.1 ACESSO À ÁGUA POTÁVEL

A deterioração dos recursos hídricos vem acontecendo de forma descontrolada ao longo dos anos, sendo imprescindível a existência de políticas públicas que propiciem maior controle e proteção desses recursos (OLIVEIRA-ANDREOLI *et al.*, 2019). Dessa forma, o uso descontrolado da água pode causar impactos negativos na gestão dos recursos hídricos e no abastecimento urbano (LERNER; HARRIS, 2009). De acordo com Godskesen *et al.* (2013), no cenário mundial, as indústrias, a agricultura e o abastecimento humano são os principais responsáveis pelo consumo de água. Na Tabela 1, observam-se os percentuais de consumo da água.

Tabela 1 - Consumo de água no Brasil.

Tipo de uso	Percentual
Irrigação	49,80%
Uso humano (Urbano)	24,30%
Indústria	9,70%
Uso animal	8,40%
Termelétricas	4,50%
Mineração	1,70%
Uso humano (Rural)	1,60%

Fonte: Adaptado ANA (2023).

No Brasil, segundo o SNIS (2023), 84,9% dos brasileiros dispõem de abastecimento regular de água. No entanto, cerca de 30 milhões de pessoas não têm acesso à água encanada. Essa divisão se mostra desigual ao longo do território brasileiro, sendo que o menor percentual de abastecimento ocorre nas regiões norte e nordeste, e são, respectivamente, 64,2% e 76,9%.

Sobre isso, segundo a *World Health Organization* (WHO), cerca de 1 em cada 4 pessoas, no mundo, não tem acesso à água potável em casa e cerca de 46% não têm acesso ao saneamento (WHO; UNICEF, 2021).

Na região Nordeste, o maior percentual de pessoas que não tem acesso à água, estão localizadas na região do semiárido, principalmente em zonas rurais. Em Pernambuco, segundo o SNIS (2021), o índice de abastecimento urbano (população da área urbana com abastecimento de água divido pela população total da área urbana) é de 94,4%. Em sua capital, Recife, o índice total de atendimento de água de 83,37% (população total com abastecimento dividido pela população total da cidade) e o índice de atendimento urbano de água de 94,17%, tendo essas informações sido obtidas pelo banco de dados do SNIS de 2021 (http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#).

Diante do exposto, evidencia-se a necessidade de uso mais eficiente dos recursos naturais existentes, de mudança na sociedade na utilização de água e nos hábitos industriais, como forma de se utilizar novas cadeias produtivas e sustentáveis de água (CARVALHO *et al.*, 2018). Essas fontes suplementares ao sistema de abastecimento tradicional somam esforços para aumentar a oferta de água e, consequentemente, contribuir com a universalização do abastecimento.

3.2 FONTES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO

Segundo Garrick *et al.* (2019), aproximadamente 1/3 das cidades de todo o mundo que dependem da água superficial enfrentam concorrência com a agricultura, que usa por volta de 72% das captações globais de água doce. A competição por água doce entre as cidades e a agricultura deverá aumentar devido à rápida urbanização; com isso, a demanda hídrica urbana deverá aumentar em 80% até 2050 (FLÖRKE; SCHNEIDER; MCDONALD, 2018). Existem diversas fontes secundárias de abastecimento que vêm sendo utilizadas ao longo dos anos, tais como: águas subterrâneas, reuso de efluentes e água da chuva. Uma outra forma recorrente, principalmente em áreas onde não existe sistema de abastecimento de água é o transporte de água através de carros pipa, que também fará parte deste tópico como fontes alternativas de abastecimento.

3.2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água subterrânea compreende metade do volume da água captada para uso doméstico em todo o mundo, e cerca de 25% de toda a água captada para a irrigação. Muitos desses aquíferos estão sob estresse, na maioria das vezes em áreas com captação intensiva de águas subterrâneas para a irrigação ou para abastecer grandes cidades (UNITED NATIONS, 2022).

De acordo com Datta (2019), alguns aquíferos estão em ambientes geológicos e climáticos onde o bombeamento de águas subterrâneas pode ser mantido indefinidamente, porque a recarga durante os períodos úmidos, até certo ponto, equilibra a retirada durante os períodos secos. No entanto, muitos desses aquíferos são rasos e são particularmente vulneráveis à contaminação, o que é uma preocupação fundamental para proteger a qualidade das águas subterrâneas. O autor ainda discorre que no outro extremo está a "água fóssil" de aquíferos sem recarga ou com recarga muito limitada. Para esses sistemas, os problemas se concentram na quantidade de água subterrânea que é economicamente recuperável. Assim, muitas vezes apenas uma pequena parte do total desse recurso pode ser usado sem efeitos significativos.

O esgotamento a longo prazo das águas subterrâneas tem sido observado em inúmeros aquíferos, predominantemente localizados em zonas semiáridas e áridas, onde muitas vezes constitui uma grande ameaça ao uso sustentável das águas subterrâneas para irrigação (JASECHKO *et al.*, 2024; MSELI *et al.*, 2023). A taxa de esgotamento global do armazenamento de águas subterrâneas é considerável, para o início do século atual, segundo Bierkens *et al.* (2019), e as estimativas estão entre 100 e 200 km^3/ano.

As realidades hidrogeológicas, socioeconômicas e político-institucionais dos sistemas aquíferos precisam ser consideradas juntamente com a forma como são usados e gerenciados. Os impactos negativos nas águas subterrâneas podem permanecer invisíveis por anos, e os limites físicos do aquífero são invisíveis tanto para os usuários quanto para os tomadores de decisão. Como resultado, os riscos e problemas associados a este recurso muitas vezes são negligenciados (UNITED NATIONS, 2022).

O Brasil é um país rico em águas subterrâneas. Estima-se segundo o estudo de (HIRATA *et al.*, 2019), que existem cerca de 2,5 milhões de poços espalhados pelo país, abastecendo cerca de 52% das cidades brasileiras, sendo 36% das cidades de forma parcial e 16% de forma total. Segundo Chaves *et al.* (2022), em Pernambuco, a utilização das águas subterrâneas tem sido cada vez mais necessária, devido os longos períodos de estiagem do estado terem afetado os mananciais superficiais. De acordo com um estudo conduzido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2024), em dezembro de 2023, em Pernambuco, havia um

total de 43.209 poços registrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Somente na cidade do Recife, no mesmo ano de referência, haviam 2.068 poços cadastrados e 936 poços consistidos. No entanto, Chaves *et al.* (2022) relataram que na RMR nos anos de 2013 até 2019 existiam 289 poços outorgados, ou seja, com o direito de utilização das águas subterrâneas. Desses, 173 apresentavam ótima qualidade e 87 estavam fora do padrão de potabilidade. Desta forma, as águas subterrâneas desempenham um papel fundamental no ciclo hidrológico e representam fontes significativas a serem levadas em consideração para o abastecimento e consumo da população.

3.2.2 CARROS PIPA

A utilização de água proveniente de carros pipa é muito recorrente em áreas afastadas dos grandes centros, constituindo, muitas vezes, a única possibilidade de fazer chegar o abastecimento à população que não é beneficiado por outro sistema de abastecimento de água. No Brasil, desde o ano de 1998, a distribuição de água por meio de carros pipa é financiada pelo governo federal no âmbito de um projeto nomeado, atualmente, como Operação Carro-Pipa (MARDER, 2019).

Marder (2019) comenta que o planejamento, a articulação, a coleta, o transporte e a distribuição de águas com o uso de carros pipa são de responsabilidade do exército brasileiro. O autor ainda comenta que as áreas contempladas com o programa são todas na região do semiárido nordestino, além de parte dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo. Embora seja uma fonte muito utilizada para abastecimento de água frente à indisponibilidade hídrica e, por ser uma forma rápida e de fácil transporte, o uso de carros pipa está, comumente, associado à água de menor qualidade, pois, segundo Mendonça *et al.* (2017), pode apresentar potencias riscos à saúde quando não se faz o controle necessário do seu transporte.

O estudo realizado por Nery *et al.* (2021) mostra análises de água provenientes de carros pipas realizados na cidade de Cubati, no estado da Paraíba, em dois períodos: o chuvoso (de abril a junho de 2018) e o seco (de novembro a dezembro de 2018). De acordo com os autores, em todas as amostras foi possível encontrar a presença de *E. coli*. Outro estudo, realizado por Mendonça *et al.* (2017), na cidade de Caruaru, em Pernambuco, observaram um percentual de cerca de 90% das amostras de carros pipa fora das normativas estipuladas pelo Ministério da Saúde, tendo sido observado a presença de coliformes totais (<2 a >1600NMP/100mL), coliformes termotolerantes (<2 a 90 NMP/100mL), *Pseudomonas aeroginosa* (<2 a 90 NMP/100mL) e bactérias heterotróficas (2817 a 4734 UFC/mL).

3.2.3 ÁGUA DA CHUVA

Existem evidências que comprovam o uso de água da chuva há milhares de anos como, por exemplo, no palácio de Knossos, localizado na ilha de Creta, na Grécia, em 2000 a.C. e, também, na Mesopotâmia 2750 a.C. Muito distante disso, o primeiro local a ser datado historicamente da utilização de água de chuva no Brasil, foi no forte são Marcelo em Salvador, na Bahia no ano de 1664 (TOMAZ, 2003).

No contexto mundial, a prática de acumulação de água da chuva é mais recorrente em regiões áridas que não apresentam viabilidade de implementação de sistemas tradicionais de abastecimento (SAZAKLI; ALEXOPOULOS; LEOTSINIDIS, 2007). Como é o caso do semiárido brasileiro que, além dos fatores citados, ainda apresenta baixas precipitações ao longo do ano. Destaca-se que a utilização de água de chuva na região Nordeste sempre foi uma prática comum, porém, ganhou maior notoriedade através do Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC), que posteriormente foi renomeado como Programa Água para Todos. Segundo a Articulação do Semiárido (ASA, 2023), o referido Programa construiu mais de 615 mil cisternas, beneficiando mais de 3 milhões de pessoas entre 2003 e 2018.

A água de chuva apresenta naturalmente alta qualidade, porém, até atingir a superfície de captação, encontra diversos pontos críticos de contaminação, tais como atmosfera, sistema de captação e sistema de armazenamento (ALVES *et al.*, 2014; ANNECCHINI, 2005). Por isso, tradicionalmente, a água da chuva é normalmente utilizada na jardinagem, na lavagem de carros, pisos e descargas (CAMPISANO *et al.*, 2017). No entanto, originalmente, a água de chuva é um recurso que pode ser utilizado para consumo humano, tanto para fins potáveis como não potáveis, uma vez que, está livre de muitos poluentes que são encontrados tradicionalmente em águas superficiais e subterrâneas (CARVALHO *et al.*, 2018). Como, por exemplo, os resíduos de medicamentos.

Existem diversos tratamentos para água de chuva. Os mais recorrentes são: utilização de telas, de filtros e de desvio dos primeiros milímetros da precipitação. Com unanimidade, o desvio dos primeiros milímetros da água da chuva é a forma mais eficiente na melhoria da qualidade da água. O desvio evita o acúmulo de partículas e sedimentos nos reservatórios, bem como problemas com odor e estética da água (ABBASI; ABBASI, 2011; ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009; DESPINS; FARAHBAKHSH; LEIDL, 2009).

Estudos desenvolvidos na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) mostraram que com a utilização do desvio do primeiro milímetro por um equipamento chamado DesviUFPE, foi possível reter em seu interior as impurezas responsáveis pela limpeza da atmosfera e do

sistema de captação (telhas e calhas), funcionando, dessa forma, como uma barreira sanitária (ALVES *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2018; LIMA, 2012). Os autores ainda mostraram, com a utilização do DesviUFPE, resultados significantes que comprovam a melhoria da qualidade da água de chuva. Foi possível observar a redução em média de 87,52% no parâmetro de cor, 88,40% no parâmetro de turbidez, 98,5% na presença de coliformes totais e a remoção de 100% de *E. coli*. Dessa forma, o desvio do primeiro milímetro potencializa a utilização da água da chuva para fins potáveis, tornando a água de chuva como um recurso hídrico viável para a implementação (CARVALHO *et al.*, 2018). Sendo, esses valores menores que os indicados pela legislação.

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A água para consumo humano é entendida como a água potável destinada à ingestão, à preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem, segundo a Portaria de consolidação n° 5/2017, com anexo XX alterado pela Portaria GM/MS n° 888/21 (MS, 2021), que estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade no Brasil. Ainda de acordo com essa Portaria, a água potável é a água que atende o padrão de potabilidade estabelecido em seu anexo e que não oferece riscos à saúde. Essa legislação se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente do sistema de abastecimento de água, solução alternativa de abastecimento de água, coletiva e individual, e carro-pipa. Nesse contexto, a água potável não deve apresentar sabor e odor, ter baixas unidades de cor aparente e turbidez, ausência de *E.coli* e coliformes termotolerantes (em 100 mL) e não conter substâncias químicas em concentrações que possam causar mal à saúde humana. Os padrões organolépticos de potabilidade estão dispostos na Tabela *2*.

A qualidade da água é avaliada de acordo com as características físicas, químicas e biológicas e são denominados parâmetros de qualidade de água. Frequentemente, os parâmetros são apresentados como concentração de certas substâncias presentes na água. Essas concentrações são importantes para a caracterização da água de acordo com sua utilização (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Além disso, os autores comentam sobre a existência de alguns tipos de microrganismos que podem indicar presença de dejetos de origem animal, que são potencialmente nocivos. Como, por exemplo, a bactéria *E.coli*, que é uma bactéria presente nos sistemas digestivos de animais de sangue quente, que normalmente não é nociva, mas que é usada como indicativo de contaminação com fezes humanas. A presença de *E.coli* e

sua concentração é medida e expressa através da concentração de coliformes fecais em Número Mais Provável (NMP) por 100 mL de água (NMP/100mL).

Países de renda baixa, média e alta mostram sinais de riscos relacionados à qualidade da água. A má qualidade da água ambiente em países de baixa renda frequentemente está relacionada a baixos níveis de tratamento de águas residuais (WWAP, 2017), enquanto em países de renda alta o escoamento ocasionado pela agricultura é um problema relativamente mais sério (UNEP, 2021).

Tabela 2 - Padrão organoléptico de potabilidade.

Parâmetro	**Unidade**	**VMP(1)**
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como N)	mg/L	1,2
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente(2)	uH	15
1,2 diclorobenzeno	mg/L	0,001
1,4 diclorobenzeno	mg/L	0,0003
Dureza total	mg/L	300
Ferro	mg/L	0,3
Gosto e odor	Intensidade	6
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,02
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	mg/L	0,05
Turbidez(3)	uT	5
Zinco	mg/L	5

Legenda: (1) Valor Máximo Permitido | (2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L) | (3) Unidade de Turbidez.
Fonte: Brasil (2021).

A emissão de produtos químicos perigosos por parte da indústria ainda ocorre em todos os continentes, e os poluentes emergentes, incluindo microplásticos e produtos farmacêuticos, continuam sendo uma preocupação crescente (UNITED NATIONS, 2021; WWAP, 2017). Sendo então necessário a verificação da qualidade da água utilizada como forma de prevenir as doenças de veiculação hídrica e outros problemas decorrentes da utilização de águas contaminadas por micropoluentes.

3.4 DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA

A falta de saneamento, assim como, a disponibilização de água de má qualidade, podem gerar grandes problemas na saúde humana. Muitos países ainda enfrentam desafios na expansão dos serviços para as áreas rurais, onde a cobertura de serviços de água potável administrados com segurança (60%) é menor do que nas áreas urbanas (86%). Pelo menos 2 bilhões de pessoas (em todo o mundo) usam uma fonte de água potável contaminada com fezes, o que as coloca em risco de contrair cólera, disenteria, febre tifoide e pólio (WHO; UNICEF, 2021). A cólera continua a afetar de maneira desproporcional as comunidades mais pobres e vulneráveis do mundo, muitas vezes ocorrendo em "focos", nos quais é limitado o acesso à água e ao saneamento administrados com segurança (UNITED NATIONS, 2023). Em 2015, estimou-se que, anualmente, havia de 1,3 milhões a 4 milhões de casos de cólera, atingindo 69 países em todo o mundo (ALI *et al.*, 2015).

A diarreia, por sua vez, é apontada como a segunda maior responsável por óbitos na infância, representando em torno de 1,5 milhões de mortes anuais de crianças de até 5 anos (UNICEF; WHO, 2009). Em dados globais, as doenças diarreicas estão entre as maiores causas de morbidade e mortalidade em países em desenvolvimento (FEWTRELL *et al.*, 2005), onde são frequentes e podem ser fatais (BOZKURT; OZGUR; OZCIRPICI, 2003), principalmente em crianças jovens (MOE; RHEINGANS, 2006). Além disso, os problemas de saúde podem ser agravados pelo aumento na frequência e intensidade de tempestades tropicais, inundações e secas devido às mudanças climáticas (OKI; KANAE, 2006). A distribuição de patógenos e a incidência de surtos de doenças transmitidas pela água estão intimamente ligadas às condições ambientais e climáticas (EL-SAYED; KAMEL, 2020). As inundações estão associadas a um risco acrescido de doença diarreica através da contaminação das instalações de água potável pela dispersão de poluentes fecais. Sendo os países em desenvolvimento, segundo Pichel, Vivar e Fuentes (2019), que têm menos recursos para mitigação e adaptação a desastres, sendo mais vulneráveis a esses impactos.

Dessa forma, o tratamento da água, higiene pessoal, condições sanitárias adequadas e vigília constante do controle da qualidade da água são formas de evitar as doenças de veiculação hídrica. A educação sanitária, o saneamento e a melhoria do estado nutricional são importantes na profilaxia das doenças. Apenas o tratamento das enfermidades não é suficiente, sendo preciso modificar o ambiente para evitar a ocorrência de crises de saúde pública (ROCHA, 2023).

3.5 REGULAMENTAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

Ao longo de toda a história, foram criadas diversas leis como forma de preservar os recursos hídricos. No entanto, ao analisar o quesito da água da chuva no Brasil, existe uma lacuna nas regulamentações. Mesmo existindo recomendações de utilização de água da chuva, ainda não existe nenhuma regulamentação nacional sobre a utilização para fins potáveis. Descreve-se a seguir regulamentações e incentivos internacionais, nacionais, estaduais e municipais acerca da utilização de água da chuva.

3.5.1 REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS

Muitos países, ao longo dos anos, vêm se preocupando com a questão da água. Taiwan, no ano de 2009, incluiu a água de chuva na Lei de água nacional, que determina que todos os edifícios com área superior a 10.000 m² devem utilizar sistemas de captação de água de chuva. Por essa ação, o governo considera a água de chuva como uma nova alternativa para o abastecimento doméstico (CAMPISANO *et al.*, 2017). O Japão, segundo De Graaf (2009), foi um dos países que mais implementaram o uso da água de chuva, e isso aconteceu devido a estimular a implementação através de regulamentações, gerando benefícios de impostos corporativos e de renda. Além disso, os interessados possuíam empréstimos a juros baixos como forma de incentivar sua utilização. Na Austrália, segundo Campisano *et al.* (2017), observa-se um dos mais altos percentuais de utilização de água de chuva. Isso se dá devido a restrições de acesso à água e descontos fornecidos pelas autoridades. Além de incentivar a utilização em edificações unifamiliares, o governo local opera sistemas de água da chuva que são utilizados para irrigação de jardins e em parques esportivos.

Outro país que se destaca na utilização de água de chuva é a Alemanha. Schuetze (2013) comenta que o uso generalizado de água de chuva acontece devido à promoção através de doações e subsídios governamentais, de forma que quase 1/3 dos novos edifícios construídos apresentam um sistema para captação e utilização de água de chuva. Além dos países citados, outros apresentam normativas e regulamentações que estabelecem incentivos para utilização de água de chuva. Como, por exemplo, a Espanha, França, Áustria, Suíça, Bélgica, Dinamarca, Suíça e Estados Unidos (CAMPISANO *et al.*, 2017). Dessa forma, é possível concluir que os incentivos governamentais de oferecer descontos, subsídios fiscais e facilidade de crédito, auxiliam na implementação de sistemas de captação pluvial.

3.5.2 REGULAMENTAÇÕES NACIONAIS

No Brasil, a primeira regulamentação de proteção aos recursos hídricos foi publicada em 1997, a Lei Federal N° 9.433 (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas e, através dela, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou diretrizes sobre a utilização da água, assim como seus objetivos. Segundo essa Lei, os objetivos do PNRH são: assegurar os recursos hídricos para as atuais e futuras gerações em disponibilidade e qualidade, a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos de origem natural ou decorrentes de uso antrópico inadequado. No entanto, essa regulamentação estava se referindo apenas aos mananciais de superfícies e águas subterrâneas. Então, em 2017, através da Lei Federal N° 13.501 (BRASIL, 2017), a Lei das Águas foi atualizada, considerando a água de chuva como um recurso hídrico. Através deste texto suplementar, a Lei das águas sanciona o incentivo e promoção à captação, à preservação e ao aproveitamento de águas pluviais (BRASIL, 2017).

Embora exista a recomendação através da Lei Federal N° 13.501, ainda existem muitos impedimentos para a implementação legal da água de chuva. Parte dos problemas foram resolvidos com a NBR 15.527 (ABNT, 2019), que estipula os procedimentos necessários para utilização de água da chuva para fins não potáveis, ou seja, através dessa norma existem recomendações de utilização de tais recursos para sistemas de resfriamento, descarga de bacias sanitárias e mictórios, lavagem de veículos, lavagem de pisos, reserva de incêndio, uso ornamental e irrigação para fins paisagísticos. No entanto, não existe nenhum tipo de comentário acerca dos usos potáveis da água de chuva. Atualmente, está em tramitação no congresso o Projeto de Lei N° 1.397 (BRASIL, 2023), que possibilita a utilização de água de chuva para abastecimento doméstico.

3.5.3 REGULAMENTAÇÕES ESTADUAIS E MUNICIPAIS

No Brasil, os municípios não têm o direito de legislar acerca da utilização da água. Uma vez que a regulamentação sobre a água é única e exclusivamente realizada pela ANA. Dessa forma, as legislações estaduais e municipais se tornam concorrentes com a nacional, não obtendo legitimidade. Ou seja, os municípios não podem criar regulamentações sobre a utilização de água de chuva para fins potáveis. Mas, podem criar diversos incentivos para a utilização da água de chuva.

No estado de São Paulo existem diversas diretrizes de incentivo à utilização de águas pluviais. No município de São Paulo, através da Lei Municipal N° 16.174 (SÃO PAULO, 2015), são estabelecidas medidas para fomento de reuso de água em aplicações não potáveis. No município de Campinas, através da Lei Municipal 12.474 (CAMPINAS, 2006), criou-se o programa de conservação, uso racional e reutilização de água em edificações. Outro município com implementação de incentivos é São José do Rio Preto, com desconto de 3% do IPTU para imóveis que adotem sistemas de reuso de águas através da Lei Municipal 10.578 (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, 2010).

No estado do Rio de Janeiro existem iniciativas municipais para utilização de água da chuva. O município de Niterói possui duas Leis Municipais, a N° 2.630 (NITERÓI, 2009) e a N° 2.856 (NITERÓI, 2011). Complementarmente, estabelecem procedimentos para o armazenamento de água de chuva visando o reaproveitamento e o retardo do pico das chuvas e estimulam a instalação de sistema de coleta e utilização em edificações públicas e privadas. Outro município fluminense é o de São Gonçalo, que através da Lei Municipal N° 348 (SÃO GONÇALO, 2011), criou um sistema de utilização de água de chuva em prédios públicos, como em escolas e hospitais.

Outro estado da região sudeste que apresenta iniciativas no quesito água de chuva é o estado do Espírito Santo, onde dispõe sobre obrigatoriedade para postos, lava jatos, transportadoras e locadoras de veículos a instalarem sistemas de captação e tratamento da água de chuva, para que essa água seja utilizada para a limpeza das frotas de veículos, através da Lei Estadual N° 9.439 (ESPÍRITO SANTO, 2010).

Pernambuco também apresenta uma lei municipal para a utilização de água de chuva. O município de Recife, capital do estado, através da Lei Municipal N° 18.112 (RECIFE, 2015), dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental por meio da obrigatoriedade da instalação de telhados verdes e construção de reservatórios de acúmulo ou retardo da água de chuva. Essa obrigatoriedade está valendo para os novos projetos de edificação habitacional multifamiliar com mais de quatro pavimentos ou para não habitacionais, com área superior a 400 m².

3.6 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação em ciclo fechado da água entre a superfície terrestre e a atmosfera (SILVEIRA, 2004). Aliados a este ciclo estão diversos processos naturais (precipitação, escoamento superficial, infiltração, evaporação e evapotranspiração), que constituem partes do balanço hídrico, que é um cálculo que tem como

objetivo encontrar a variação entre as entradas e as saídas de água em uma bacia hidrográfica (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Sendo bacia hidrográfica, um conjunto de superfícies de escoamento que convergem para um único local.

Segundo Bertoni e Tucci (2004), a precipitação é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre, nas formas de neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve. A precipitação é a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica, constituindo subsídios para a quantificação do abastecimento de água, da irrigação, do controle de inundações e da erosão do solo. Sendo considerado a principal causa dos demais processos hidrológicos e, de fundamental interesse para o dimensionamento de obras hidráulicas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015), tais como estruturas de irrigação, de drenagem urbana e de canais. Os equipamentos utilizados na medição dos volumes precipitados são os pluviômetros, que uma vez instalados possibilitam a determinação das intensidades de chuvas ao longo do dia. De acordo com os mesmos autores, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA monitora diariamente o funcionamento de 2700 unidades de pluviômetros instalados em todo o país.

O escoamento superficial ocorre em consequência da precipitação, uma vez que, conforme Collischonn e Dornelles (2015), durante as chuvas intensas, a maior parte da vazão que não consegue infiltrar no solo escoa imediatamente, atingindo os cursos d'água e aumentando a vazão do corpo hídrico. Existem vários fatores que influenciam o processo de escoamento superficial, e Tucci (2004) comenta que os principais são: relevo, cobertura da bacia, modificações artificiais no rio, distribuição, duração e intensidade da precipitação e tipo de solo. Tais características impactam na velocidade do escoamento, podendo acelerar ou retardar a ocorrência dos picos dos hidrogramas (gráfico que relaciona vazão com o tempo), bem como as respectivas magnitudes. A distribuição, duração e intensidade da precipitação é um fator muito importante para a análise do escoamento superficial. Para pequenas bacias (< 500 km²), as precipitações de alta intensidade, pequena duração e distribuída em uma pequena área, apresentam grandes chances de resultar em enchentes, e para as grandes bacias (> 500 km²), os problemas estão associados à ocorrência de precipitações em grandes áreas, com intensidade moderada e por um longo período de tempo.

Para determinação do escoamento superficial as metodologias mais utilizadas são o Método Racional e o Método da Curva Número (SCS-CN).

O método racional foi desenvolvido pelo cientista Thomas Mulvaney (PINTO *et al.*, 1976), que se baseia no uso da Equação 1, e é uma metodologia recorrente para pequenas áreas de bacia de até 2 km² (SANTOS, Luciana Cabral Costa, 2010).

$$Q = 0{,}278\text{CIA} \quad (1)$$

Onde: Q = volume de escoamento superficial da bacia (m^3/s); C = coeficiente de escoamento (-); I = intensidade (mm/h); A = área total (km^2).

O método da Curva Número foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS; USDA, 1972). E a metodologia correlaciona a retenção de água no solo após o escoamento superficial com o potencial máximo de retenção, conforme Equação 2.

$$\frac{\text{F}}{\text{S}} = \frac{\text{Q}}{\text{P}-\text{Ia}} \quad (2)$$

Onde: F = retenção de água após o início do escoamento superficial (mm); S = potencial máximo de retenção depois de iniciado o escoamento superficial (S ≥F) (mm); Q = escoamento superficial (mm); P = precipitação (mm); Ia = abstração inicial.

Considerando a relação apresentada na Equação 3, e substituindo na Equação 2, tem-se a Equação 4.

$$\text{F} = (\text{P} - \text{Ia}) - Q \quad (3)$$

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \quad (4)$$

Tradicionalmente, se adota uma abstração inicial de 20% da capacidade de armazenamento do solo, chega-se à Equação 5, sendo o valor de S estimado pela Equação 6. Sendo os valores de CN tabelados de acordo com o tipo do solo, e com seu uso e ocupação e também pela da pluviometria antecessora (últimos 5 dias).

$$Q = \frac{(P-0{,}2*S)}{(P+0{,}8S)} \quad (5)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

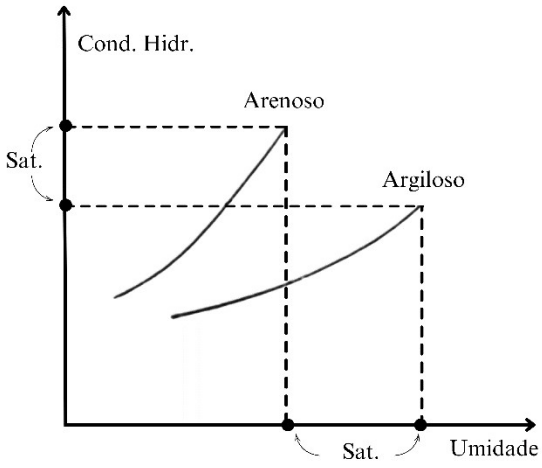
Infiltração é o processo pelo qual há a passagem de água da superfície para o interior do solo, e sofre influência direta da quantidade de água disponível para infiltrar, natureza do solo e da quantidade de água e ar no seu interior (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015; SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2004). Silveira, Louzada e Beltrame (2004) comentam que, à medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores vão aumentando o nível de saturação de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil do solo. Quando a precipitação é interrompida, o processo de infiltração cessa e a umidade do solo é redistribuída, invertendo o perfil de umidade: o solo apresenta uma maior umidade nas camadas mais inferiores e menos úmido nas camadas mais superiores. De forma geral, o solo compreende um reservatório enterrado com capacidade para o armazenamento de milhões de litros de água, que contribui naturalmente para a recarga de aquíferos e para a redução do escoamento superficial. A capacidade de infiltração, por sua vez, está diretamente relacionada com a granulometria do respectivo solo (Tabela 3) e essa com a condutividade hidráulica (Figura 1). Sobre isso, de acordo com Silveira, Louzada e Beltrame (2004), com o tamanho reduzido dos poros (solo argiloso) entre as partículas, a condutividade hidráulica decrescesse mais suavemente, favorecendo a presença da água por mais tempo.

Tabela 3 - Classificação das partículas minerais

Diâmetro (mm)	Classe
0,0002 a 0,002	Argila
0,002 a 0,02	Silte
0,02 a 0,2	Areia fina
0,2 a 2,0	Areia grossa

Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

Figura 1 - Condutividade hidráulica x Umidade



Fonte: Silveira, Louzada e Beltrame (2004).

No cálculo da infiltração, pode-se adotar uma forma simplificada, obedecendo à lei de Darcy. Tradicionalmente este dimensionamento é utilizado para o cálculo de recarga de águas subterrâneas através da infiltração. Algumas utilizações podem ser vistas nos estudos de Wei *et al.* (2022), em um estudo de recarga das águas subterrâneas na China, Dujardin *et al.* (2014), em simulações de recarga de águas subterrâneas na Bélgica, e uma modelagem realizado por Joodi *et al.* (2010), em um estudo de infiltração realizado na França.

Para a utilização da lei de Darcy, é estipulada por TUCCI (2004), Equação 7.

$$q = -K_0 . \frac{\partial H}{\partial Z} \quad (7)$$

Onde: q = densidade de fluxo/infiltração pontual (mm/h); K_0 = condutividade hidráulica (mm/h); H = potencial total da água no solo (mm); Z = distância entre os pontos considerados, (mm).

Sendo o potencial total da água, calculado pela Equação 8.

$$H = \Psi + Z \quad (8)$$

Onde: Ψ = potencial matricial da água no solo (mm); Z = potencial gravitacional da água no solo (mm).

Substituindo a Equação 8 na Equação 7, tem-se a Equação 9, que mostra que a infiltração vai ser diretamente proporcional à condutividade hidráulica (K_0) e ao segundo fator ($\partial (\Psi + Z)) / (\partial Z$), esse tende a 1, uma vez que após esse solo receber as primeiras precipitações, terá seu limite de umidade atingido, resultando na Equação 9.

$$q = -K_0 . \frac{\partial(\Psi + Z)}{\partial Z} \quad (9)$$

$$q = -K_0 \quad (10)$$

Logo, a infiltração pode ser calculada pela Equação 11.

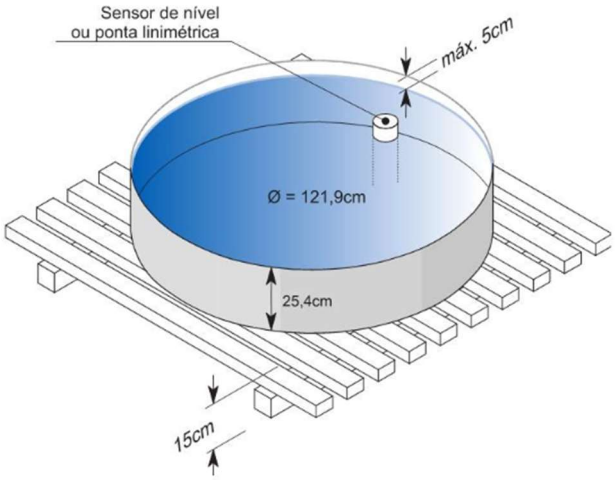
$$I = -K_0 . A \quad (11)$$

Onde: *I* = infiltração (m^3/mês); K_0 = permeabilidade do solo (m/s); A = área da bacia de contribuição (m^2)

A evaporação acontece quando a água, em sua fase líquida, é convertida em vapor e transferida para a atmosfera, naturalmente com a incidência de energia, em forma de calor, sobre os recursos hídricos. São condicionantes da quantidade de água que evapora: temperatura do ar, radiação solar, vento e pressão de vapor. Maiores volumes evaporados são esperados em temperaturas ou radiações solar maiores (TUCCI; BELTRAME, 2004), e em menores teores de umidade relativa do ar (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Os métodos mais utilizados para quantificar a evaporação do ar são os tanques classe A e o evaporímetro de Piché (atmômetro). O tanque classe A consiste em um recipiente metálico de forma circular em uma plataforma de madeira, onde a água deste recipiente fica variando ao longo do dia,

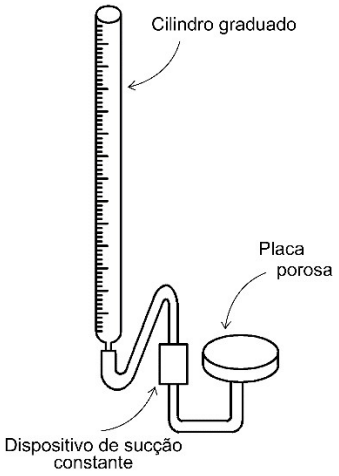
possibilitando a aferição através de uma régua ou ponta linimétrica, como é possível observar na Figura 2 e Figura 3. Já o evaporímetro de piché (Figura 3) é construído em material cilíndrico de vidro, fechado na parte superior e apresenta uma abertura na parte de baixo, que é fechado com um disco de um papel de feltro molhado. No entanto, este método está cada vez mais em desuso e apresenta resultados menos confiáveis que o tanque classe A (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Figura 2 - Tanque classe A.



Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

Figura 3 - Evaporímetro de Piché (Atmômetro).



Fonte: Tucci e Beltrame (2004).

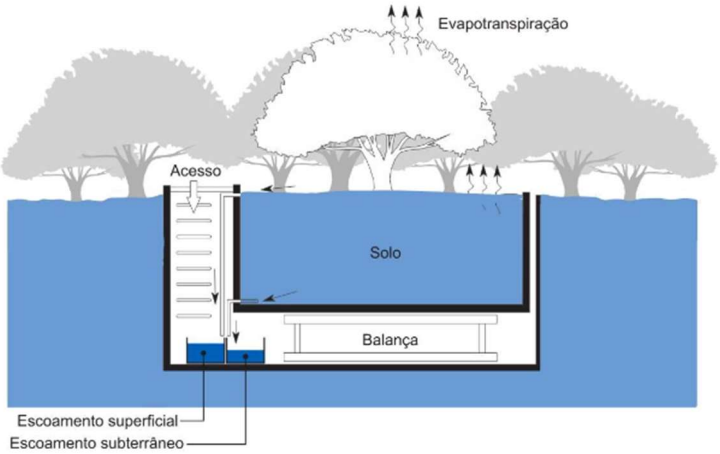
A evapotranspiração, segundo Collischonn e Dornelles (2015), e Tucci e Beltrame (2004), é a junção da evaporação com a transpiração das plantas. A transpiração é classificada como a retirada da água do solo pelas raízes das plantas, o transporte de água da planta até as folhas e a passagem da água para a atmosfera. Esse fenômeno é influenciado pela radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, mesmas características da evaporação. No entanto, apresentam mais variáveis como o tipo de vegetação e o tipo de solo. O cálculo da evapotranspiração, embora seja difícil estimar de forma separada (evaporação + transpiração) (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015), é de grande necessidade para a realização de balanços hídricos e também para o cálculo realizado na irrigação (TUCCI; BELTRAME, 2004). De forma geral, a evapotranspiração pode ser classificada em dois tipos: a Evapotranspiração Potencial (ETP) e a Evapotranspiração Real (ETR), sendo a primeira a condição máxima do solo (sempre com a presença de água, e a segunda relacionada às condições reais da umidade do solo e fatores atmosféricos. Sendo assim, ETP é sempre maior ou igual que ETR (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015; TUCCI; BELTRAME, 2004). Pode ser aferida de forma direta através do lisímetro, que compreende um depósito enterrado e aberto na parte superior e preenchido com o solo e vegetação, de forma que o solo recebe uma chuva,

podendo ser real ou irrigada, e verifica-se a variação de água no sistema (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). A evapotranspiração (ET) é, então, determinada pela Equação 12.

$$ET = P - ESCsup - ESCsub - \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (12)$$

Onde: P = precipitação (mm) ; ESCsup = escoamento superficial (litros); ESCsub = escoamento subterrâneo (litros) ; $\frac{\Delta V}{\Delta T}$ = variação do peso do solo por unidade de tempo.

Figura 4 – Esquema de um lisímetro.



Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

Segundo Tucci e Beltrame (2004), para o cálculo da evapotranspiração podem ser utilizados os métodos baseados em temperatura, tais como método Thornthwaite, e método Blaney e Criddle; os métodos baseados em radiação e o método combinado. O método de Thornthwaite foi desenvolvido ao analisar dados de inúmeras bacias nos Estados Unidos e tem grande utilização devido ter dependência apenas da temperatura. O método de Blaney e Criddle foi desenvolvido para o cálculo de evapotranspiração das regiões semiáridas e assim como a anterior só depende da temperatura. Os métodos baseados em radiação apresentam uma maior confiabilidade, como o caso da equação de Jensen e Haise, porém, a obtenção desses dados é um problema para sua utilização. O método combinado ou equação de Penman- Montieth, se apresenta com uma das formas mais precisas de se calcular a evapotranspiração, no entanto, segundo Collischonn e Dornelles (2015) para seu resultado necessita de diversas vareáveis complexas, que seria inviável obter essas informações.

Devido à dificuldade de se obter muitas informações precisas para realizar os outros métodos, é comum se utilizar o método de Thornthwaite para o cálculo de evapotranspiração. Como visto nos trabalhos de Francisco *et al.* (2017) que calculou a para o estado da Paraíba, Martins *et al.* (2020) para mesorregião sul do Amazonas, Oliveira (2019) para o município de

Conceição do Mato Dentro - Minas Gerais e Parreira *et al.* (2019) para o município de Rio Verde – Goiás.

Para a realização do método de Thornthwaite, utiliza-se a Equação 13.

$$\mathrm{ETP} = \mathrm{Fc}.16.(10.\frac{\mathrm{T}}{I})^{a} \quad (13)$$

Onde: ETP = evapotranspiração potencial para meses de 30 dias e comprimento de 12 horas (mm/mês); T = temperatura média do ar (C°); Fc = fator de correção em função da latitude e mês do ano, disponível no Anexo A3 - TUCCI e BELTRAME (2004); I, a = índices de calor da região, calculados pelas Equações 14 e 15.

$$\mathrm{I} = \Sigma \left(\frac{Ti}{5}\right)^{1,514} \quad (14)$$

Onde: I = índice de calor da região (adimensional); Ti = temperatura média dos meses, onde o i varia de 1 até 12 medidos em (C°) e disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) utilizando a média da série histórica 1991-2020.

$$\mathrm{a} = 67{,}5.10^{-8}.I^{3} - 7{,}71.10^{-6}.I^{2} + 0{,}01791.I + 0{,}492 \quad (15)$$

Sendo o valor final da evapotranspiração da área de estudo, o somatório das diversas evapotranspirações para os materiais encontrados, no somatório foi considerado o coeficiente de evapotranspiração do material “vegetação rasteira”, “vegetação densa” e “solo exposto” igual a 1 e os demais, iguais a zero.

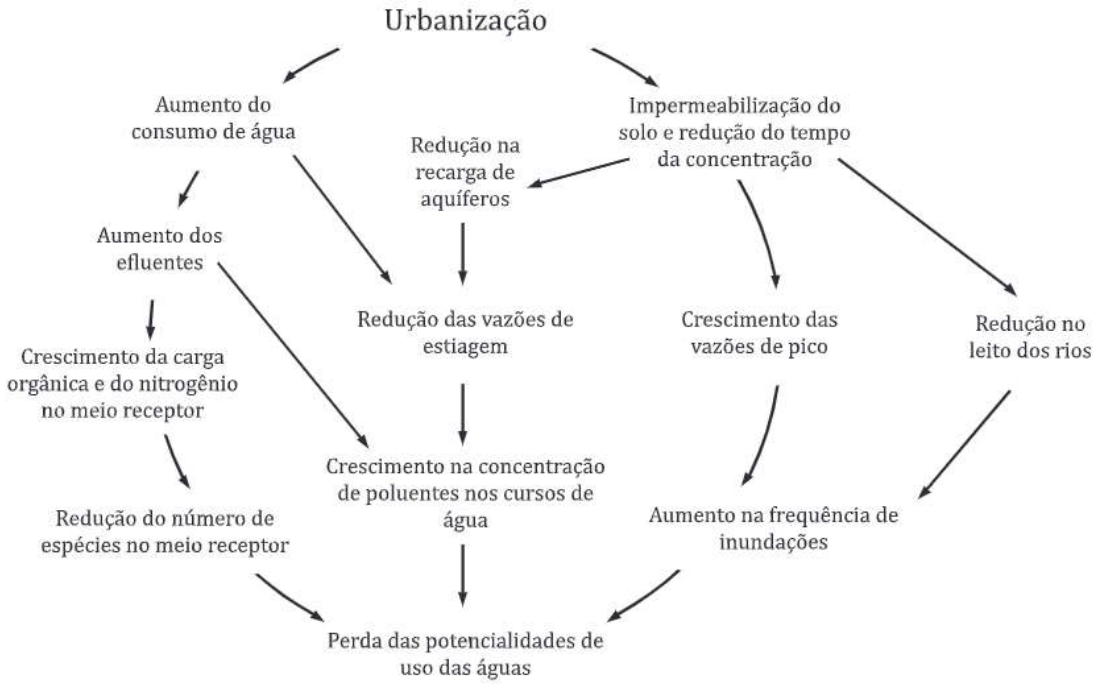
3.7 IMPACTOS DA PRECIPITAÇÃO EM ÁREAS URBANIZADAS

No contexto histórico, de forma geral, o processo de urbanização se origina em áreas inundáveis, às margens dos rios, resultando no assentamento de pessoas em áreas de risco de inundação e na progressiva perda das potencialidades de uso das águas, em seus múltiplos aspectos, com reflexos diretos sobre a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos, como ilustrado na Figura 5 (BAPTISTA; CARDOSO, 2013). É possível verificar que a urbanização tem influência direta sobre drenagem urbana. Com um agravante em áreas de morro, devido ao desnível topográfico e a impermeabilização das áreas, favorecem a ocorrência de inundações nas planícies, uma vez que grande parte da chuva que incide no local escoar para as áreas mais baixas, facilitando a ocorrência das inundações. Outra grande preocupação com a crescente

urbanização é a redução nas recargas dos aquíferos, já que a água que infiltraria no solo, através da impermeabilização, tende a escoar para rede de drenagem urbana.

A crescente urbanização e o aumento do consumo de água, gera o aumento da produção de efluentes, mas especificamente quando se trata de esgotamento sanitário em área de morro existe um grande problema, por causa do desnível topográfico é complexo haver ligação com a rede coletora de esgoto, resultando em lançamento inadequado ou criação de fossas sépticas, que aumentam o peso do talude, favorecendo a infiltração no solo e diminui a resistência das encostas.

Figura 5 - Impactos da urbanização para as águas urbanas.

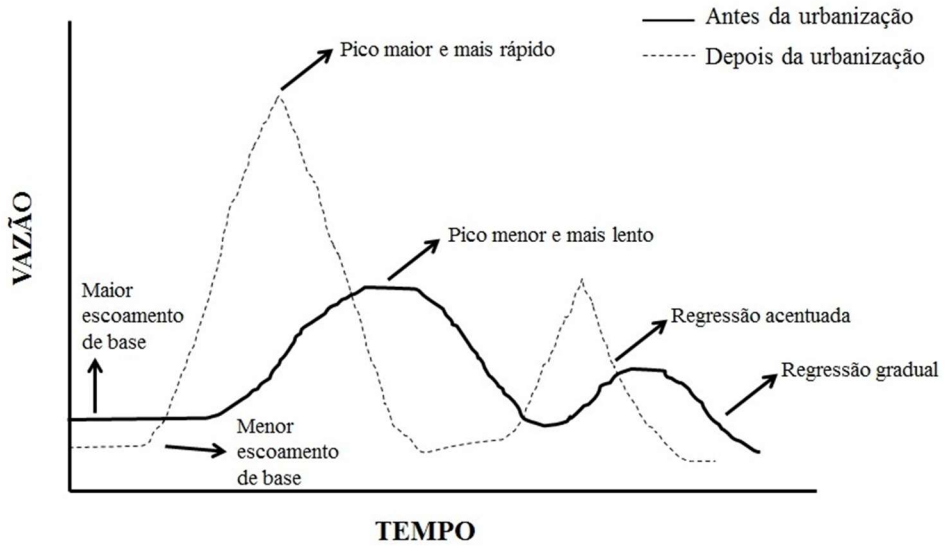


Fonte: Adaptado de Chocat (1997).

Segundo Stovin *et al.* (2013) e Visitacion, Booth e Steinemann (2009), os desastres ambientais como as inundações urbanas são intensificadas por fatores como crescimento populacional, mudança no clima e aumento da urbanização. Essa modificação da paisagem, substituindo o solo verde e permeável por materiais cinzas e impermeáveis, foi uma estratégia que alterou o balanço hídrico dos centros urbanos (FRANCO, 2020), provocando uma redução da infiltração e o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial. A canalização dos cursos de água agrava o processo, levando a crises de insuficiência nos sistemas de drenagem e ao consequente aumento na frequência de inundações, com impacto direto nas áreas ribeirinhas (BAPTISTA; CARDOSO, 2013). O aumento do escoamento superficial provoca a antecipação do pico de cheia e o aumento de sua intensidade em termos de vazão, visível pela

comparação dos hidrogramas (Figura 6) antes e depois da urbanização de uma determinada cidade (FRANCO, 2020).

Figura 6 - Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico.



Fonte: Adaptado de Schueler (1987).

Além deste efeito de aumento do volume de escoamento superficial, a urbanização também é acompanhada pela implementação de estruturas de drenagem, com condutos e canais (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Os autores ainda comentam que a drenagem artificial é, em geral, concebida para drenar a superfície de forma rápida. Consequentemente, o escoamento em uma bacia urbana tende a ocorrer de forma mais rápida do que em uma bacia rural, e apresenta maior volume de escoamento superficial, maiores picos de vazão e resposta mais rápida da bacia à precipitação.

3.8 IMPACTOS DA CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA SOBRE A DRENAGEM URBANA

A utilização da água de chuva em zonas urbanas, além de contribuir para a universalização do abastecimento de água, também pode impactar positivamente na mitigação dos problemas resultantes do excesso de escoamento superficial. Segundo Freni e Liuzzo (2019), a utilização da água de chuva possui um potencial elevado de redução de picos de vazão de precipitação, diminuição dos eventos de enchentes e de alagamentos. Gerolin, Kellagher e Faram (2010) observaram a redução da frequência de inundações pela captação de água de chuva. Zhang *et al.* (2012) realizaram um estudo de caso com uso de tanques de acúmulo de

água da chuva em um bairro residencial na cidade de Nanjing, na China. Foram observados valores expressivos na mitigação de alagamentos urbanos e redução do volume das cheias. Segundo Campisano e Modica (2015) e Teston *et al.* (2018), a redução do pico da intensidade da chuva é variável de acordo com o volume do reservatório utilizado. Ou seja, quanto maior o volume de reservação, maior é a redução no lançamento de água para as redes de drenagens urbanas.

Por outro lado, a captação e o armazenamento da água de chuva podem diminuir a incidência de deslizamentos em áreas de morros, visto que, um dos principais causadores são as chuvas intensas (KE *et al.*, 2023). Isso acontece devido à mudança das propriedades do solo em consequência da saturação do mesmo, diminuindo a resistência ao movimento e aumentando a probabilidade de ocorrer deslizamento (CHEN; ZHANG, 2014).

O termo deslizamento, segundo o Highland e Bobrowsky (2008), é um termo genérico usado para descrever movimentações de terra, rochas e material orgânico. No entanto, existem diversos tipos de movimentação de terras e os mais frequentes em áreas urbanas são os escorregamentos. Segundo Michel *et al*. (2021), esses escorregamos são processos naturais que trazem diversos impactos ambientais, sociais e econômicos e acontecem quando as forças resistentes do solo são menores que as forças cisalhantes. Essas forças resistentes do solo são diretamente ligadas com os fatores de preservação das encostas, vegetações, lançamento de esgotos, construções irregulares. Outro tipo de movimentação de massa recorrentes, são as subsidências por adensamento, que sofrem diretamente com as ações antrópicas, ocasionadas por obras com fundações inadequadas, escavações sem contenção, rebaixamento não controlado do lençol freáticos, exploração de água subterrâneas de forma descontrolada (CERRI; AMARAL, 1998).

Na cidade do Recife observa-se a ocorrência de diversos desastres associados à combinação de ocorrência de eventos pluviométricos extremos e áreas densamente urbanizadas. Sobre isso, pode-se citar a ocorrência de alagamentos, transbordamentos de córregos e rios e deslizamentos de morros nas épocas chuvosas do ano (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013). De acordo com Souza, Azevedo e Araújo (2012), a população do Recife apresenta alta vulnerabilidade aos eventos extremos, com recorrentes alagamentos e deslizamentos. Esses impactos, além de causar danos à população, também geram grandes perdas econômicas. Para se ter uma ideia do impacto que se pode esperar, neste cenário, no período de 2000 a 2019, as inundações causaram gastos de US$ 650 bilhões em todo o mundo, afetando 1,65 bilhão de pessoas e resultando em mais de 100 mil mortes (CRED; UNDRR, 2020).

3.9 LEVANTAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS

Para entendimento da drenagem urbana, é fundamental a definição do relevo para entendimento do tipo de cobertura local, da direção do movimento da água, bem como da velocidade de escoamento. Nesse contexto, se insere a obtenção de informações por meio das fotogrametrias digitais, sendo tradicionalmente utilizados os sobrevoos com aeronaves tripuladas e utilização de imagens de satélites. O aerolevantamento com aeronave pilotada é comumente utilizado em grandes áreas devido custo elevado para mapeamento e apresentar resolução de imagens limitas (PÉREZ; AGÜERA; CARVAJAL, 2013). Isso acontece devido à altura do sobrevoo.

Já o levantamento através da utilização de imagens de satélites de alta resolução, tem sido amplamente emprega desde o final dos anos 1990, e constitui uma alternativa aos mapeamentos aéreos. Segundo Gruen (2008), esse tipo de utilização se firmou no mercado pela capacidade de gerar imagens estereoscópicas, que são necessárias para processamentos 3D. Segundo Silva (2015), o Brasil dispõe de um programa chamados CBERS (*China Brazil Earth Resources Satellite*), no qual apresenta diversos satélites com qualidade diferentes. O primeiro foi lançado no ano de 1999 e o último em 2014, com satélites de alta qualidade.

De forma geral, os avanços das tecnologias fotogramétricas são impulsionados pelo desenvolvimento de novas ferramentas no ramo da engenharia, computação, inteligência artificial e robótica. O desenvolvimento contínuo de ferramentas como fusão de dados entre fotogrametrias, laser scanner, imagens de satélites em alta resolução também acontece no processamento e geração de Modelos Digitais de Solo (MDS), extração automática de feições e integração de dados fotogramétricos para SIG (GRUEN, 2008).

Como forma de se obter uma qualidade ainda melhor, está cada vez mais crescente a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados, os VANTs. Esses equipamentos, inicialmente, foram desenvolvidos para fins militares, mas têm sido muito utilizados no ramo civil para a realização de mapeamentos fotogramétricos de áreas pequenas (VALAVANIS, 2012). Além desses benefícios, Hugenholtz *et al.* (2015) avaliaram a precisão da utilização de VANTs em um levantamento de terraplanagem que apresentaram qualidade semelhante às técnicas convencionais, entregando em alguns casos, maior eficiência, maior segurança e menor custo. Em um outro estudo, Siebert e Teizer (2014) avaliaram o desempenho dos VANTs para a realização de mapeamentos 3D, ratificando o menor custo e o menor tempo quando comparado com as formas tradicionais.

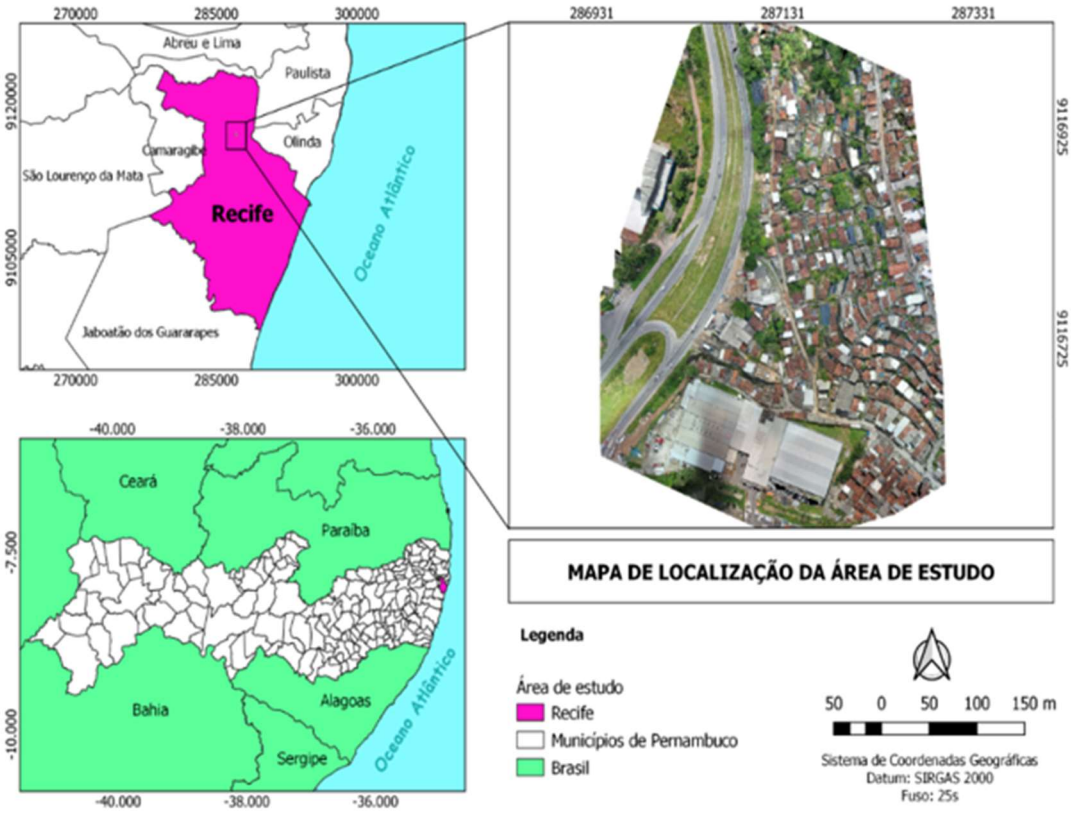
4 MATERIAIS E MÉTODOS

Como forma de entender os impactos da utilização de sistemas de captação de água da chuva em larga escala, foi realizado um levantamento cartográfico utilizando drones, com finalidade de obter as classificações dos materiais encontrados e posteriormente utilizá-los para a realização de simulações de balanços hídricos, com e sem a utilização de águas pluviais.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na comunidade Córrego da Telha, que é localizada no bairro do Passarinho, na Região Político Administrativa (RPA 03-B), no município de Recife-PE. Observou-se a ocorrência de 402 residências (de área média de captação de telhado de 73,53m^2, conforme mapeamento do local realizado com drones) distribuídas na área total de 6,80 ha. Isso representa utilizando os dados de quantidade de pessoas por residência do IBGE (2012), cerca de 19221 (pessoas.km^{-2}). Localizada às margens da rodovia BR-101, Km-60, Figura 7, essa comunidade foi escolhida em virtude da alta vulnerabilidade a eventos críticos de chuva pela existência de diversas encostas com risco de deslizamento.

Figura 7 - Área de estudo.



Fonte: Autor (2023).

Segundo a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA, 2023), o abastecimento de água da região é setorizado, tendo algumas áreas com abastecimento contínuo e outras na modalidade de rodízio, com 12 horas com água e 84 horas sem fornecimento de água.

4.2 MAPEAMENTO COM DRONES

O mapeamento foi realizado no âmbito do projeto Morro de Vontade, financiado pela FACEPE e coordenado pela Profa. Sávia Gavazza. O time responsável pelo mapeamento é liderado pela Profa. Simone Sato e foi realizado pelos alunos da Cartografia, bolsistas do citado projeto.

Foi realizado um sobrevoo na área de estudo para a realização de um mapeamento de alta precisão, visando obter informações, requeridas para a simulação numérica, acerca das dimensões e tipologias das áreas de escoamento da água, sejam elas vias públicas, telhados, superfícies permeáveis e impermeáveis. O referido mapeamento foi realizado com um drone de alta resolução, de modelo Mavic 2 PRO. Simultaneamente, foram utilizados *softwares* suplementares, como o *dronedeploy* para a realização do plano de voo, o Pix4Dmapper para o processamento fotogramétrico, o SPRING, como sistema de informações geográficas e o QGIS como banco de dados e criação de mapas temáticos. Após o processamento das imagens, foi realizada a vetorização do ortomosaico com a segmentação das feições necessárias à construção da tabela de atributos, tendo como alvo a delimitação da área de estudo.

4.3 BALANÇOS HÍDRICOS

Após o mapeamento, foi realizada a classificação manual dos materiais encontrados, sendo esses divididos em permeáveis e impermeáveis como pode ser visto na Figura 8. Os materiais permeáveis encontrados foram: vegetação rasteira, vegetação densa e solo exposto. Já para os materiais impermeáveis, foram associados a: asfalto, concreto, estruturas de contenção, escadarias, materiais cerâmicos e mantas plásticas. Como forma de identificar os impactos da utilização da água da chuva, foram realizadas três simulações de balanços hídricos.

No primeiro balanço hídrico (balanço hídrico 1) foi analisado o uso da água de chuva pelos moradores ao longo dos dias (cronograma diário de abastecimento), considerando a possibilidade de, através da precipitação conhecida e da área do telhado, calcular o volume de armazenável para cada casa. Já o segundo (balanço hídrico 2) e o terceiro balanços hídricos

(balanço hídrico 3) foi realizado utilizando imagens no QGIS levando em conta o ciclo da água da região. Além disso, foi criado um programa em linguagem de programação Python utilizando também o mesmo software, onde foi considerado o impacto da utilização de sistemas de captação de água da chuva. No balanço hídrico 2, a infiltração foi calculada de forma simplificada e o escoamento superficial pelo Método Racional e, no balanço hídrico 3, foi utilizado o Método de Conservação do Solo (SCS).

Figura 8 – Grade de georreferenciamento.

Fonte: Autor (2023).

Foram consideradas, nas simulações dos balanços hídricos, as principais variáveis do ciclo da água (precipitação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial), com os materiais classificados a partir do mapeamento. Da análise das imagens de drone e das visitas de campo, observou-se que, na área de estudo, grande parte das residências não apresentam espaço suficiente para a instalação de grandes reservatórios. No entanto, entende-se que é necessário instalar reservatórios para armazenamento da água escoada dos telhados.

Balanço hídrico 1:

Foi considerado um sistema de armazenamento compacto, denominado PluGoW, com volume total disponível de 1.300 L. Essa estrutura é composta por um reservatório inferior de 300 L como apoio para bombear a água para o reservatório elevado, de 1.000L de volume. Esse reservatório é do tipo cálice e necessita de uma pequena área para instalação. A propriedade intelectual do sistema PluGoW é compartilhada entre a Startup Pluvi e a empresa Aqualito (Desenho Industrial BR 302023001510-8). No que se refere ao consumo, foi adotado que, para cada uma das 402 casas da localidade, existiam 4 moradores, já que segundo o IBGE (2012), em média, em Recife a distribuição é de 3,25 hab.residência^{-1}. Além disso, foram considerados os dados do SNIS (2021) que estipula uma média nacional de abastecimento *per capita* de 150 L.(hab.dia)$^{-1}$.

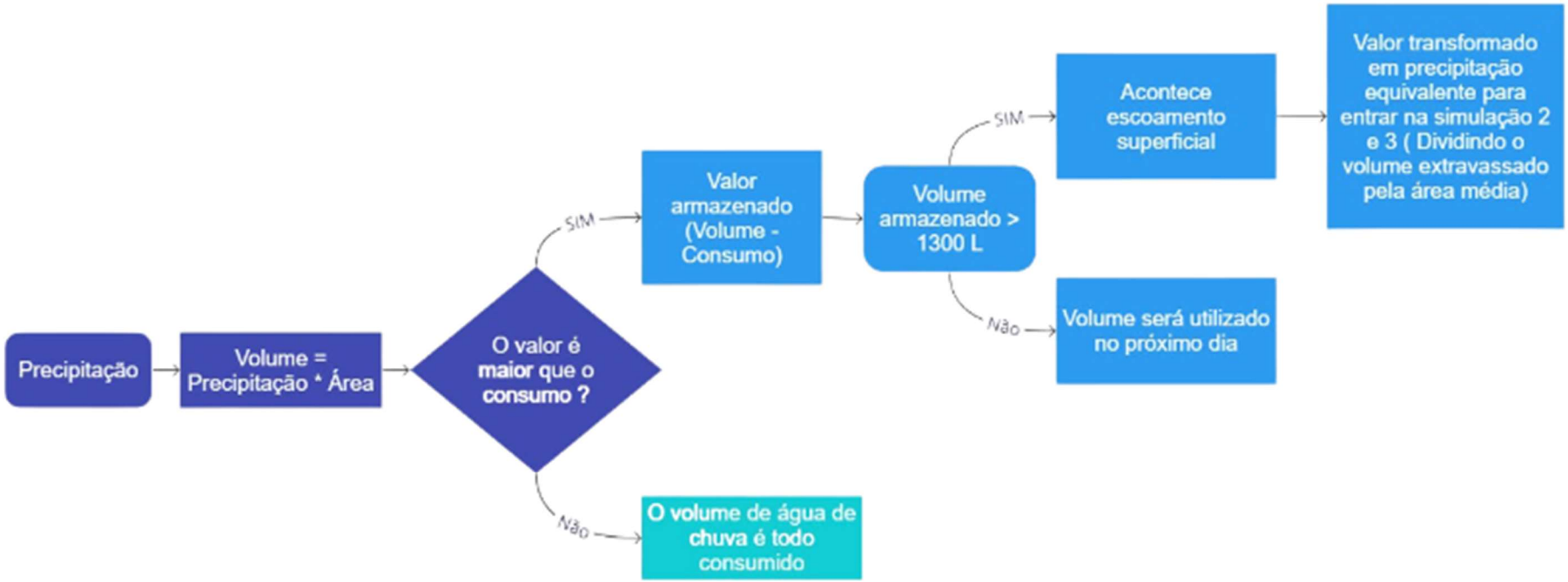
Sobre o tempo simulado, foram adotados dois intervalos, um período de dois meses (maio e junho de 2022) em que a cidade de Recife passou por diversos problemas associados ao excesso de água da chuva, como alagamentos, deslizamentos e problemas de mobilidade urbana, assim como o período anual, de 1 de junho de 2021 até 31 de maio de 2022. Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2022) esses intervalos apresentaram 1128,3 mm (acumulado dos 2 meses) e 2366,6 mm de precipitação (acumulado de 1 ano). O fluxograma de atividades necessário para a realização do balanço hídrico diário, está apresentado na Figura 9. Além de fornecer resultados importantes para entender a utilização de água de chuva nos morros, o balanço hídrico 1 possibilita a determinação de parâmetros importantes, como precipitação efetiva (pef) e precipitação equivalente (peq) que são utilizados como dado de entrada do balanço hídrico 2 e do balanço hídrico 3. A diferença entre o volume precipitado e o volume armazenado (de 1.300L) foi considerado como uma "precipitação equivalente", utilizada exclusivamente nas superfícies classificadas como "telhados". Ou seja, para o balanço hídrico, o valor do escoamento superficial dos telhados é considerado 0 (zero), até que exista extravasamento do sistema. Nesse caso, a precipitação utilizada para identificar o escoamento superficial dos telhados é a precipitação equivalente.

Balanço hídrico 2:

Consistiu na simulação do Córrego da Telha em 2 cenários, onde no primeiro cenário não se considerou a retenção de água de chuva no lote para abastecimento humano. Já no segundo, o uso do PluGoW foi considerado para retenção de água de chuva no lote e foi admitido o mesmo consumo, pelas residências, já descritos no balanço hídrico 1. Foram considerados dois eventos pluviométricos: um evento extremo de 15 dias de chuva, do dia

24/05/2022 até 07/06/2022, que em sua totalidade correspondeu a um valor acumulado de 759,4 mm; e, um outro evento, com chuva característica do inverno Recifense (dias chuvosos, porém, com presença de dias sem chuva), do dia 12/06/2022 até 26/06/2022, com um valor acumulado de 172,5 mm.

Figura 9 - Fluxograma do balanço hídrico.

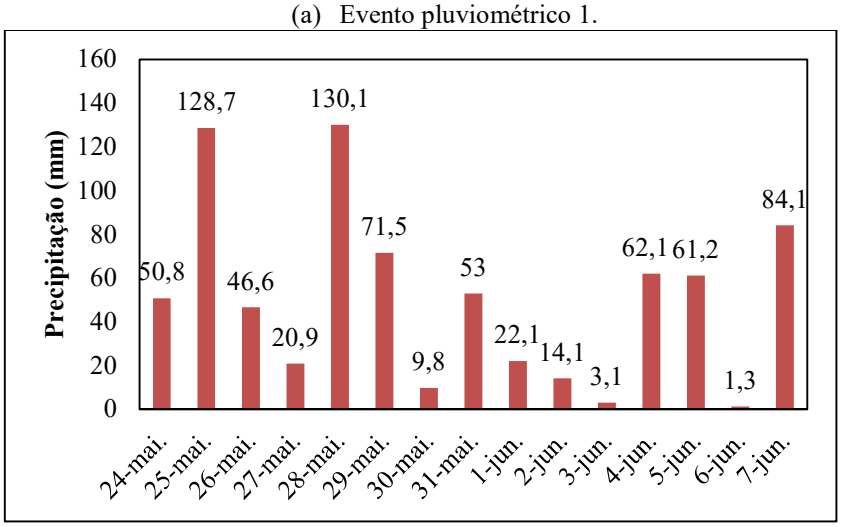


Fonte: Autor (2023).

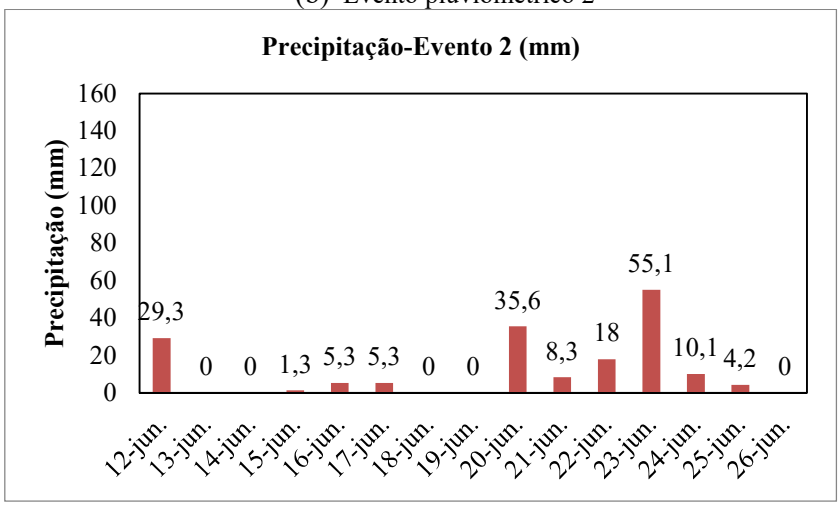
Para a realização do estudo, foi utilizado o banco de dados de precipitação da APAC, mais precisamente a estação Recife – Alto da Brasileira (código-265), cujo volume de precipitação utilizado para realização do balanço hídrico está mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Precipitação, em mm, utilizada no balanço hídrico 2.

(a) Evento pluviométrico 1.



(b) Evento pluviométrico 2



Fonte: APAC (2023).

O banco de dados disponibilizado pela APAC (2023) fornece os valores diários de precipitação, ou seja, $mm.dia^{-1}$, porém, para a realização do balanço hídrico com a mesma unidade de tempo foi necessário a utilização da chuva em intensidade horária. Dessa forma, foi considerado que a chuva de um dia estava disposta ao longo de 8 horas. Para o cálculo da evapotranspiração foi utilizado o método de Thornthwaite (TUCCI; BELTRAME, 2004). Para o cálculo da infiltração, uma metodologia simplificada demonstrada por TUCCI (2004), obedecendo a lei de Darcy e para o escoamento superficial, o Método Racional (PINTO *et al.*,

1976). Os coeficientes de escoamento superficial foram adotados conforme o material identificado no mapeamento da área de estudo, Tabela *4*.

Tabela 4 - Coeficiente de escoamento superficial por material da superfície.

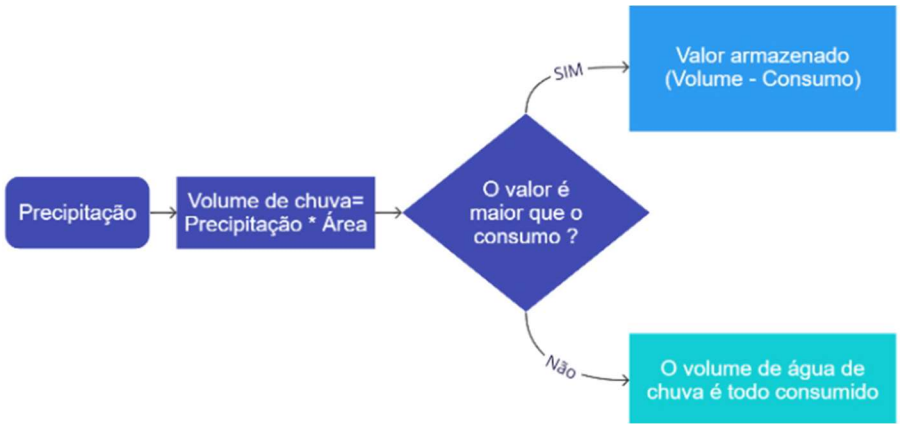
Material	Coeficiente
Asfalto	0,83
Vegetação rasteira	0,15
Solo exposto	0,08
Manta Plástica	1
Telhado	0,88
Vegetação Densa	0,15
Escadarias	0,88
Cerâmica	1
Estrutura de contenção	0,88
Concreto	0,88

Fonte: adaptado de ASCE; WPCF (1969).

O coeficiente de escoamento é muito importante para o entendimento do balanço hídrico. Para o presente trabalho foi utilizado duas formas de entendimento sobre esse coeficiente. Para o balanço hídrico 2, foi considerado que todos os materiais contribuíram para o volume escoado superficialmente pela bacia diretamente, diferentemente do admitido para o balanço hídrico 3, onde para a superfície "Telhado" o escoamento só aconteceria quando houvesse o extravasamento do sistema de armazenamento "PluGow". Então, para a utilização no programa desenvolvido era utilização o volume de que extravasa do sistema divido pela sua área, obtendo um valor em mm.

O consumo considerado no balanço hídrico 2 é semelhante ao do balanço hídrico 1, tendo sido admitida a existência de 4 moradores/residência, com um consumo médio diário de 150 L.(hab.dia)$^{-1}$, conforme lógica explicitada na Figura 11.

Figura 11 - Consumo de água por residência.



Fonte: Autor (2023).

Balanço hídrico 3:

Foram admitidos os mesmos parâmetros utilizados no balanço hídrico 2, exceto no cálculo do escoamento superficial em que foi utilizado o método de curva número (CN) (SCS; USDA, 1972). Os valores utilizados de CN foram apresentados na Tabela 5, para realizar o balanço hídrico de uma forma simplificada e converter a bacia heterogênea (materiais distintos) em uma bacia homogênea (mesmo material) foi realizado um média ponderada entre as áreas e os coeficientes CN, obtendo um coeficiente CN para a bacia homogênea cujo valor é 86,48.

Tabela 5 - Coeficientes CN.

Material	Utilização do solo	Valor de CN
Vegetação rasteira	Pastagens ou terrenos em más condições	68
Vegetação densa	Bosque ou zonas florestas com boa cobertura	45
Solo exposto	Terra	72
Manta plástica	Material impermeável	100
Demais materiais	Arruamento e estradas / parque estacionamentos, telhados, viadutos e etc	98

Fonte: Adaptado de Tucci (2004).

Para melhor entendimento das considerações de cada uma das três simulações de balanço hídrico, apresenta-se o Quadro 1.

Quadro 1 - Lógica de comparação entre os resultados das simulações.

Balanço hídrico 1	**Balanço hídrico 2**	**Balanço hídrico 3**
$\frac{\Delta V1}{\Delta T1} = \text{Vol. chuva} -$ Consumo	$\frac{\Delta V2}{\Delta T2} = \text{Esc} * + \text{EscT} -$ Evapot $-$ Inf $-$ Consumo	$\frac{\Delta V3}{\Delta T3} = \text{Esc} * + \text{EscT} -$ Evapot $-$ inf $-$ Consumo
Onde: $\Delta V/\Delta T$ = variação de volume por unidade de tempo; Vol.chuva= volume de chuva (precipitação x área do telhado); Esc = escoamento superficial; Evapot = evapotranspiração; Inf = infiltração; Esc* = escoamento superficial (exceto telhados); EscT = escoamento superficial dos telhados; Consumo = consumo diário da região.		
Quantidade de água que deixa de entrar na bacia hidrográfica é encontrada subtraindo o balanço hídrico sem utilização de água da chuva com o balanço hídrico utilizando água de chuva, outra forma de analisar seria em percentual de redução: $$\Delta Q = 1 - \frac{\frac{\Delta V1}{\Delta T1}}{\frac{\Delta V2}{\Delta T2}}$$ Onde: ΔQ = Variação de água que deixa de entrar na bacia pela utilização de água de chuva; $\Delta V_1/\Delta T_1$ = Balanço 1; $\Delta V_2/\Delta T_2$ = Balanço 2.		

Fonte: Autor (2023).

4.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO LOCAL

As moradias do córrego da telha estão sujeitas a regimes distintos de abastecimento de água. Isso acontece, muitas vezes, em um mesmo local, devido ao mesmo apresentar pressões na rede que são diferentes, seja em função da distribuição topográfica do morro, seja em função da remoção de água da rede pelas residências situadas à montante. Isso faz com que em uma determinada rua exista abastecimento e, em outra rua, isso não aconteça. Visando mostrar a realidade da região, foram selecionadas 3 residências (pontos P1, P2 e P3 da Figura 12) em um determinado talude do morro para a realização de testes laboratoriais de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos (Tabela 6) de qualidade de água, cuja seu perfil longitudinal pode ser visto na Figura 13.

Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos investigados e respectivas metodologias.

Parâmetro	Metodologia	Código APHA
Alcalinidade	Titulométrico	2320 B.
Cloretos	Método de MOHR	4500 - Cl B.
Condutividade	Sonda multiparâmetros	2510 B.
Cor	Colorimétro	2120 C.
Dureza total	Titulométrico	2340 C.
pH	Sonda Multiparâmetros	4500 - H B.
Turbidez	Nefelométrico	2123 B.
Coliformes totais	Membrana filtrante	9223 B.
Escherichia Coli		

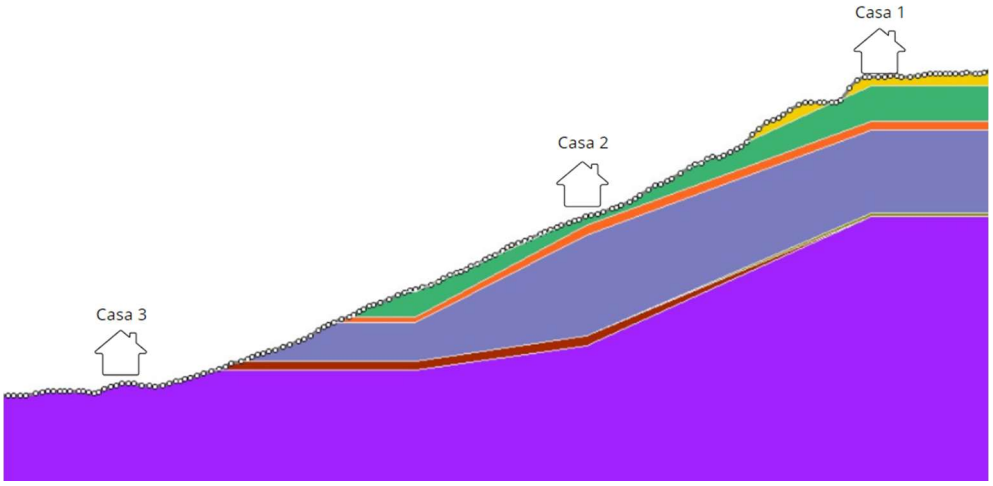
Fonte: Autor (2023).

O ponto P1 corresponde a uma residência unifamiliar com abastecimento de água do sistema convencional, chegando água do sistema público em rodízio 12/36 horas (12 horas com fornecimento de água e 36 horas sem fornecimento) e ao decorrer do texto será denominada de casa 1. O ponto P2, que está localizado na metade da extensão da escadaria, apresenta um abastecimento similar a P1 e será denominado casa 2. No entanto, no ponto P3, o abastecimento é irregular, não apresentando abastecimento público há cerca de 2 anos, sendo necessário o uso majoritário de água subterrânea, que será denominada de casa 3.

Figura 12 – Indicação ilustrativa dos pontos de coleta de água (P1, P2, P3).

Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Indicação ilustrativa dos níveis dos pontos de coleta de água (Casa 1, Casa 2, Casa 3).



Fonte: Autor (2023).

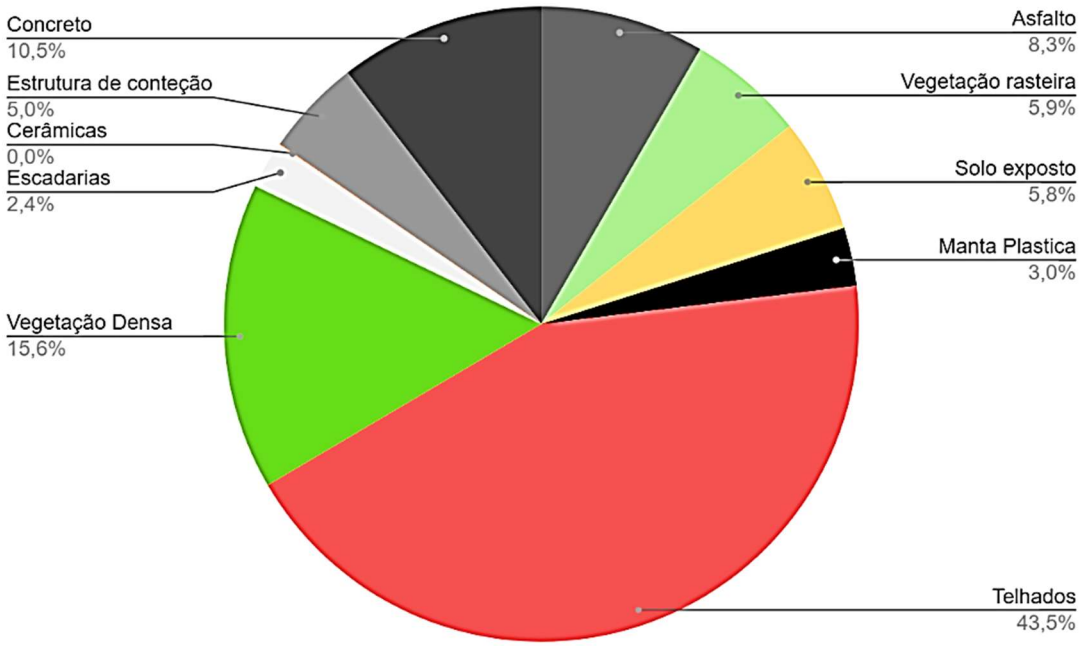
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico estão apresentados os resultados do mapeamento da área com a utilização de drones, assim como os dados das simulações realizadas e a qualidade do abastecimento de água do local.

5.1 MAPEAMENTO COM DRONES

Com a classificação manual, a partir das imagens obtidas com drones, da área de estudo, foram determinados os percentuais dos materiais que compõem as superfícies locais, que estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Classificação dos materiais encontrados.



Fonte: Autor (2023).

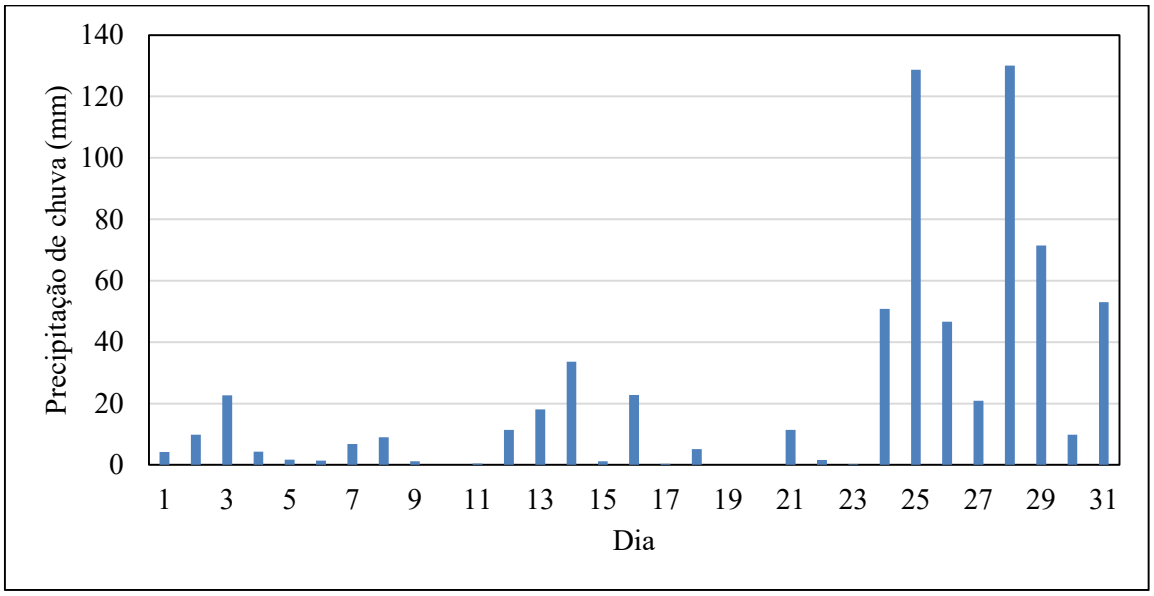
Observa-se que a área de estudo apresenta 73% de áreas impermeáveis, representadas por telhados, mantas plásticas, asfalto, concreto, estrutura de contenção, cerâmicas e escadarias. Apenas 27% da área do local foi classificada como permeável, sendo essas: vegetação rasteira , vegetação densa e solo exposto. O elevado índice de áreas impermeáveis favorece os problemas decorrentes das chuvas em áreas urbanas, conforme indicado por Tucci (2005), que alerta sobre o risco das inundações decorrentes da constante urbanização, e Bainy, Avila e Silva (2022), que observaram maior incidência de alagamentos em áreas densamente edificadas e pavimentas (materiais impermeáveis) quando comparado com áreas de solo natural.

5.2 BALANÇO HÍDRICO 1

5.2.1 PRECIPITAÇÃO

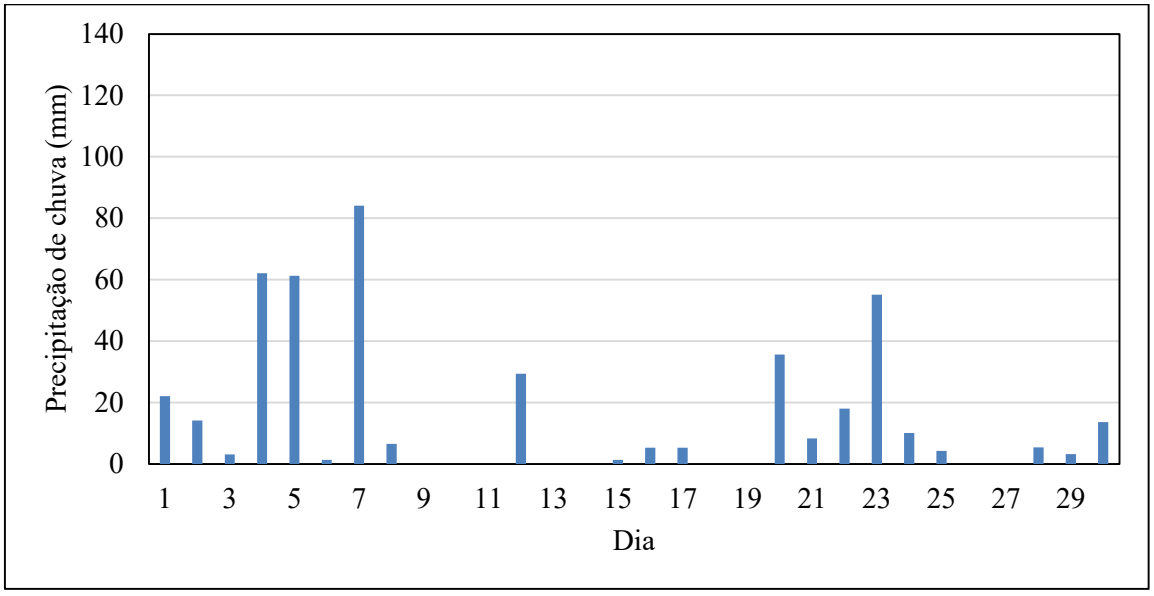
Para a realização da primeira parte do balanço hídrico 1, foram utilizadas as precipitações observadas nas Figura 15 e 16, que respectivamente representam a pluviometria do mês de maio e junho de 2022. E para o balanço hídrico anual, foram utilizados os valores de precipitação diária do intervalo de junho de 2021 ao final de maio de 2022. Na Figura 17 apresenta-se a incidência da chuva neste período.

Figura 15 – Precipitação em maio de 2022.



Fonte: Autor (2023).

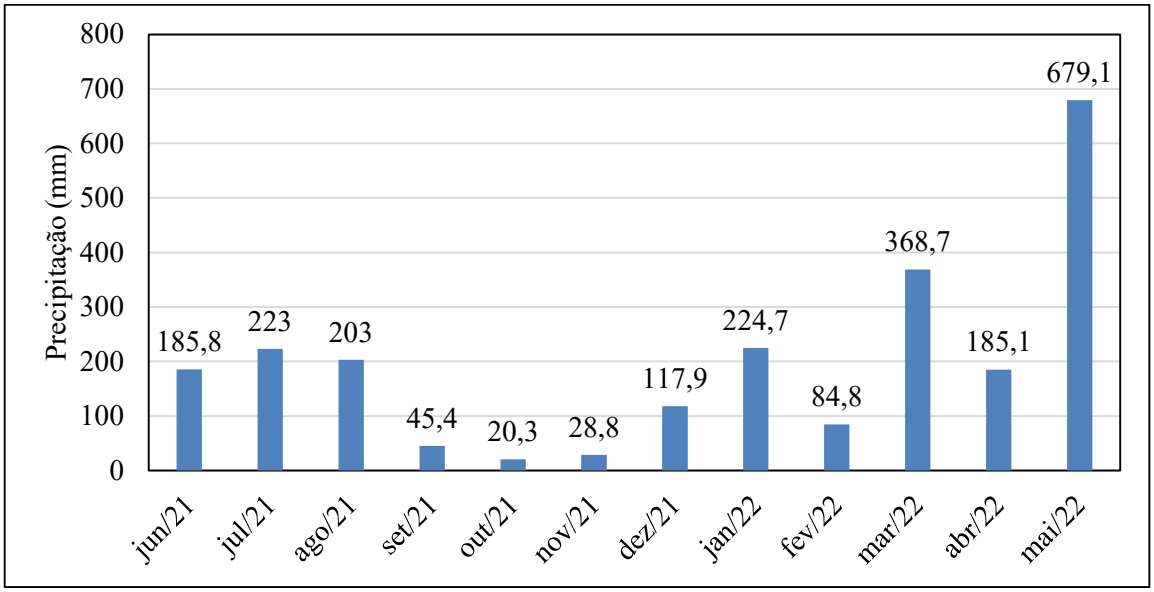
Figura 16 – Precipitação em junho de 2022.



Fonte: Autor (2023).

Observando as precipitações de maio e junho de 2022 verifica-se a grande quantidade de chuvas e as altas intensidades em um curto período. No mês de maio, em 29 dias do mês houve incidência de chuvas, sendo que em 10 desses dias, a precipitação foi maior que 20 $mm.dia^{-1}$. Para o mês de junho, em 21 dias do mês choveu e, desses em 7 dias a precipitação foi maior que 20 $mm.dia^{-1}$.

Figura 17 - Precipitação anual (de junho de 2021 a maio de 2022).



Fonte: Autor (2023).

A precipitação anual acumulada no período de 12 meses (junho de 2021 até maio de 2022) foi de 2.366,6 mm. Como forma de demonstrar o volume que esse valor de precipitação representa, por exemplo, ao analisar o telhado médio da área de estudo que é de 73,53m², o volume de água de chuva em um ano seria de 174 m³.

5.2.2 SIMULAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA

Após a obtenção dos dados da precipitação, foi feita uma simulação do comportamento diário da utilização de água de chuva nos meses de maio e junho/2022. O volume de água de chuva disponível corresponde à multiplicação da precipitação pela área do telhado retirando o 1 milímetro e água da chuva. Como forma de entendimento de como essa simulação foi concebida, para dias em que o volume de água da chuva tiver valor acima de 600 litros, é considerado que a família usa os 600 litros (150 $(L.Hab.Dia^{-1})$* 4 Hab). No entanto, quando esse valor de chuva for menor que 600 litros, a família utilizaria esse valor menor ou igual a 600. Desta forma, essa 1° simulação demonstrará apenas o volume de água utilizado pelos moradores por fonte de captação pluvial.

Os resultados obtidos para os dois intervalos de estudo: período de maior chuva (maio e junho/2022) e para o anual (de junho de 2021 a maio de 2022) referentes à disponibilidade e uso potencial da água de chuva é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resumo do balanço hídrico 1.

Discriminação	Período / Intervalo de tempo	
	Maio-Junho	Anual
Abastecimento de água por água de chuva (% do período de tempo avaliado)	81	48
Água de chuva retida no lote (%)	21	48
Intervalo de tempo da simulação (dias)	61	365
Período com água de chuva disponível para consumo (dias)	56	248
Período com extravasamento de água de chuva (dias)	21	39
Período chuvoso (dias)	49	213
Período com armazenamento de água (para o dia seguintes) (dias)	41	134

Fonte: Autor (2023).

Conclusões obtidas da simulação, referente ao período de estudo maio-junho, apresentado na Tabela 7: 81% do consumo de água pelas famílias poderia ser suprido com água da chuva; 21% da água que precipitou sobre os telhados não é lançado no sistema de drenagem urbano (retenção no lote); em apenas 8% dos dias os moradores não teriam nenhuma quantidade de água de chuva destinada à utilização; em 33% dos dias o reservatório não reservaria água para o outro dia; em apenas 34% dos dias o valor de reservação (1300 $L.dia^{-1}$) mais o consumo (600 $L.dia^{-1}$) seria superado.

Para o balanço hídrico anual, os resultados foram distintos, já que a precipitação ao longo do ano não se apresenta constante. Cerca de 48% do consumo anual das famílias poderiam ter sido de fonte pluvial; 48% da precipitação incidente nos telhados não seriam lançados na rede de drenagem urbana (retenção no lote); 32% dos dias não apresentariam nenhuma quantidade de água da chuva disponível para utilização; em apenas 11% dos dias o volume de chuva seria superior ao volume de armazenamento mais o volume de consumo; em 37% dos dias existiria água reservada para o dia seguinte.

Um fator importante a ser analisado com a utilização de águas pluviais está na economia, em meses mais chuvosos como maio e junho, seria possível obter uma economia de mais de 81% do consumo de água do sistema convencional e, olhando para um período de um ano completo, essa economia seria maior que 48%. Esse valor, devido ao alto índice pluviométrico da região, se mostra maior do que os apresentados por Santos e Farias (2017), que fizeram um

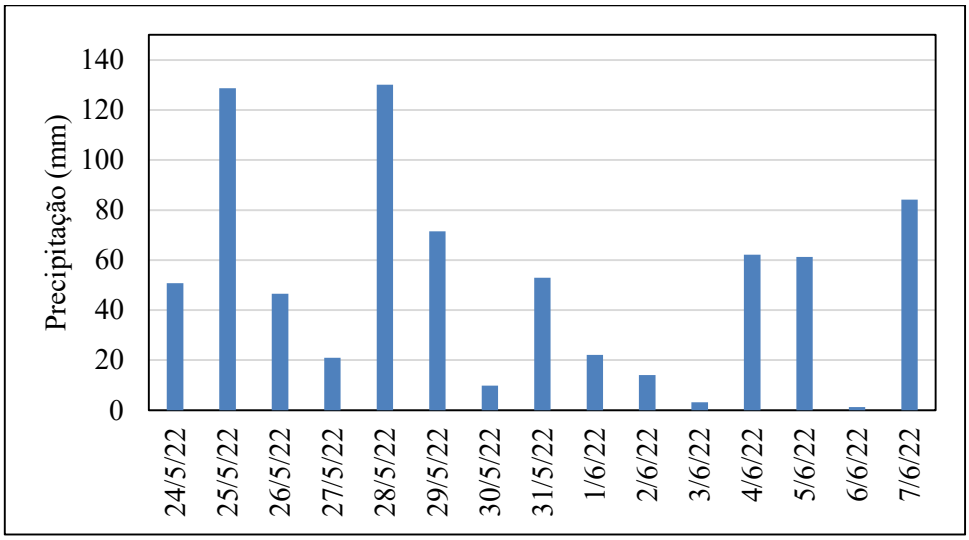
estudo da economia com a utilização de sistemas de captação de água de chuva no semiárido nordestino, apresentando um percentual de redução de gastos com abastecimento em 25%.

5.3 BALANÇO HÍDRICO 2

5.3.1 PRECIPITAÇÃO

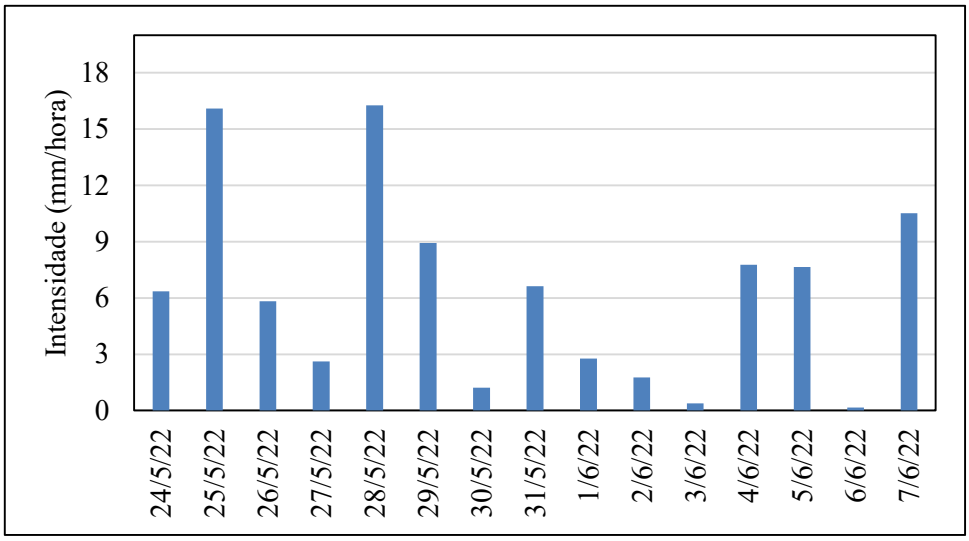
Foram obtidos os dados pluviométricos em dois períodos, sendo o período 1 de 24/05/2022 até o dia 07/06/2022, e o período 2 de 12/06/2022 até 26/06/2022. Que foram escolhidos devido apresentar no primeiro intervalo uma quantidade de chuva atípica na capital pernambucana, que gerou centenas de mortes por deslizamentos, já o segundo intervalo, foi escolhido devido apresentar quantidade de chuva acumulada tradicionais para o inverso do Recife. Assim sendo, as Figura 18 e Figura 19 apresentaram as informações referentes ao período 1, e as Figura 20 e Figura 21, ao período 2.

Figura 18 – Pluviometria de 24/05 a 07/06/22.



Fonte: Autor (2023).

Figura 19 - Intensidade pluviométrica de 24/05 a 07/06/22.

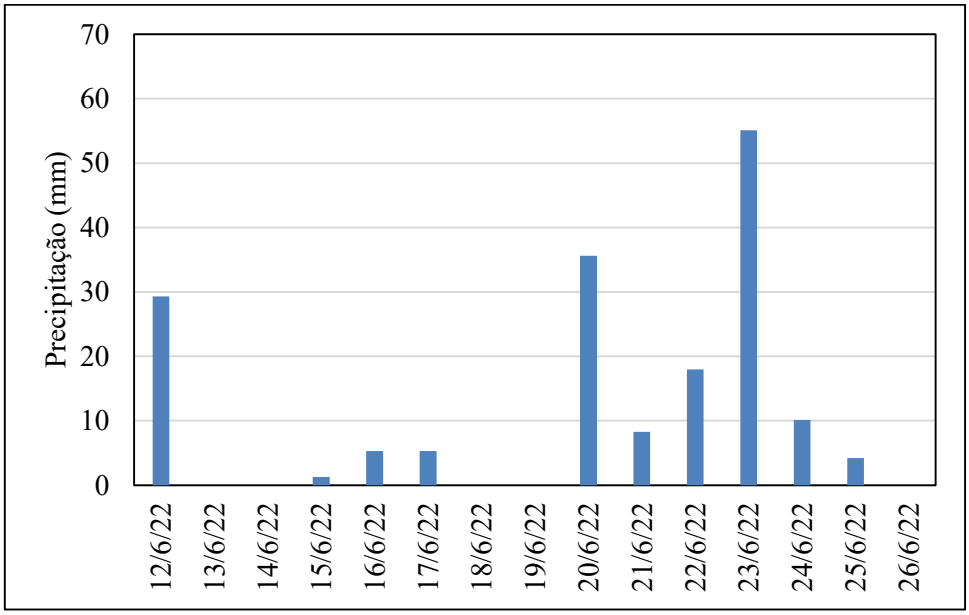


Fonte: Autor (2023).

Para o período 1, foi encontrado o valor acumulado total de 759,4 mm, dentre esses, ocorreram precipitações maiores que 20 $mm.dia^{-1}$ em 11 dos 15 dias. Devido à grande precipitação, também foi encontrado grandes intensidades de chuvas, chegando a apresentar valores maiores que 15$mm.dia^{-1}$ nos dias 25/05 e 28/05.

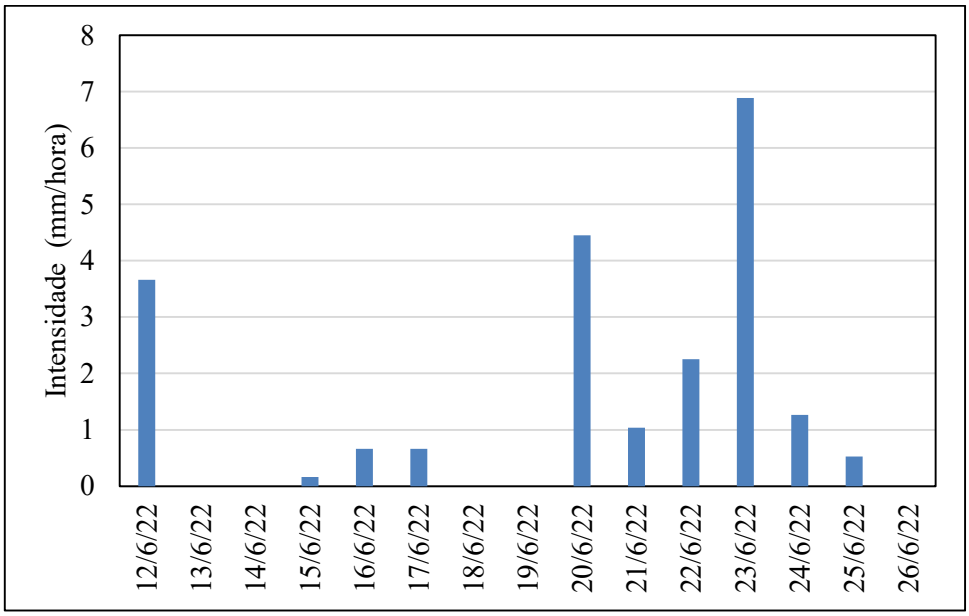
Já o intervalo de chuvas regulares, período 2, pode ser vista na Figura 20 e a intensidade na Figura 21.

Figura 20 - Pluviometria de 12/06 até 26/06/2022.



Fonte: Autor (2023).

Figura 21 - Intensidade pluviométrica de 12/06 até 26/06/2022.



Fonte: Autor (2023).

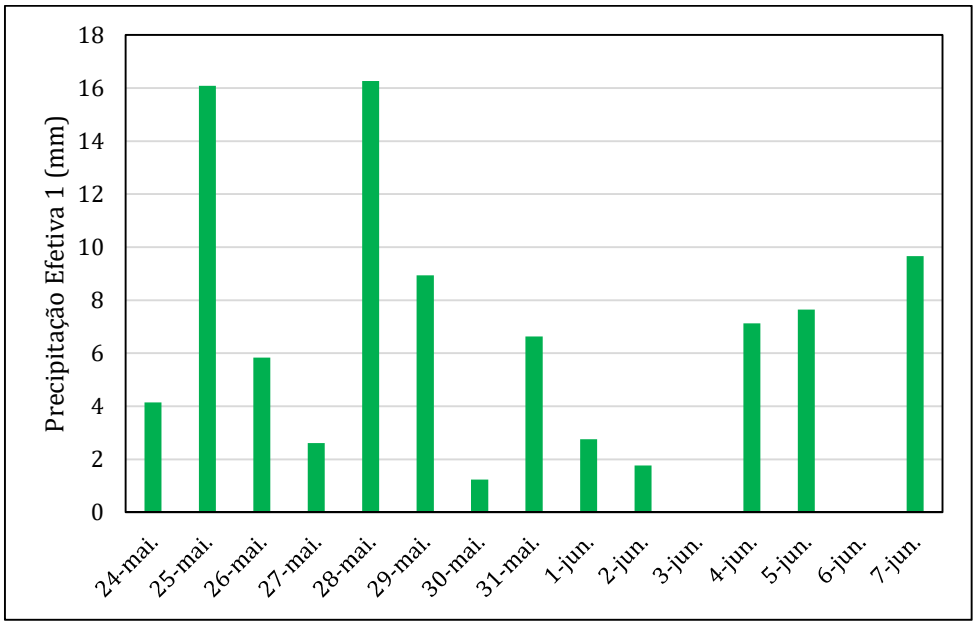
Ao comparar os dois períodos, verifica-se a discrepância entre as precipitações em um curto distanciamento de tempo. Isso mostra que apesar de Recife ser uma capital que apresente precipitações elevadas em grande parte do ano, existe também intervalados onde a presença da chuva não é tão recorrente. No evento período 2 houve precipitação em 10 dias. No entanto, o volume de chuva só passou de 20 mm.dia^{-1} em 3 dias dos 15 dias estudados e apresentou um volume acumulado de 172,5 mm.

Para a realização do balanço hídrico foram utilizados como parâmetros de entrada os valores de intensidade indicados na Figura 19 e na Figura 21.

5.3.2 VOLUME DE EXTRAVASSAMENTO

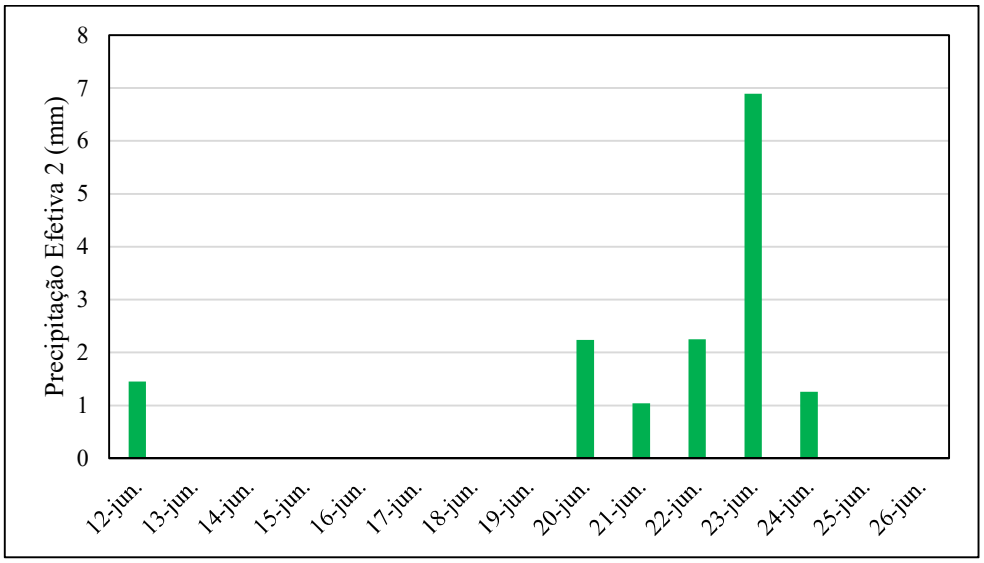
Para se obter os valores de volume extravasado foram utilizadas as informações obtidas no balanço hídrico 1 - tópico 5.2. Esses volumes de chuvas foram considerados como “Precipitação Equivalente (Peq)” e estão disponíveis nas Figura 22 e Figura *23*, que representam o período 1 (Chuvas atípicas) e o período 2 (Chuvas tradicionais de inverno), respectivamente.

Figura 22 - Precipitação equivalente 1



Fonte: Autor (2023).

Figura 23 - Precipitação equivalente 2



Fonte: Autor (2023).

Os valores presentes nas Figura 22 e Figura 23 também fazem parte do balanço hídrico, sendo parâmetros de entrada para o programa.

5.3.3 APLICAÇÃO NO SOFTWARE

Com os valores de precipitação e precipitação equivalente realizou-se a simulação de balança hídrico no programa desenvolvido, obtendo-se os volumes mostrados na Tabela 8. Apresentando os volumes de balanço hídrico para os 2 cenários (1° sem utilização de água da chuva e o 2° com utilização do PluGow) para o 1° período de estudo (Chuvas atípicas).

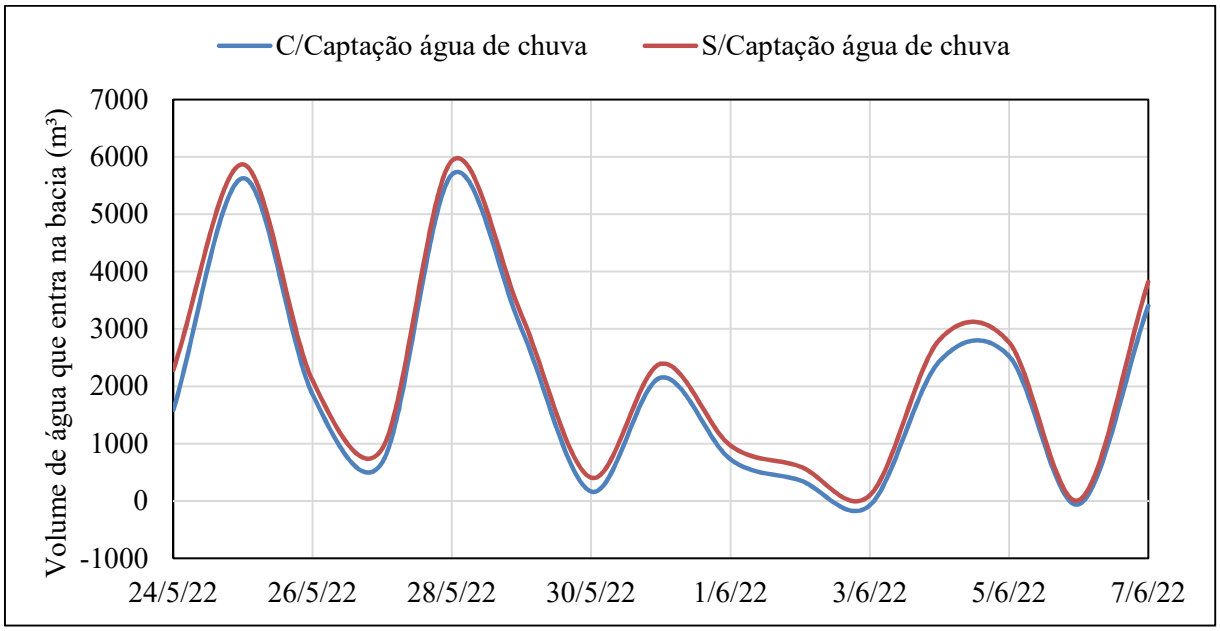
Tabela 8 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 2 (período 1).

Datas	Intensidade (mm/hr)	Peq (mm/hr)	Volume cenário 1 (m³)	Volume cenário 2 (m³)
24/05/2022	6,35	4,14	1587,74	2288,87
25/05/2022	16,09	16,09	5627,03	5868,23
26/05/2022	5,83	5,83	1856,54	2097,74
27/05/2022	2,61	2,61	673,21	914,41
28/05/2022	16,26	16,26	5689,51	5930,71
29/05/2022	8,94	8,94	2999,45	3240,65
30/05/2022	1,23	1,23	166,06	407,26
31/05/2022	6,63	6,63	2150,53	2391,73
01/06/2022	2,76	2,76	728,33	969,53
02/06/2022	1,76	1,76	360,84	602,04
03/06/2022	0,39	0	-74,81	98,57
04/06/2022	7,76	7,13	2434,7	2807
05/06/2022	7,65	7,65	2525,38	2766,58
06/06/2022	0,16	0	-57,09	14,04
07/06/2022	10,51	9,66	3399,53	3817,61
		Somatório	30066,95	34214,97

Cenário 1 = com captação de água de chuva; Cenário 2 = sem captação de água de chuva. Fonte: Autor (2023).

Ao analisar os dados da Tabela 8, observa-se que o volume de água lançado na bacia saiu de 34.214,97 m³ para 30.066,95 m³, apresentando uma redução de cerca de 12%. Como forma de melhor observar esse percentual de retenção de água, foi criada a Figura 24, que possibilita verificar a diferença entre as bacias com e sem a captação da água de chuva ao longo de todo período de estudo. Outro fator que é importante ressaltar são os valores negativos da tabela, que demonstra que naquele dia especifico a bacia de contribuição liberou mais água para a atmosfera e para o solo, através da evapotranspiração e infiltração, respectivamente, do que recebeu, tendo assim, a variação negativa. No dia 28/05, em que ocorreu a maior intensidade de chuva, é possível verificar o menor percentual de redução do estudo, de cerca de 4,07%, mostrando que a captação de água de chuva é mais eficiente em chuva de média a baixa intensidade (valores menores que 30 $mm.dia^{-1}$).

Figura 24 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 2 (período 1).



Fonte: Autor (2023).

Observa-se ao analisar a Figura 24, que a utilização de água da chuva nas casas do Córrego da Telha apresentou reduções do lançamento de água na bacia, até mesmo em períodos de chuvas intensas. No entanto, nota-se que a diferença entre a curvas de escoamento do volume de água que é lançado entre as simulações com captação e sem captação é pequena, isso se dá no período 1 (chuvas atípicas) do balanço hídrico apresenta precipitações diárias e em grande quantidade, não dando espaço para o sistema esvaziar o volume do dia anterior.

Para o período 2 (chuvas tradicionais), os valores são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 2 (período 2).

Datas	Intensidade (mm/hr)	Peq (mm/hr)	Cenário 1 (m³)	Cenário 2 (m³)
12/06/2022	3,66	1,45	599,18	1300,28
13/06/2022	0	0	-44,75	-44,75
14/06/2022	0	0	-44,75	-44,75
15/06/2022	0,16	0	-57,09	14,04
16/06/2022	0,66	0	-95,62	197,79
17/06/2022	0,66	0	-95,62	197,79
18/06/2022	0	0	-44,75	-44,75
19/06/2022	0	0	-44,75	-44,75
20/06/2022	4,45	2,24	889,5	1590,6
21/06/2022	1,04	1,04	96,24	337,44
22/06/2022	2,25	2,25	540,91	782,11
23/06/2022	6,89	6,89	2246,08	2487,28
24/06/2022	1,26	1,26	177,09	418,29

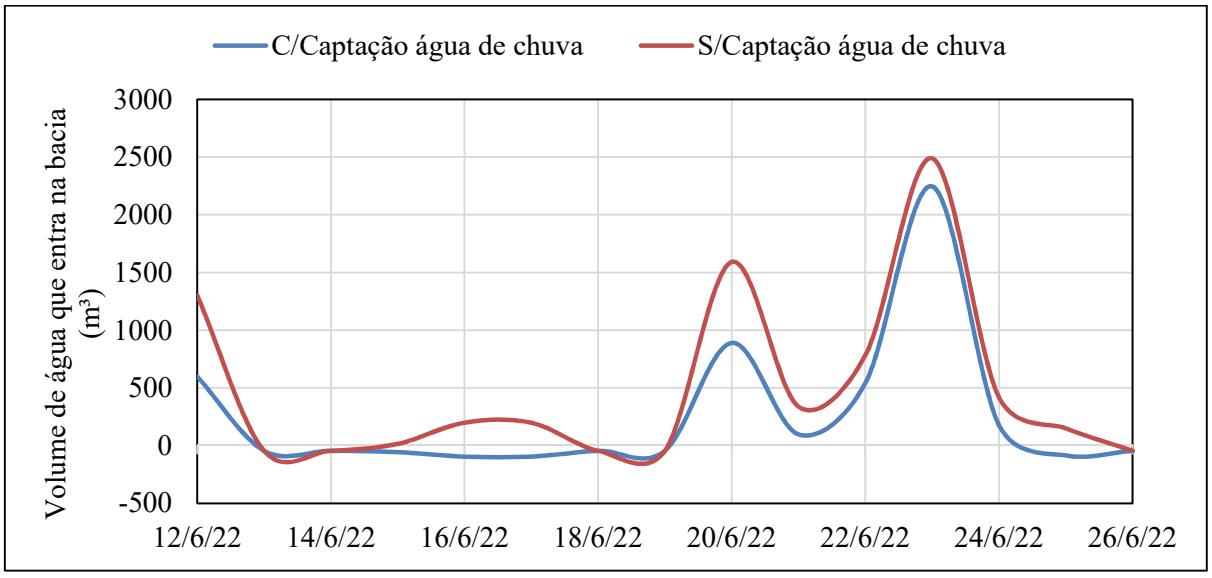
25/06/2022	0,53	0	-85,6	150,02
26/06/2022	0	0	-44,75	-44,75
		Somatório	3991,32	7251,89

Cenário 1 = com captação de água de chuva; Cenário 2 = sem captação de água de chuva.
Fonte: Autor (2023).

Para o período 2, o percentual de redução foi de cerca de 45% saindo de 7251,89 m³ para 3991,32 m³, indicando que a utilização de água de chuva se mostra mais efetiva quando se apresenta espaçamento entre os eventos chuvosos. Outro fator que demonstra grande importância está na quantidade de água que é extravasada no período 1 do balanço hídrico, esbarrando diretamente no volume de armazenamento das residências, e esse não pode ser muito maior devido à falta de espaço entre as residências assim como, para não aumentar o peso e não prejudicar a estrutura dos taludes encontrados na localidade que apresentam risco de escorregamento. Além disso, é possível verificar que a Tabela 9 apresenta uma maior quantidade de valores negativos do que a Tabela 9, isso se dá pela maior quantidade de dias sem precipitação, que consequentemente gera um balanço hídrico negativo, liberando mais água para atmosfera do que recebe.

Ao analisar o dia 23/06/2022, é possível observar que neste dia em especifico houve a maior precipitação do intervalo estudado, apresentando o menor percentual de redução de escoamento superficial, de cerca de 9,70%, reafirmando a maior eficiência da utilização de água de chuva em precipitações de média e baixa intensidade (menores que 30 mm.dia^{-1}). Outro fator importante é mostrado na Figura 25 que possibilita verificar a diferença entre as bacias com e sem a captação da água de chuva.

Figura 25 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 2 (período 2).



Fonte: Autor (2023).

Ao analisar a Figura 25, é possível observar que um grande volume de água que deixa de escoar imediatamente para a bacia, principalmente quando as precipitações antecessoras são pequenas (menores que 15 mm.dia^{-1}), como foi verificado no dia 20/06/2022, onde apresentou uma redução de cerca de 44%, reduzindo o lançamento de 1590,6 m³ para 889,5 m³.

5.4 BALANÇO HÍDRICO 3

Para a realização do 3° balanço hídrico, que considerou as chuvas antecessoras pelo método SCS-CN (SCS; USDA, 1972), foram utilizados os mesmos dados de entrada de intensidade de chuva (tópicos 5.2.1 e 5.3.2).

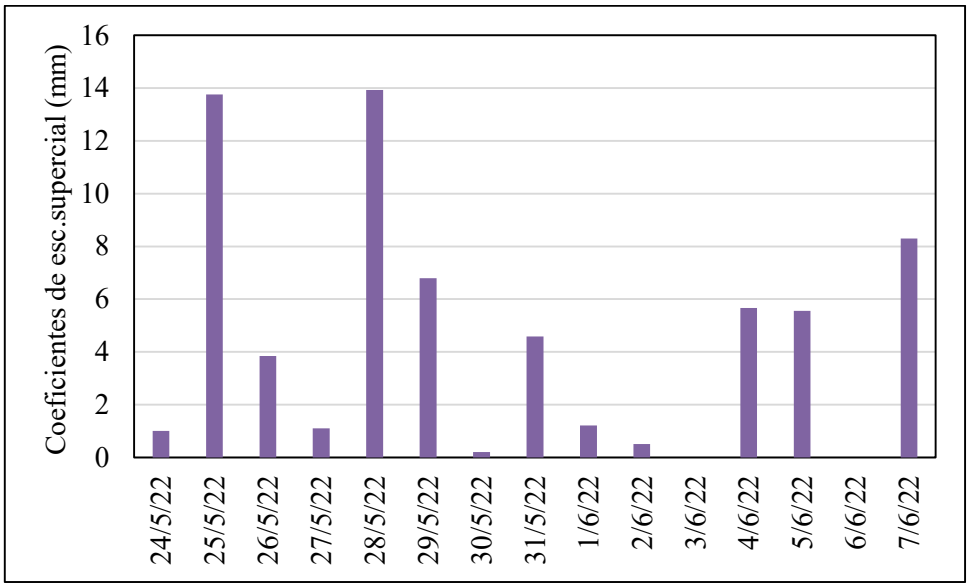
5.4.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para a realização do cálculo do escoamento superficial pelo método CN, que considerar as chuvas antecessoras como fator limitante do escoamento superficial através da infiltração, foi observado primeiramente os valores dos CN que estão presentes na área de estudo. No entanto, para facilitar a dimensionamento foi realizado uma média aritmética desses materiais, e assim, obteve o valor 86,48 (CN(II)). Este coeficiente mensurado apresenta três faixas: CN(I), que representa chuvas de pequeno porte, de até 15 mm (somatório dos últimos 5 dias); CN(II), que representa chuvas de intensidade moderada, apresentando valores entre 15 e 40 mm (somatório dos últimos 5 dias) e o CN(III), que representa chuvas de grade intensidade, apresentando valores maiores que 40mm (somatório dos 5 últimos dias) (SCS; USDA, 1972).

Desta forma, utilizando sua metodologia correspondente obtém-se o valor de CN(I) (coeficiente curva número utilizado quando a precipitação dos últimos 5 dias é inferior a 15 mm) de 72,88 e para CN(III) (coeficiente curva número utilizado quando a precipitação dos últimos 5 dias é superior a 40 mm) de 93,64.

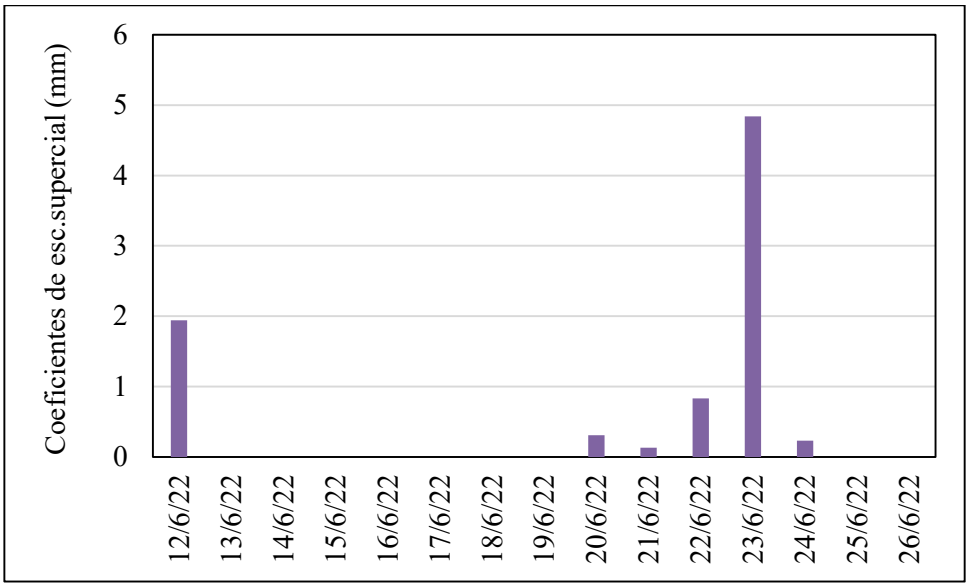
Os resultados obtidos para o coeficiente de escoamento superficial (ou coeficiente de precipitação efetiva) é apresentado nas Figura 25 e Figura 26, para os períodos 1 (Período de chuvas atípicas) e Período 2 (Período de chuvas tradicionais), respectivamente.

Figura 26 - Coeficientes de escoamento superficial (período 1).



Fonte: Autor (2023).

Figura 27 - Coeficiente de escoamento superficial (período 2).



Fonte: Autor (2023).

Desta forma, para o terceiro balanço hídrico, os coeficientes listados anteriormente foram utilizados como o 3° parâmetro de entrada. Este coeficiente representa o valor do escoamento superficial por unidade de área (m^2), sendo o valor do escoamento em ($m^3.s^{-1}$) o valor deste coeficiente multiplicado pela área do estudo.

5.4.2 APLICAÇÃO NO SOFTWARE

Adicionando as variáveis ao programa desenvolvido: intensidade, precipitação equivalente e escoamento/precipitação efetiva foi possível obter os resultados de volume de

água que entra na bacia, que serão apresentados na Tabela 11, para o cenário 1 (chuva atípicas) e cenário 2 (chuvas tradicionais de inverno).

Tabela 10 - Dados de entrada e resultados – balanço hídrico 3 (período 1).

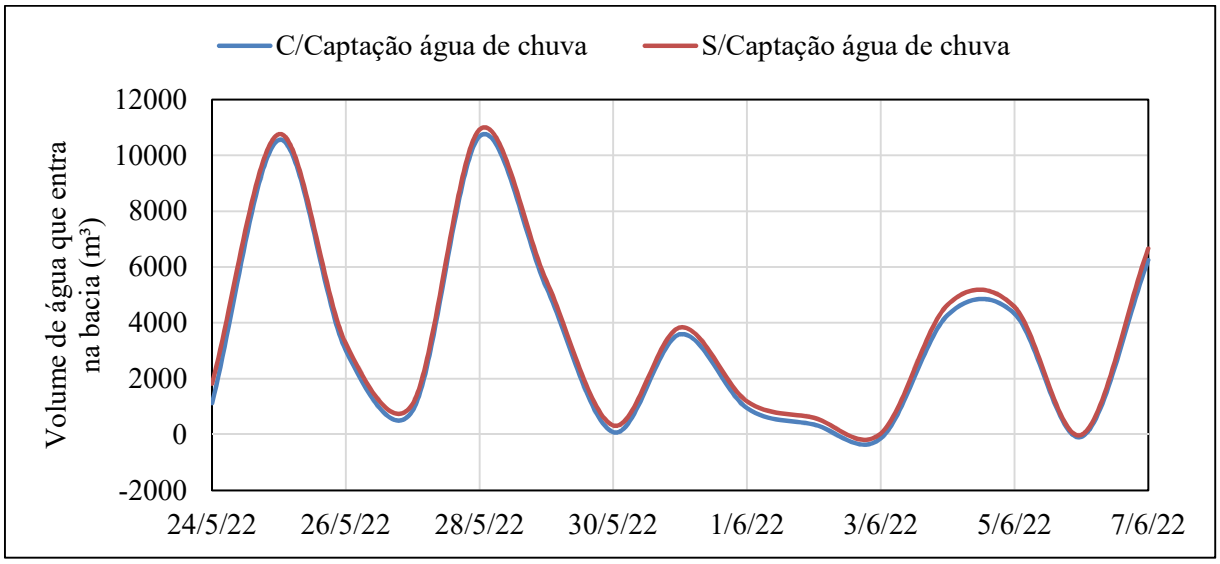
Datas	Intensidade (mm/hr)	Peq (mm/hr)	Escoamento/ pef (mm/hr)	Cenário 1 (m³)	Cenário 2 (m³)
24/05/2022	6,35	4,14	1,01	1125,07	1826,16
25/05/2022	16,09	16,09	13,76	10548,69	10756,56
26/05/2022	5,83	5,83	3,85	3021,91	3263,11
27/05/2022	2,61	2,61	1,1	855,65	1096,85
28/05/2022	16,26	16,26	13,93	10676,56	10917,76
29/05/2022	8,94	8,94	6,79	5268,65	5509,85
30/05/2022	1,23	1,23	0,21	84,26	325,48
31/05/2022	6,63	6,63	4,59	3591	3832,2
01/06/2022	2,76	2,76	1,21	946,71	1187,91
02/06/2022	1,76	1,76	0,51	357,79	598,97
03/06/2022	0,39	0	0	-136,98	36,41
04/06/2022	7,76	7,13	5,66	4277,2	4649,5
05/06/2022	7,65	7,65	5,56	4331	4572,2
06/06/2022	0,16	0	0	-82,59	-11,46
07/06/2022	10,51	9,66	8,3	6240,02	6658,1
			Somatório	51104,94	55219,6

Cenário 1 = com captação de água de chuva; Cenário 2 = sem captação de água de chuva. Fonte: Autor (2023).

Ao analisar a Tabela 11, observa-se que o volume de água da chuva que é lançado no sistema de drenagem urbana é, em média, 7% menor quando se utiliza o sistema de captação de água de chuva (cenário 1 em relação ao cenário 2). Analisando a Peq, é possível notar que em apenas 1 dia do período estudado o valor foi igual a zero, que mostra que para o intervalo estudado houve extravasamento do sistema em 14 dos 15 dias. Além disso, é possível verificar que, igualmente as tabelas anteriores, o percentual de redução de lançamento de água é menor quando as precipitações são maiores, e maiores quando a precipitação é pequena (valores menores que 15 $mm.dia^{-1}$).

Além disso, o volume diário de água de chuva lançada na bacia, com e sem o uso do PluGow é apresentado na Figura 27.

Figura 28 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 3 (período 1).



Fonte: Autor (2023).

Como o intervalo estudado apresenta chuvas constantes e em todos os dias, o solo perde a capacidade de infiltração, apresentando somente escoamento superficial. Já os reservatórios não apresentariam grandes volumes disponíveis para serem cheios, justificando o gráfico de lançamento (Figura 27) não apresentar tanta diferença entre os sistemas com e sem a captação de água da chuva. Já a simulação feita para o período 2 (período de chuvas tradicionais) é apresentada na Tabela 12.

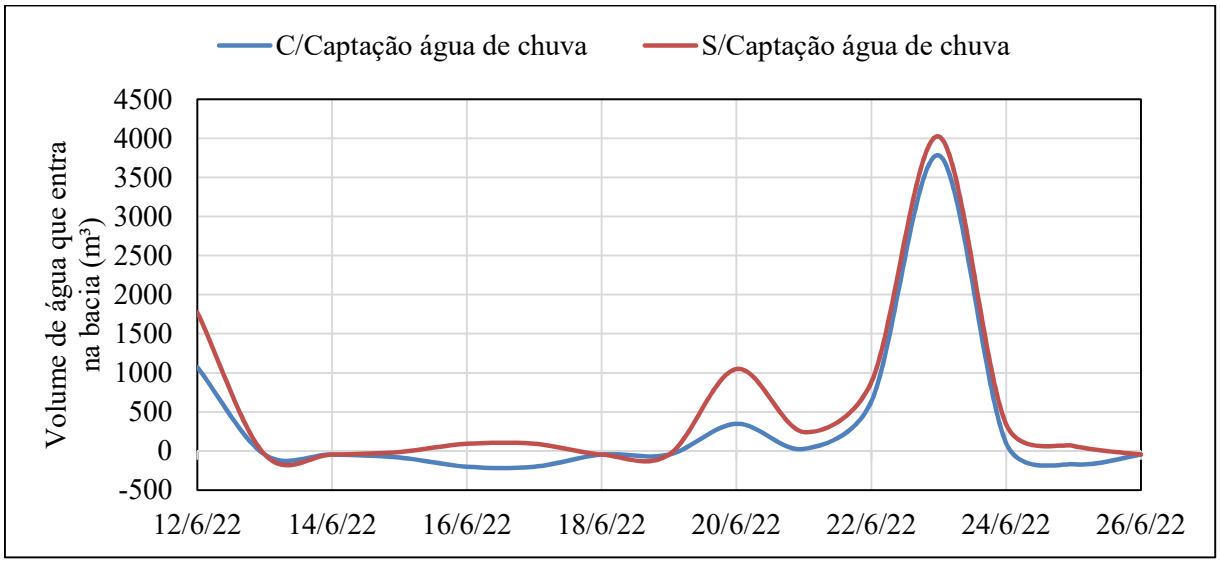
Tabela 11 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 3 (período 2).

Datas	Intensidade (mm/hr)	Peq (mm/hr)	Escoamento/ pef (mm/hr)	Cenário 1 (m³)	Cenário 2 (m³)
12/06/2022	3,66	1,45	1,94	1071,28	1772,37
13/06/2022	0	0	0	-44,75	-44,75
14/06/2022	0	0	0	-44,75	-44,75
15/06/2022	0,16	0	0	-82,59	-11,46
16/06/2022	0,66	0	0	-200,82	92,59
17/06/2022	0,66	0	0	-200,82	92,59
18/06/2022	0	0	0	-44,75	-44,75
19/06/2022	0	0	0	-44,75	-44,75
20/06/2022	4,45	2,24	0,31	348,84	1049,93
21/06/2022	1,04	1,04	0,13	27,05	242,39
22/06/2022	2,25	2,25	0,83	633,84	878,04
23/06/2022	6,89	6,89	4,84	3781,12	4022,32
24/06/2022	1,26	1,26	0,23	101,38	342,58
25/06/2022	0,53	0	0	-170,08	65,54
26/06/2022	0	0	0	-44,75	-44,75
			Somatório	5085,45	8323,14

Cenário 1 = com captação de água de chuva; Cenário 2 = sem captação de água de chuva. Fonte: Autor (2023).

Ao analisar a Tabela 12 para o período de chuvas tradicionais, é possível verificar os valores do percentual de redução, para o período 2 de cerca de 39% saindo do volume acumulado de 8323,14 m³ para 5085,45 m³. Na Figura 28, é possível observar o volume de água que entra na bacia do estudo na simulação do período 2. Sobre a Peq (Tabela 12), é possível verificar que esta apresentou valores diferentes de 0 em 6 ocasiões, mostrando então que em 6 dias houve extravasamento do sistema proposto para acumulo de água de chuva.

Figura 29 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia – balanço hídrico 3 (período 2).



Fonte: Autor (2023).

Diferentemente do período 1, o período 2 apresenta uma redução expressiva entre os cenários com e sem captação de água pluvial. O intervalo de tempo estudado no período 2 engloba maior período de estiagem, o que faz com que o reservatório de água de chuva encha e os moradores utilizem a água completamente, aguardando novos eventos chuvosos, apresentando assim, uma maior diminuição do volume de água que entraria na bacia no período 2 (de cerca de 172 mm com e 105 mm sem a captação de chuva) em relação ao período 1 (cerca de 759 mm com e 706 mm sem a captação de chuva). O dia 20/06/2022 do período 2 ilustra bem tal ocorrência e apresentaria uma redução de lançamento de 67 %, saindo de um volume de 1049,33m³ para 348,44 m³, caso o sistema de captação da chuva estivesse instalado.

5.5 COMPARATIVO DOS BALANÇOS HÍDRICOS 2 E 3

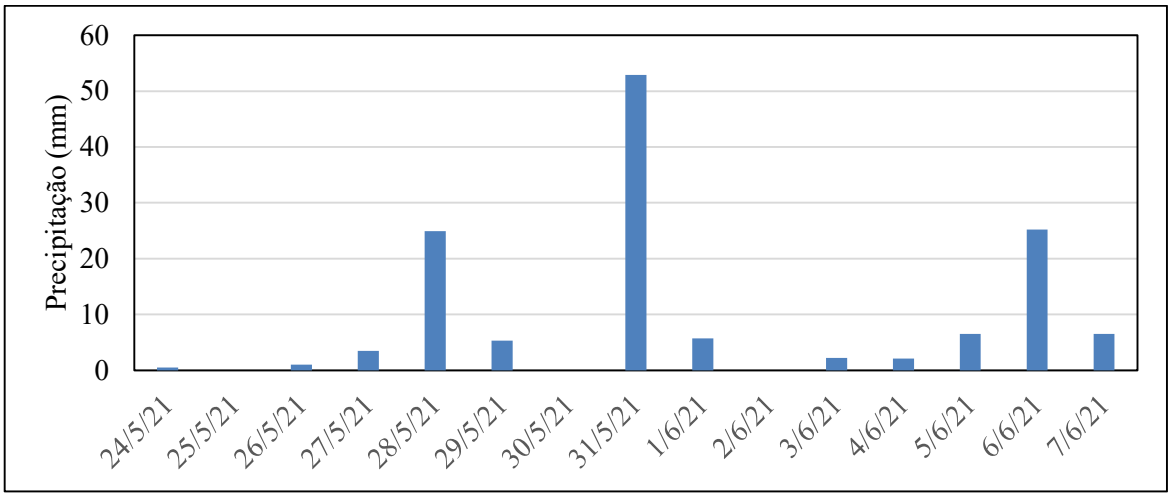
Quando comparados os valores de diminuição do valor aportado para a bacia observados entre os balanços hídricos 2 e 3 observa-se que o método que utiliza o escoamento superficial

pelo método curva número (balanço hídrico 3), que leva em conta as chuvas antecessoras para o cálculo da infiltração, resultando maior precisão dos resultados, pois apresenta uma variável adicional que é a precipitação antecessora, que possibilita a análise previa do, ou seja, através deste método é possível estimar pela precipitação dos últimos 5 dias se aquele solo ainda apresenta água decorrentes das últimas chuvas. Dessa forma, para o período 1, os valores de diminuição do aportado para a bacia variaram de 7%, para o balanço hídrico 3, até 12% para balanço hídrico 2. Já para o período 2 a diminuição correspondente variou de 39% (balanço hídrico 3) até 45% (balanço hídrico 2). Os valores de diminuição encontrados em ambas situações se mostram bem relevantes e competitivos com outras formas de retardo de lançamento de água da chuva, como é o caso dos telhados verdes.

O estudo realizado por Carter e Jackson (2007), apresentou uma simulação numérica utilizando um mecanismo de análise de águas pluviais denominado EPAs SWMM 5.0, que é um software mundialmente utilizado na área de drenagem urbana. Essa simulação utilizou-se como parâmetro de entrada a precipitação de 1232 mm no estado da Georgia- US e a utilização de telhados verdes, onde se obteve resultados de 40% a 45% de redução de lançamento de água em sistema de drenagem, a variar de acordo com a inclinação do telhado e tipo de vegetação.

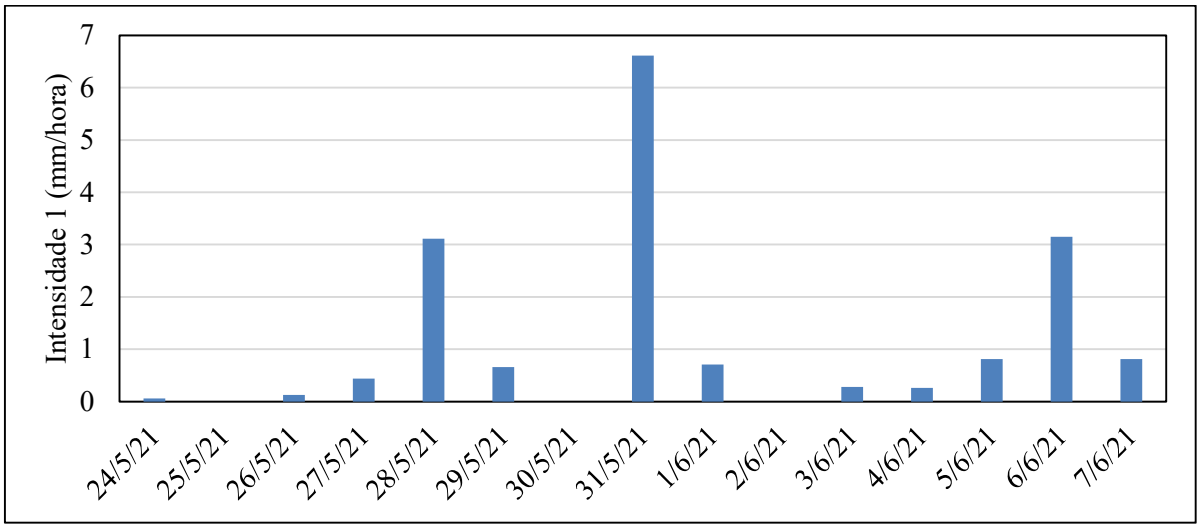
A diferença de redução, entre os períodos de estudo, está possivelmente associada à diferença pluviométrica de 759,4 mm no período 1 para 172,5 mm no período 2, sendo atípica em relação aos anos anteriores, precipitação ocorrida do dia 24/05/2022 até 07/06/2022 APAC (2023). Considerando para o balanço hídrico 3, um intervalo de dias exatamente igual ao considerados nos dois balanços hídricos anteriores, só que em 2021 (período 3 → 24/05/2021 até 07/06/2021), obteve-se: pluviometria (Figura 30), intensidade da chuva (Figura 31), precipitação equivalente (Figura 32) e escoamento superficial/precipitação efetiva (Figura 33).

Figura 30 – Pluviometria de 24/05 até 07/06/2021.



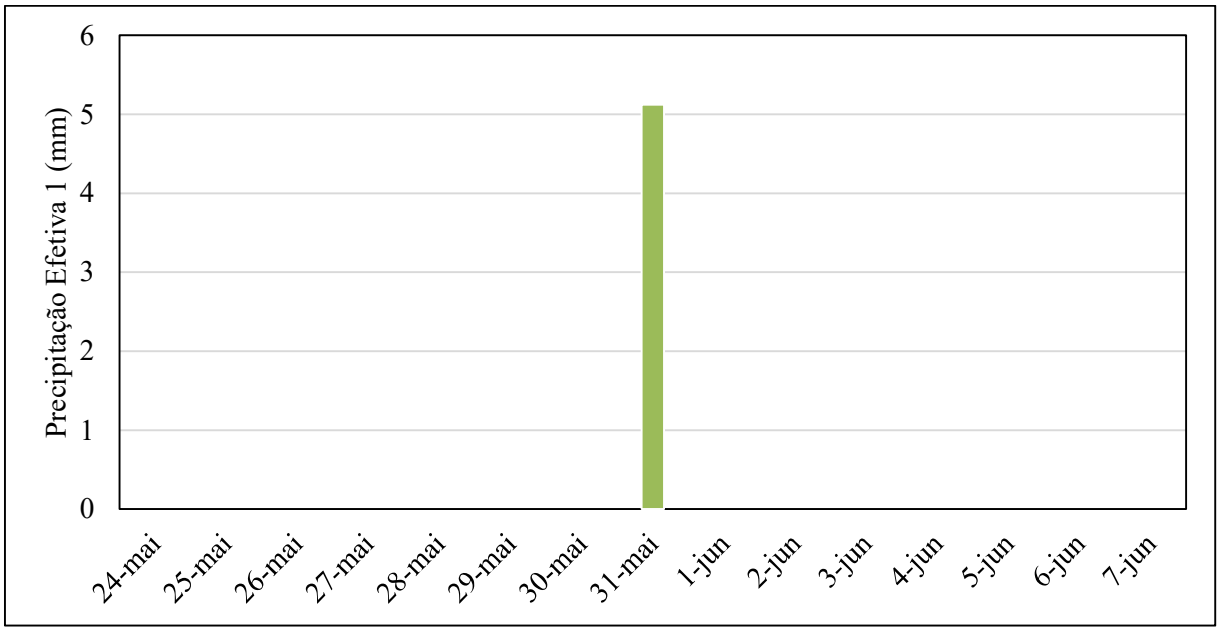
Fonte: Autor (2023).

Figura 31 - Intensidade pluviométrica de 24/05 até 07/06/2021.



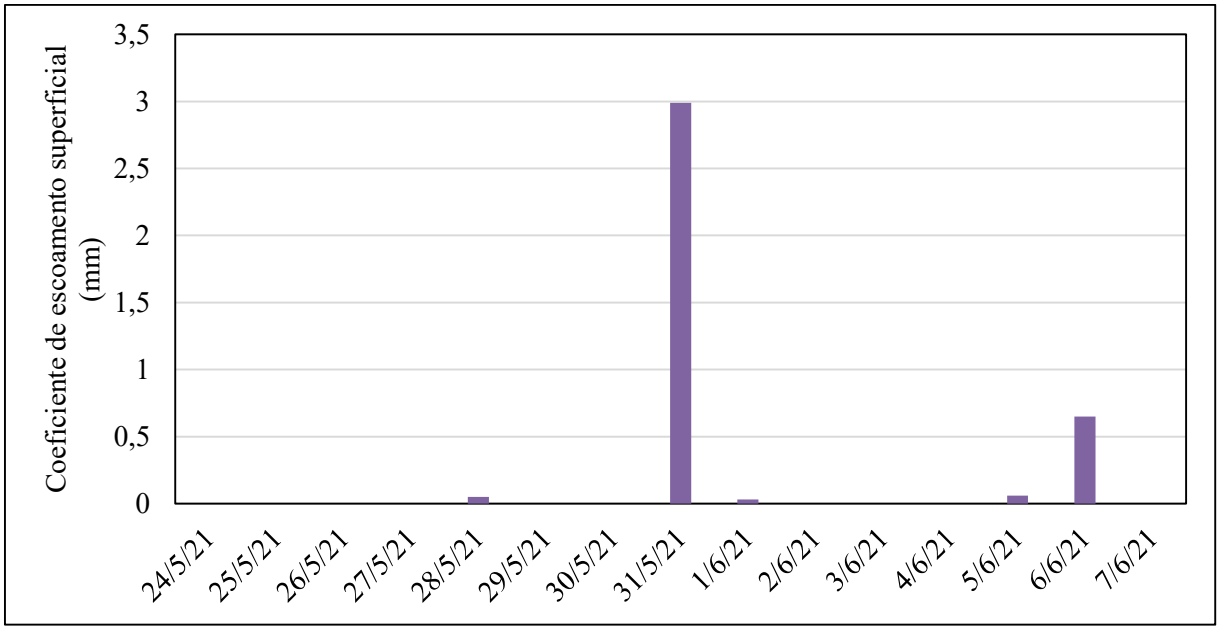
Fonte: Autor (2023).

Figura 32 - Precipitação equivalente.



Fonte: Autor (2023).

Figura 33 - Coeficiente de escoamento superficial (período 3)



Fonte: Autor (2023).

No período 3 (24/05/2021 até 07/06/2021) a pluviometria acumulada foi de 136,3 mm, e essa chuva foi dividida em 12 dias, no entanto em apenas 3 deles houve precipitação maior que 10 mm. Além disso, ao analisar a Figura 32, é possível verificar que em apenas um dia a Pef foi diferente de zero, indicando que em apenas um dia houve extravasamento do sistema proposto. Outro fator interessante, ao observar a Figura 33 é que em apenas 5 dias, o solo não foi capaz de absorver a água proveniente das chuvas, resultando em escoamento superficial. Na Tabela 12 apresenta-se os valores dos parâmetros de entrada para o balanço hídrico.

Tabela 12 - Dados de entrada e resultados do balanço hídrico 3 (período 3).

Datas	Intensidade (mm/hr)	Peq (mm/hr)	Escoamento/ pef (mm/hr)	Cenário 1 (m³)	Cenário 2 (m³)
24/05/2021	0,06	0	0	-170,08	65,54
25/05/2021	0	0	0	-44,75	-44,75
26/05/2021	0,13	0	0	-75,49	-17,7
27/05/2021	0,44	0	0	-148,8	46,81
28/05/2021	3,11	0	0,05	-258,75	629,62
29/05/2021	0,66	0	0	-200,82	92,59
30/05/2021	0	0	0	-44,75	-44,75
31/05/2021	6,61	5,12	2,99	2404,18	2957,52
01/06/2021	0,71	0	0,03	-196,33	119,31
02/06/2021	0	0	0	-44,75	-44,75
03/06/2021	0,28	0	0	-110,96	13,51
04/06/2021	0,26	0	0	-106,23	9,35
05/06/2021	0,81	0	0,06	-203,65	156,47
06/06/2021	3,15	0	0,65	67,69	964,39
07/06/2021	0,81	0	0	-236,29	123,81
			Somatório	630,22	5026,97

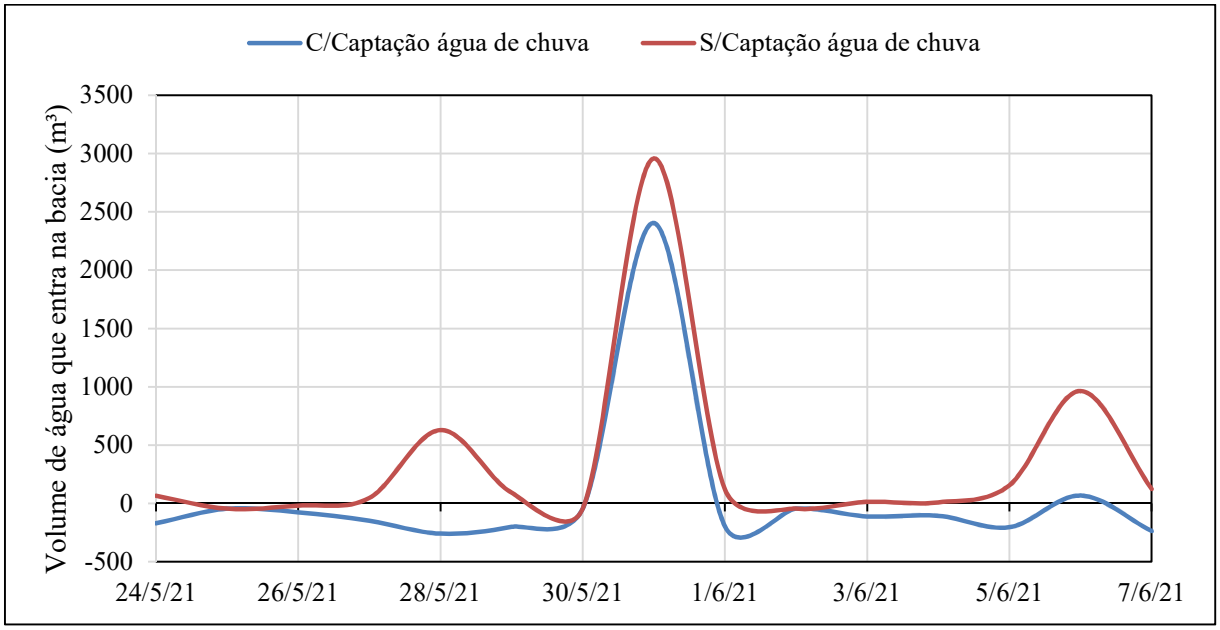
Cenário 1 = com captação de água de chuva; Cenário 2 = sem captação de água de chuva. Fonte: Autor (2023).

Os resultados obtidos no período 3 indicaram um bom resultado no quesito de percentual de redução de lançamento de água na bacia, saindo de um volume de 5026,97 m³ para 630,22 m³, apresentando um valor de redução de 87,46%. Esse valor se mostra bastante efetivo devido à ausência de chuvas com grandes intensidades e também devido ao fato do escoamento superficial ser muito pequeno. Quando comparado com o período 2 do balanço hídrico 3 (chuvas tradicionais de inverno) que apresenta pluviometria semelhante ao percentual de redução), o período 3 (24/05/2021 até 07/06/2021), apresenta maior redução de lançamento devido este intervalo apresentar chuvas mias espaçadas do que o período 2 (12/06/2022 a 26/06/2022), isso acontece devido ao solo absorver melhor pequenas precipitações de forma contínua do que precipitações com maiores intensidades em dias mais espaçados.

Também foi gerado o gráfico comparativo com os resultados da simulação com e sem a utilização de água da chuva da água que entra na bacia para o período 3 (Figura 33). Percebe-se que o volume de água aportado na bacia é bem discrepante (diferença entre cenários 1 e 2) principalmente quando se analisa tempos com precipitação baixa, deixando o solo seco, seguido de grande precipitação, em que o solo absorve maior quantidade de água. Esse fato aconteceu dos dias 24/05 até 27/05, com baixa pluviometria, quando uma maior precipitação aconteceu no dia 28/05, o solo absorveu a grande quantidade de água. Com pequenas precipitações (valores menores que 15 mm/dia), o sistema de 1300 L proposto não reservará água para o

próximo dia, então, no caso de uma grande precipitação (valores com precipitação maior que 30 mm/dia), os reservatórios serão utilizados também como um alívio ao sistema de drenagem urbana.

Figura 34 - Acompanhamento diário de lançamento de água na bacia 3° simulação (3° intervalo)



Fonte: Autor (2023).

5.6 ANÁLISES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA ÁREA DE ESTUDO

No quesito de qualidade de água, observa-se a partir de 13 análises realizadas do dia 01/03/2023 até 06/06/2023, que a água coletada nas residências estudadas apresentou variações dos parâmetros de qualidade e estão dispostos na Tabela 14 para a casa 1, na Tabela 15 para a casa 2 e na Tabela 16 para a casa 3.

Sobre a alcalinidade, as amostras provenientes das 3 casas apresentaram valores baixos No entanto, o parâmetro apresentado de acordo com a Portaria do ministério da saúde 888 não limita um valor máximo para sua utilização (BRASIL, 2021). A amostra da casa 1, em especifico, apresentou valores maiores que as demais residências. Esses possivelmente apresentam divergências devido à concentração de $(CO_3)^{-2}$ e (HCO_3) devido as fontes das águas serem distintas.

No que se refere ao parâmetro cloreto, diferentemente da alcalinidade, esse apresenta um limite pela Portaria 888 do MS, que é 250 $mg.L^{-1}$. No entanto, nas análises realizadas, em nenhuma delas foram observados valores superiores aos estipulados pelo MS. Se essas amostras

fossem maiores que a estipulada, poderiam representar riscos da presença de metais pesados na água (BRASIL, 2021).

Para a dureza total, os valores foram bem semelhantes entre as amostras coletadas nas três casas. No entanto, assim como na alcalinidade, os valores encontrados na casa 3 são menores do que as outras casas, isso pode decorrer do abastecimento proveniente de outra fonte, já que a casa 3 recebe água de poços subterrâneos. No entanto, nenhuma das amostras apresentou valor superior ao estipulado pela Portaria No 888 do MS, que é de 300 $mg.L^{-1}$ (BRASIL, 2021).

Tabela 13 - Análise de água casa 1, realizada em 2023.

Data	Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)	Cloreto (mg Cl-/L)	Dureza total (mg $CaCO_3$/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Cor (UNT)	Turbidez (PtCo)	Coliformes termotolerantes (UFC /100 mL)	*E. Coli* (NMP/100 mL)
01/03/23	20,4	27,49	12,0	6,2	130,6	< 2	0	Ausente	Ausente
08/03/23	18,6	13,00	4,0	6,54	58,1	< 2	0	Ausente	Ausente
14/03/23	11,4	22,49	13,0	6,12	67,8	< 2	0	Ausente	Ausente
24/03/23	19,9	20,99	14,0	6,02	-	< 2	0,5	Ausente	Ausente
04/04/23	10,1	17,88	19,0	5,4	125,1	< 2	0	Ausente	Ausente
11/04/23	9,3	16,87	7,0	6,75	126,2	< 2	0	Ausente	Ausente
19/04/23	15,5	17,31	27,0	5,5	120,9	< 2	0	Ausente	Ausente
25/04/23	11,9	16,56	3,0	7,51	123,9	< 2	0	Ausente	Ausente
02/05/23	7,7	16,59	38,0	7,09	134,3	3	0	Ausente	Ausente
09/05/23	16,6	12,94	7,0	7,26	146,1	10	1	Ausente	Ausente
17/05/23	96,1	-	9,0	7,64	154,5	<2	0	Ausente	Ausente
28/05/23	5,1	0,26	15,0	7,72	116,6	<2	1	Ausente	Ausente
06/06/23	9,4	17,97	10,0	4,77	132,2	35	4	1	Ausente

Fonte: Autor (2023).

Tabela 14 - Análise de água casa 2, realizada em 2023.

Data	Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)	Cloreto (mg Cl-/L)	Dureza total (mg $CaCO_3$/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Cor (UNT)	Turbidez (PtCo)	Coliformes termotolerantes (UFC /100 mL)	*E. Coli* (NMP/100 mL)
01/03/23	20,2	18,49	17,0	4,46	81,1	2,9	0	Ausente	Ausente
08/03/23	5,5	18,99	9,0	5,6	58,6	< 2	0	Ausente	Ausente
14/03/23	5,4	23,99	15,0	5,59	68,5	< 2	0	Ausente	Ausente
24/03/23	9,0	18,99	13,0	5,22	-	< 2	0	Ausente	Ausente
04/04/23	2,5	26,29	15,0	4,86	168,4	< 2	1	Ausente	Ausente
11/04/23	3,8	14,99	12,0	5,9	110,1	4	0	Ausente	Ausente
19/04/23	1,9	25,47	32,0	5,27	169,2	< 2	0	Ausente	Ausente
25/04/23	7,2	23,88	3,0	6,24	153,6	< 2	0	Ausente	Ausente
02/05/23	7,0	27,94	27,0	6,29	170,6	< 2	0	Ausente	Ausente
09/05/23	3,7	19,50	4,0	6,37	109,6	3	0	Ausente	Ausente
17/05/23	3,8	-	11,0	6,61	119,2	< 2	0	Ausente	Ausente
28/05/23	0	0,29	14,0	7,12	165,4	< 2	0	30	Ausente
06/06/23	0	2,32	17,0	4,82	172,4	4	1	>100	1

Fonte: Autor (2023).

Tabela 15 - Análise de água casa 3, realizada em 2023.

Data	Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)	Cloreto (mg Cl-/L)	Dureza total (mg $CaCO_3$/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Cor (UNT)	Turbidez (PtCo)	Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)	*E. Coli* (NMP/100 mL)
01/03/23	0	26,49	8,0	4,52	81,7	2,2	0	>100	>100
08/03/23	6,1	16,99	0	4,59	35,2	3,7	1,3	>100	>100
14/03/23	1,6	14,5	7,0	4,81	31	< 2	0	>100	>100
24/03/23	1,1	14,5	6,0	5,13	-	8,4	1,3	>100	>100
04/04/23	1,0	12,81	9,0	4,32	68,5	< 2	0	82	2
11/04/23	1,3	10,02	7,0	4,36	71,8	< 2	0	>100	5
19/04/23	1,8	9,92	22,0	5,3	72,2	< 2	0	63	Ausente
25/04/23	0	0,93	8,0	5,91	71,4	< 2	0	>100	5
02/05/23	0	11,59	23,0	5,86	73,6	< 2	0	>100	8
09/05/23	1,2	16,94	1,0	6,06	73	6	0	>100	>100
17/05/23	1,5	-	13,0	6,29	69,5	6	0	>100	Ausente
28/05/23	1,3	0,27	8,0	6,96	69,6	4	0	>100	13
06/06/23	8,0	11,66	0	4,96	71,2	3	0	>100	Ausente

Fonte: Autor (2023).

Sobre o parâmetro pH, é possível verificar ao analisar as tabelas acima que os resultados da primeira residência, apresentam em todo o período de estudo valor mínimo de 4,77 e máximo de 7,72. Para a casa 2 foi encontrado valores entre 4,46 até 7,12 e para a casa 3, de 4,32 até 6,96. Para essas casas, os valores de pH podem ter tido influências externas. A casa 2, apresenta reservatório de fácil acesso e que não usa exclusivamente água do sistema de abastecimento, e a casa 3, pode sofrer influência direta do solo, uma vez que o poço dessa residência não chega a 15 metros, sendo classificado como um poço raso.

Para o parâmetro condutividade elétrica, não se observou uniformidade nos resultados entre as 3 residências, principalmente quando comparadas a água de sistema de abastecimento tradicional comparados a casa 3 que utiliza água de fontes subterrâneas. Para essas duas casas os valores foram semelhantes e menores de 175 $\mu S.cm^{-1}$, no entanto, para a casa 3 apresentou valores mais baixos em todas as análises. As casas apresentaram em média de 120 $\mu S.cm^{-1}$ para a casa 1, 129 $\mu S.cm^{-1}$ para a casa 2 e 66 $\mu S.cm^{-1}$ para a casa 3.

Analisando o parâmetro de cor aparente, é possível perceber que as três casas apresentaram valores menores que as normativas do país, que estipula 15uH pela Portaria No. 888 do MS (BRASIL, 2021). No entanto, a casa 1 apresentou em uma análise, valores fora do permitidos, onde foi encontrado valor 35uH, isso se justifica devido a residência no dia da coleta estar a vários dias sem receber água da companhia de abastecimento.

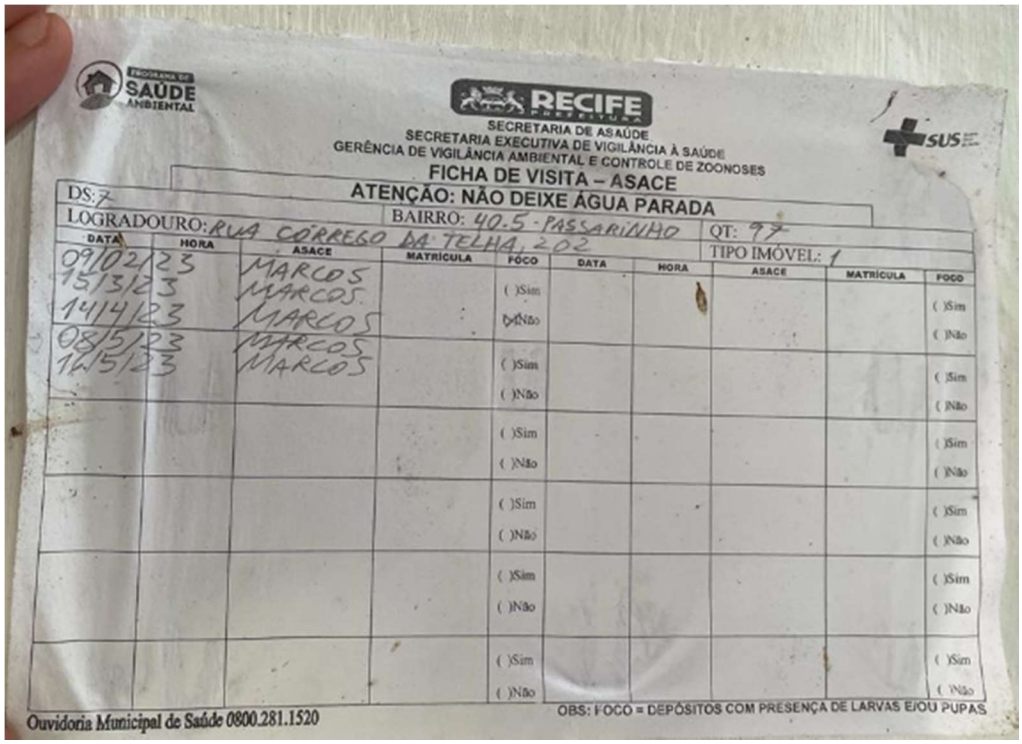
Para o último parâmetro físico-químico analisado, a turbidez, que mede a quantidade de sólidos em suspensão, foi possível verificar que os valores encontrados em todas as casas são sempre inferiores às normativas de padronização da água estipuladas pela portaria do ministério da saúde N° 888, tendo seu maior valor encontrado na casa 1, de 4uT, sendo o estipulado como máximo 5uT (BRASIL, 2021).

Analisando os parâmetros bacteriológicos como coliformes termotolerantes e presença de *E. Coli*, observou-se que as amostras provenientes da casa 1 apresentaram em uma única análise o valor de 1 $UFC.(100\ mL)^{-1}$ para coliformes termotolerantes, isso pode ser justificado pela ausência de abastecimento nos dias antes da coleta, no entanto, a casa 1 apresenta um local de análise, (torneira dentro da residência), onde a água fica armazenada longe do contato com humanos. Para as casas 2 e 3, as coletas foram realizadas em caixas d'água, que estão em contato direto com o manuseio humano para encher baldes e bacias para o uso. A casa 2 apresentou coliformes em 2 das 13 análises e *E. coli* em 1 das 13 análises. A casa 3, onde o abastecimento de água é mais precário devido ao não fornecimento de água pela companhia de saneamento do estado, é onde a situação é mais crítica, apresentando valores de coliformes em todas as amostras e *E. Coli* em 10 das 13 análises (Tabela 16). A normativa brasileira portaria

do ministério da saúde N° 888 que estipula que para a utilização plena da água para consumo humano, os valores de coliformes termotolerantes e *E. coli* devem ser 0 UFC.$(100\ mL)^{-1}$ (BRASIL, 2021).

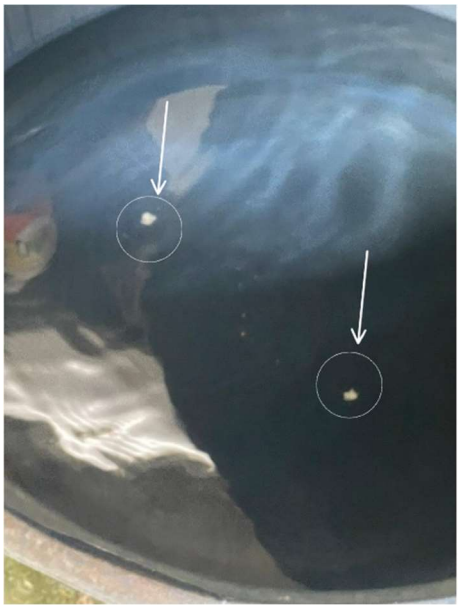
A situação da casa 3 poderia ter sido contornada com as visitas de agentes de saúde, como mostrado na Figura 35, nessas visitas foram utilizados sanitizantes (Figura 36) a fim de levar maior segurança para à família que não dispõe de água da companhia de saneamento há vários anos.

Figura 35 - Ficha de visitas dos agentes de saúde.



Fonte: Autor (2023).

Figura 36 – Reservatório de água da casa 3



Fonte: Autor (2023).

No entanto, verificando os estudos da qualidade da água da casa 3, é possível perceber que este o material utilizado pelos agentes de saúde, não foi suficiente ou foi aplicado de maneira incorreta, não conseguindo eliminar os coliformes e *E. coli* dá água utilizada pela família.

6 CONCLUSÃO

O acesso à água potável e ao saneamento básico é um direito humano. No entanto, famílias que estão localizadas em áreas de morros apresentam grande dificuldade para garantir esse direito. O aumento da disponibilidade hídrica pela utilização de água da chuva promove uma maior autossuficiência para as famílias, além de favorecer uma redução no consumo de água tratada.

Através dos resultados provenientes das simulações para o primeiro intervalo (período 1) de estudo do balanço hídrico 1 (meses de maio e junho de 2022), foi possível verificar uma economia maior que 80% no consumo de água, e para o intervalo de estudo anual, que vai do mês de junho de 2021 até maio de 2022, apresentou uma economia maior, de cerca de 40%. Em 91,80% do período 1 haveria água de chuva para uso potável caso o sistema de captação e tratamento proposto tivesse sido instalado. Para o intervalo anual esse percentual passaria para 67,76%. Isso indica que o abastecimento de água por fontes pluviais seria mais frequente que o abastecimento da companhia de saneamento do estado que, quando existe na área, ocorre em escala de 12 por 36 horas, ou seja, 25% do tempo.

Com os balanços hídricos 2 e 3, foi possível calcular a variação de água de chuva aportada à bacia estudada, e pôde-se observar resultados promissores, como a redução de cerca de 38,90% a 44,96% em épocas chuvosas tradicionais, e cerca de 7,45 a 12,12% em épocas com chuvas atípicas com intensidades pluviométricas consideravelmente grandes (>30mm.dia-1), aumentando a quantidade de água que entra na bacia, e que são responsáveis pelos alagamentos das planícies, deslizamentos de encostas e problemas com a mobilidade urbana.

Os dados obtidos do monitoramento da água reservada corroboram com as boas perspectivas da reservação da água de chuva. Em residências que estão há mais de 2 anos sem receber água da companhia de saneamento local, observa-se a prática (necessária) de utilizar fontes de água disponíveis ainda que sem qualquer tipo de tratamento. Com isso, agrava-se os riscos à saúde dos moradores, podendo, inclusive, resultar em riscos à saúde. Ao mesmo tempo, essa comunidade sofre com riscos de deslizamentos, alagamentos e insegurança. Dessa forma, o uso da água da chuva pode trazer benefícios que vão muito além da economia, podendo contribuir para a dignidade das famílias e assegurar o direito mínimo a água.

Há benefícios que são mais difíceis de serem mensurados. Nesse contexto, concluiu-se que a reservação e potabilização da água de chuva pode contribuir para minimizar os riscos de deslizamentos de moradias localizadas em áreas de morro, auxiliar na melhoria da mobilidade

urbana, auxiliar na mitigação de desigualdade no abastecimento de água e minimizar problemas urbanos decorrentes de eventos pluviométricos extremos.

7 REFERÊNCIAS

ABBASI, T.; ABBASI, S. A. Sources of Pollution in Rooftop Rainwater Harvesting Systems and Their Control. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, vol. 41, nº 23, p. 2097–2167, dez. 2011. https://doi.org/10.1080/10643389.2010.497438.

ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, vol. 243, nº 1–3, p. 195–207, jul. 2009. https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos**. 2º ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

ALBUQUERQUE, R. D.; DANTAS, C. E. O.; ARAÚJO, E. L.; VASCONCELOS, T. L. Distribuição temporal das precipitações no município do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 6, nº 2, p. 245–252, 2013. .

ALI, M.; NELSON, A. R.; LOPEZ, A. L.; SACK, D. A. Updated Global Burden of Cholera in Endemic Countries. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, vol. 9, nº 6, 4 jun. 2015. https://doi.org/10.1371/80reas80.pntd.0003832.

ALVES, F.; KÖCHLING, T.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid 80reas in Brazil. **Journal of Water and Health**, vol. 12, nº 3, p. 513–525, 1 set. 2014. https://doi.org/10.2166/wh.2014.139.

ALZARRAD, A.; EMANUELS, C.; IMTIAZ, M.; AKBAR, H. Automatic Assessment of Buildings Location Fitness for Solar Panels Installation Using Drones and Neural Network. **CivilEng**, vol. 2, nº 4, p. 1052–1064, 18 dez. 2021. https://doi.org/10.3390/civileng2040056.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Usos da água**. 2023. Agência Nacional de Águas. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua#:~:text=No%20Brasil%2C%20a%20água%20é,e%20de%20qualidade%20das%20águas. Acessado em: 14 jan. 2023.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Climas. Monitoramento Pluviométrico. 2022. Disponível em: http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#. Acessado em: 9 fev. 2023.

ASA – Articulação Semiárido Brasileiro. Programa um milhão de cisternas. 2023. **Articulação Semiárido Brasileiro**. Disponível em: https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc. Acessado em: 6 abr. 2023.

ASCE – American Society of Civil Engineers; Wpcf – Water Pollution Control Federation. **Design and construction of sanitary and storm sewers**. New York: American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Federation, 1969.

BAINY, B. K.; AVILA, A. M. H.; SILVA, P. H.. Chuvas intensas e ocorrência de alagamentos. **Labor e Engenho**, vol. 16, p. e022004, 1 set. 2022. https://doi.org/10.20396/labore.v16i00.8667944.

BAPTISTA, M. B.; CARDOSO, A. S. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história... **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, vol. 20, nº 2, 11 abr. 2013. https://doi.org/10.35699/2316-770X.2013.2693.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

BHATNAGAR, S.; GILL, L.; GHOSH, B. Drone Image Segmentation Using Machine and Deep Learning for Mapping Raised Bog Vegetation Communities. **Remote Sensing**, vol. 12, nº 16, p. 2602, 12 ago. 2020. https://doi.org/10.3390/rs12162602.

BIERKENS, M. F.P.; STIJN R.; JENS A. B.; WILLEKE V.; YOSHIHIDE W. The shadow price of irrigation water in major groundwater-depleting countries. Water Resources Research, v. 55, n. 5, p. 4266-4287, 2019.

BOZKURT, A. I.; OZGUR, S.; OZCIRPICI, B. Association between household conditions and diarrheal diseases among children in Turkey: A cohort study. **Pediatrics International**, vol. 45, nº 4, p. 443–451, ago. 2003. https://doi.org/10.1046/j.1442-200X.2003.01745.x.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília: Presidência da República, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acessado em: 21 nov. 2022.

BRASIL. **Lei Federal nº 13.501, de 30 de outubro de 2017**. Brasília: Presidência da República, 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13501.htm#art1. Acessado em: 21 nov. 2022.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html. Acessado em: 6 jan. 2023.

BRASIL. **Projeto de Lei n° 1.397, de 24 de março de 2023**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2023. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2249307. Acessado em: 5 abr. 2023.

CAMPINAS. **Lei Municipal nº 12.474 de 16 de janeiro de 2006**. Campinas: Prefeitura de Campinas, 2006. Disponível em: http://leismunicipa.is/hofdc. Acessado em: 4 abr. 2023.

CAMPISANO, A.; BUTLER, D.; WARD, S.; BURNS, M. J.; FRIEDLER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, L. N.; GHISI, E.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H.; HAN, M. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. **Water Research**, vol. 115, p. 195–209, maio 2017. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Appropriate resolution timescale to evaluate water saving and retention potential of rainwater harvesting for toilet flushing in single houses. **Journal of**

Hydroinformatics, vol. 17, nº 3, p. 331–346, 1 maio 2015. https://doi.org/10.2166/hydro.2015.022.

CARTER, T.; JACKSON, C. R. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. **Landscape and Urban Planning**, vol. 80, nº 1–2, p. 84–94, mar. 2007. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.005.

CARVALHO, J. R. S.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region. **Journal of Water and Health**, vol. 16, nº 3, p. 391–402, 1 jun. 2018. https://doi.org/10.2166/wh.2018.208.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos geológicos. *In*: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (orgs.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. p. 131–144.

CHAVES, S. C. S.; CARVALHO, V. S.; BARBOSA, I. M. B. R.; FERREIRA, A. A. Caracterização hidroquímica de águas subterrâneas da Região Metropolitana do Recife-PE. **Diversitas Journal**, vol. 7, nº 4, p. 2391–2398, 2022. https://doi.org/10.48017/dj.v7i4.2106.

CHEN, H. X.; ZHANG, L. M. A physically-based distributed cell model for predicting regional rainfall-induced shallow slope failures. **Engineering Geology**, vol. 176, p. 79–92, jun. 2014. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.04.011.

CHOCAT, B. **Encyclopedie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement**. Paris, France: Tec & Doc, Lavoisier, 1997.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. Calendário de abastecimento da COMPESA. 2023. Disponível em: https://servicos.compesa.com.br/calendario-de-abastecimento-da-compesa/. Acessado em: 21 mar. 2023.

CÔRTES, P. L.; TORRENTE, M.; PINTO ALVES PINTO, A.; RUIZ, M. S.; DIAS, A. J. G.; RODRIGUES, R. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos Avançados**, vol. 29, nº 84, p. 7–26, ago. 2015. https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200002.

CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters; UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000–2019)**. Brussels, Belgium: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) and United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2020. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019. Acessado em: 27 jan. 2023.

DATTA, P. S. **Water Harvesting for Groundwater Management**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2019. https://doi.org/10.1002/9781119472087.

DE GRAAF, R. E. **Innovations in urban water management to reduce the vulnerability of cities: Feasibility, case studies and governance**. 2009. Thesis (Doctoral) – Civil Engineering and Geosciences, Delft, 2009.

DESPINS, C.; FARAHBAKHSH, K.; LEIDL, C. Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, vol. 58, nº 2, p. 117–134, mar. 2009. https://doi.org/10.2166/aqua.2009.013.

DUJARDIN, J.; ANIBAS, C.; BRONDERS, J.; JAMIN, P.; HAMONTS, K.; DEJONGHE, W.; BROUYÈRE, S.; BATELAAN, O. Combining flux estimation techniques to improve characterization of groundwater–surface-water interaction in the Zenne River, Belgium. **Hydrogeology Journal**, vol. 22, nº 7, p. 1657–1668, 9 nov. 2014. https://doi.org/10.1007/s10040-014-1159-4.

EL-SAYED, A.; KAMEL, M. Climatic changes and their role in emergence and re-emergence of diseases. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 27, nº 18, p. 22336–22352, 2020. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08896-w.

ESPÍRITO SANTO. **Lei Estadual nº 9.439, de 3 de maio de 2010**. Espírito Santo: Governo do Estado do Espírito Santo, 2010. Disponível em: https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LEI94392010.html. Acessado em: 4 abr. 2023.

FEWTRELL, L.; KAUFMANN, R. B.; KAY, D.; ENANORIA, W.; HALLER, L.; COLFORD, J. M. Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Infectious Diseases**, vol. 5, nº 1, p. 42–52, jan. 2005. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(04)01253-8.

FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; MCDONALD, R. I. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. **Nature Sustainability**, vol. 1, nº 1, p. 51–58, 8 jan. 2018. https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SANTOS, D.; SABOYA, L. M. F. Evapotranspiração de referência mensal e anual pelo método de Thornthwaite para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 20, 1 ago. 2017. https://doi.org/10.5380/abclima.v20i0.41569.

FRANCO, R. P. **Captando consciência: uma proposta de um sistema piloto de aproveitamento de água de chuva**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

FRENI, G.; LIUZZO, L. Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems for Flood Reduction in Residential Urban Areas. **Water**, vol. 11, nº 7, p. 1389, 6 jul. 2019. https://doi.org/10.3390/w11071389.

GARRICK, D.; DE STEFANO, L.; YU, W.; JORGENSEN, I.; O'DONNELL, E.; TURLEY, L; AGUILAR-BARAJAS, I.; DAI, X.; DE SOUZA LEÃO, R.; PUNJABI, B.; SCHREINER, B.; SVENSSON, J.; WIGHT, C. (2019). Rural water for thirsty cities: a systematic review of water reallocation from rural to urban regions. **Environmental Research Letters**. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ab0db7

GEROLIN, A.; KELLAGHER, R. B.; FARAM, M. G. Rainwater harvesting systems for stormwater management: feasibility and sizing considerations for the UK. 2010. **Proceedings**

of 7th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management [...]. Lyon, France: Novatech, 2010.

GODSKESEN, B.; HAUSCHILD, M.; RYGAARD, M.; ZAMBRANO, K.; ALBRECHTSEN, H.-J. Life-cycle and freshwater withdrawal impact assessment of water supply technologies. **Water Research**, vol. 47, nº 7, p. 2363–2374, maio 2013. https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.005.

GRUEN, A. Scientific-technological developments in photogrammetry and remote sensing between 2004 and 2008. *In*: LI, Z.; CHEN, J.; BALTSAVIAS, E. (orgs.). **Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Zurich, Switzerland: CRC Press, 2008. p. 21–25. https://doi.org/10.1201/9780203888445.ch2.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia, U.S: Geological Survey Circular 1325, 2008.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/e7d9e125-7b22-4706-915b-a397f8a91784/2928658.pdf. Acessado em: 22 abr. 2023.

HUGENHOLTZ, C. H.; WALKER, J.; BROWN, O.; MYSHAK, S. Earthwork Volumetrics with an Unmanned Aerial Vehicle and Softcopy Photogrammetry. **Journal of Surveying Engineering**, vol. 141, nº 1, fev. 2015. https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000138.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3451. Acessado em: 2 jun. 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil (Período: 1991-2020). 2022. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acessado em: 31 mar. 2022.

JASECHKO, .; SEYBOLD, H.; PERRONE, D.; FAN, Y.; SHAMSUDDUHA, M.; TAYLOR, R. G.; FALLATAH, O.; KIRCHNER, J. W. Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally. **Nature**, vol. 625, nº 7996, p. 715–721, 2024. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06879-8.

JOODI, A. S.; SIZARET, S.; BINET, S.; BRUAND, A.; ALBERIC, P.; LEPILLER, M. Development of a Darcy-Brinkman model to simulate water flow and tracer transport in a heterogeneous karstic aquifer (Val d'Orléans, France). **Hydrogeology Journal**, vol. 18, nº 2, p. 295–309, 10 mar. 2010. https://doi.org/10.1007/s10040-009-0536-x.

KE, Z.; HONG, W.; JIANXING, L.; YUGUANG, Z.; FANGPING, C.; ZHENGJUN, Y. Deformation and failure mechanism of colluvial landslide under sustained rainfall-a case study of Xinzhan landslide in Tongzi County, China. **Alexandria Engineering Journal**, vol. 71, p. 89–103, maio 2023. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.03.044.

KOCH, H.; SILVA, A. L. C.; LIERSCH, S.; AZEVEDO, J. R. G.; HATTERMANN, F. F. Effects of model calibration on hydrological and water resources management simulations under climate change in a semi-arid watershed. **Climatic Change**, vol. 163, nº 3, p. 1247–1266, 2020. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02917-w.

LERNER, D. N.; HARRIS, B. The relationship between land use and groundwater resources and quality. **Land Use Policy**, vol. 26, p. S265–S273, dez. 2009. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.005.

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

MARDER, L. **Melhoria da gestão e controle da distribuição de água pelo exército brasileiro: estudo de caso da operação carro-pipa**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão de Administração Pública) – Centro Universitário do Sul de Minas, Salvador, 2019.

MARTINS, P. A. S.; QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. S.; BENTOLILA, L. B. V.; SILVA, P. C. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) para o município de Manicoré, na mesorregião sul do Amazonas. **IRRIGA**, vol. 25, nº 3, p. 641–655, 28 set. 2020. https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p641-655.

MENDONÇA, M. H. M.; MORAES ROSENO, S. A.; LEITE CACHOEIRA, T. R.; SOUZA SILVA, Á. F.; ARAÚJO JÁCOME, P. R. L.; JÁCOME JÚNIOR, A. T. Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 12, nº 3, p. 468, 2 maio 2017. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1934.

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F.; ZANANDREA, F.; PAUL, L. R.; SCHWARZ, H.; CARDOZO, G. L. Efeitos da vegetação na modelagem de estabilidade de encostas na bacia hidrográfica do rio Cunha, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 22, nº 4, 19 set. 2021. https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.2008.

MOE, C. L.; RHEINGANS, R. D. Global challenges in water, sanitation and health. **Journal of Water and Health**, vol. 4, nº S1, p. 41–57, 1 jul. 2006. https://doi.org/10.2166/wh.2006.0043.

MSELI, Z. H.; SAID, A.; SANKARANNA, G.; MWEGOHA, W. J. The sustainability of groundwater in semi-arid regions: the case of Makutupora Basin in Tanzania. **AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society**, vol. 72, nº 9, p. 1731–1747, 2023. https://doi.org/10.2166/aqua.2023.056.

NASERISAFAVI, N.; YAGHOUBI, E.; SHARMA, A. K. Alternative water supply systems to achieve the net zero water use goal in high-density mixed-use buildings. **Sustainable Cities and Society**, vol. 76, p. 103414, jan. 2022. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103414.

NERY, J. F.; NERY, G. K. M.; MELO, M. N.; MEDEIROS, S. S. Águas Inseguras? Monitoramento da qualidade da água estocada em cisternas no semiárido paraibano. **Revista**

Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, vol. 1, nº 54, p. 113, 29 mar. 2021. https://doi.org/10.18265/1517-0306a2021v1n54p113-120.

NITERÓI. **Lei Municipal n° 2.856, de 25 de julho de 2011**. Niterói: Prefeitura de Niterói, 2011. Disponível em: http://leismunicipa.is/bplrk. Acessado em: 4 abr. 2023.

NITERÓI. **Lei Municipal nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009**. Niterói: Prefeitura de Niterói, 2009. Disponível em: http://leismunicipa.is/ipjlr. Acessado em: 4 abr. 2023.

OKI, T.; KANAE, S. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. **Science**, vol. 313, nº 5790, p. 1068–1072, 2006. https://doi.org/10.1126/science.1128845.

OLIVEIRA, J. Â. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Mather para o município de Conceição do Mato Dentro – MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, vol. 13, nº 1, p. 3203–3211, 22 abr. 2019. https://doi.org/10.7127/RBAI.V13N100939.

OLIVEIRA-ANDREOLI, E. Z.; SILVA, F. L.; LÓPEZ, F. M. A.; MACHADO, R.; TEODORO, C. C.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; CUNHA-SANTINO, M. B.; FUSHITA, A. T.; CRESTANA, S. Importância do planejamento regional para a manutenção dos usos múltiplos da água em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, nº 52, p. 16–27, 2 nov. 2019. https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190479.

PARISI, S. A.; SOARES, W. A.; ROSA FILHO, C. D. Análise da capacidade de infiltração para atenuação de alagamento em um ponto crítico na cidade do Recife. **Águas Subterrâneas**, vol. 34, nº 2, p. 236–249, 24 jul. 2020. https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29494.

PARREIRA, A. G. B.; MARASCA, I.; SOLINO, A. J. S.; SANTOS, G. O. Balanço hídrico climatológico para o município de rio verde, Goiás. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, vol. 6, nº 1, p. 26–33, 28 maio 2019. https://doi.org/10.29247/2358-260X.2019v6i1.p26-33.

PÉREZ, M.; AGÜERA, F.; CARVAJAL, F. Low cost surveying using an unmanned aerial vehicle. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XL-1/W2, p. 311–315, 2013. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-311-2013.

PICHEL, N.; VIVAR, M.; FUENTES, M. The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. **Chemosphere**, vol. 218, p. 1014–1030, 2019. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.205.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

RECIFE. **Lei Municipal nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015**. Recife: Prefeitura do Recife, 2015. Disponível em: http://leismunicipa.is/cjeuk. Acessado em: 4 abr. 2023.

ROCHA, J. C. N. **Desinfecção de efluente sanitário anaeróbio com cloro: formação de trihalometanos e inativação microbiana**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SANTOS, S. M.; DE FARIAS, M. M. M. W. E. C. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, vol. 164, p. 1007–1015, out. 2017. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.251.

SANTOS, H. P. M. **Algodão herbáceo colorido irrigado com esgoto sanitário tratado e com água de poço submetido à adubação nitrogenada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

SANTOS, L. C. C. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SÃO GONÇALO. **Lei Municipal n° 348, de 3 de junho de 2011**. São Gonçalo: Prefeitura de São Gonçalo, 2011. Disponível em: http://leismunicipa.is/sargk. Acessado em: 4 abr. 2023.

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. **Lei Municipal nº 10.578, de 22 de fevereiro de 2010**. São José do Rio Preto: Prefeitura de São José do Rio Preto, 2010. Disponível em: http://leismunicipa.is/srhlb. Acessado em: 4 abr. 2023.

SÃO PAULO. **Lei Municipal nº 16.174, de 22 de abril de 2015**. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2015. Disponível em: http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16174-de-22-de-abril-de-2015. Acessado em: 4 abr. 2023.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, vol. 41, nº 9, p. 2039–2047, 2007. https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.037.

SCHOUTEN, M.; HALIM, R. D. Resolving strategy paradoxes of water loss reduction: A synthesis in Jakarta. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 54, nº 12, p. 1322–1330, 2010. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.006.

SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs**. Washington, DC: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SCHUETZE, T. Rainwater harvesting and management – policy and regulations in Germany. **Water Supply**, vol. 13, nº 2, p. 376–385, 1 mar. 2013. https://doi.org/10.2166/ws.2013.035.

SCS – Soil Conservation Service; USDA – United States Department of Agriculture. **National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology**. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, 1972.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS. Relatório anual 2023**. Rio de Janeiro: SGB, 2024.

SHABANGU, T. H.; HAMAM, Y.; ADEDEJI, K. B. Decision support systems for leak control in urban water supply systems: A literature synopsis. **Procedia CIRP**, vol. 90, p. 579–583, 2020. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.120.

SIEBERT, S.; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in Construction**, vol. 41, p. 1–14, maio 2014. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004.

SILVA, D. C. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, vol. 3, nº 2, p. 81, 14 dez. 2015. https://doi.org/10.3895/rbgeo.v3n2.5467.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

SILVEIRA, A. L. L.; LOUZADA, J. A. S.; BELTRAME, L. F. de S. Infiltração e armazenamento no solo. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto: visão geral (ano de referência 2022)**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento, 2023.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 5, nº 2, p. 250, 11 out. 2012. https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i2.232788.

STOVIN, V. R.; MOORE, S. L.; WALL, M.; ASHLEY, R. M. The potential to retrofit sustainable drainage systems to address combined sewer overflow discharges in the Thames Tideway catchment. **Water and Environment Journal**, vol. 27, nº 2, p. 216–228, jun. 2013. https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00353.x.

TESTON, A.; TEIXEIRA, C.; GHISI, E.; CARDOSO, E. Impact of Rainwater Harvesting on the Drainage System: Case Study of a Condominium of Houses in Curitiba, Southern Brazil. **Water**, vol. 10, nº 8, p. 1100, 18 ago. 2018. https://doi.org/10.3390/w10081100.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. [*S. l.*]: Ministério das Cidades – Global Water Partnership – Wolrd Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Progress on ambient water quality. Tracking SDG 6 series: global indicator 6.3.2 updates and acceleration needs**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2021. Disponível em: https://www.unwater.org/publications/progress-ambient-water-quality-2021-update. Acessado em: 27 jan. 2023.

UNICEF; WHO. **Diarrhea: why children are still dying and what can be done**. New York: WHO Library Cataloging, 2009.

UNITED NATIONS. **The United Nations world water development report 2021: valuing water**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO),

2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724. Acessado em: 27 jan. 2023.

UNITED NATIONS. **The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2022. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721. Acessado em: 27 jan. 2023.

UNITED NATIONS. **The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water; facts, figures and action examples**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2023. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659. Acessado em: 27 jan. 2023.

VALAVANIS, K. P. (Org.). **Recent Developments in Unmanned Aircraft Systems**. [*S. l.*]: Springer, 2012.

VASCONCELOS FERNANDES, R. T.; FONSECA CABRAL, A.; BATISTA DANTAS, G. C.; VARELA TINOCO, V. N.; AZEVEDO DA SILVEIRA, B. D.; SOUSA JUNIOR, A. M. Mapeamento de manifestações patológicas em pavimento asfáltico por meio de uso de drones. **Revista ALCONPAT**, vol. 11, nº 1, p. 61–72, 1 jan. 2021. https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.521.

VISITACION, B. J.; BOOTH, D. B.; STEINEMANN, A. C. Costs and Benefits of Storm-Water Management: Case Study of the Puget Sound Region. **Journal of Urban Planning and Development**, vol. 135, nº 4, p. 150–158, dez. 2009. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2009)135:4(150).

WEI, R.; TANG, S.; OUYANG, Q.; LU, T.; HU, B. X. Study on the groundwater system of the Dongting Lake Plain, central-south China: a tectonic perspective. **Hydrogeology Journal**, vol. 30, nº 2, p. 707–721, 13 mar. 2022. https://doi.org/10.1007/s10040-021-02436-7.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF – UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs**. Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF), 2021. Disponível em: https://data.unicef.org/resources/progress-on-household-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2020/. Acessado em: 27 jan. 2023.

WWAP – WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource.** Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2017. Disponível em: https://www.unep.org/resources/publication/2017-un-world-water-development-report-wastewater-untapped-resource. Acessado em: 27 jan. 2023.

YAKIR, H.; MORIN, E. Hydrologic response of a semi-arid watershed to spatial and temporal characteristics of convective rain cells. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 15, nº 1, p. 393–404, 2011. https://doi.org/10.5194/hess-15-393-2011.

ZHANG, X.; HU, M.; CHEN, G.; XU, Y. Urban Rainwater Utilization and its Role in Mitigating Urban Waterlogging Problems—A Case Study in Nanjing, China. **Water**

Resources Management, vol. 26, nº 13, p. 3757–3766, 18 out. 2012. https://doi.org/10.1007/s11269-012-0101-6.