

**Aproveitamento de águas pluviais em edifícios escolares com coberturas verdes ou convencionais: contributos para uma drenagem urbana sustentável**

**SANLIRA SHUTING CHEN**

Dissertação de Mestrado apresentada à  
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança** para  
obtenção do **Grau de Mestre em Engenharia da Construção**  
no âmbito da **Dupla Diplomação** com a  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus Apucarana***

**Orientadores:**

Doutora Flora Cristina Meireles Silva (ESTiG - IPB)  
Doutora Ana Maria Antão-Geraldes (ESA - IPB)  
Doutora Andrea Sartori Jabur (UTFPR - *Campus Apucarana*)

**Bragança, abril de 2025**

# Agradecimentos

Agradeço à professora Flora Silva pelo apoio, sugestões e conhecimentos que contribuíram para esta dissertação e outros eventos que impulsionaram o meu crescimento profissional. Também agradeço à professora Ana Maria Antão-Geraldes pelas valiosas correções e orientações técnicas, que enriqueceram a qualidade deste trabalho. Por fim, agradeço à professora Andrea Jabur por todo incentivo e auxílio nesta dissertação e também, na concretização do sonho de estudar no Instituto Politécnico de Bragança (IPB).

Registro minha gratidão à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Apucarana, e ao IPB, especialmente à Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG), pela oportunidade de dupla diplomação, e a todos os professores, colegas e membros das instituições que contribuíram para meu crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

Deixo meus sinceros agradecimentos aos meus pais, que, ao longo de minha trajetória, sempre se dedicaram ao máximo para que eu realizasse meus sonhos, muitas vezes abrindo mão de suas próprias vontades. Sem eles, não teria conquistado tantos sonhos e nem me tornado a pessoa que sou hoje. Dedico este parágrafo a eles, com todo o meu amor e gratidão, mesmo que não compreendam totalmente o português.

Ao meu namorado, Matheus Folster, por sempre me incentivar, apoiar e orientar, estando presente em cada passo da minha graduação e dupla diplomação, mesmo com a distância. Obrigada por sempre estar comigo e ser meu maior amparador no que se refere aos meus sonhos.

Agradeço às minhas amigas do Brasil, Camila Zhao, Jin Ying Chen, Maria Fernanda e Andressa Valendorff, pelo carinho, apoio e papel essencial em minha trajetória, mesmo com a distância. Espero mantê-las sempre comigo, independentemente de onde eu esteja.

A todas as amigas que construí em Bragança, especialmente a Leticia Murta, Maria Júlia e Luane Oeiras, que todas foram fundamentais para me apoiar, me ensinar e me motivar em vários momentos. Deixo meu profundo obrigado a todos não só por isso, mas também por fazerem jus à famosa frase: “Bragança, a terra dos amigos para sempre”.

# Resumo

A água é um recurso essencial para a vida e o desenvolvimento sustentável, mas a sua escassez, agravada pelo crescimento populacional, urbanização e mudanças climáticas, representa um desafio global. Soluções como os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) e as coberturas verdes (CV) emergem como estratégias promissoras promovendo benefícios ambientais, sociais e económicos.

Assim, este estudo avaliou o consumo de água em dois edifícios escolares em Bragança (Portugal), propondo medidas de eficiência hídrica por meio da implementação de SAAP, CV, integração dessas tecnologias e substituição das torneiras existentes por modelos mais eficientes. O Centro Escolar de Santa Maria (CESMaria) consome 2.820,2 m<sup>3</sup>/ano de água no período com rega, e o Centro Escolar da Sé (CESé), 5.260,5 m<sup>3</sup>/ano.

O Cenário 1 (substituição de torneiras) mostrou-se a opção mais viável a curto prazo, com retorno do investimento em 1 ano, reduzindo o consumo de água em aproximadamente 30% e gerando economias anuais de cerca de 3.700 € + IVA em ambos os edifícios escolares. Já o Cenário 3 (combinação de torneiras eficientes e SAAP em coberturas convencionais (CC)), mostrou-se ideal a longo prazo, com reduções de consumo de até 60% e economias anuais superiores a 7.000 € + IVA, com retorno do investimento em 8 (CESMaria) e 7 anos (CESé).

Outros cenários, que variam a proporção de CV e combinam SAAP com torneiras eficientes, também apresentaram reduções de consumo (até 58,83% no CESMaria e 60,73% no CESé) e economias financeiras (25%-60%).

As CC mostraram maior eficiência na captação de água, com 93,84% de aproveitamento no CESMaria e 94,65% no CESé, utilizando reservatórios de 60 m<sup>3</sup> e 70 m<sup>3</sup>, respectivamente. Já as CV's reduziram a captação para 70%-90% devido à retenção de água pela vegetação, retendo entre 18,8% e 37,5% da água da chuva.

Logo, as propostas promovem gestão hídrica sustentável, alinhando-se a objetivos económicos e ambientais.

**Palavras-chave:** Eficiência Hídrica; Aproveitamento de Águas Pluviais; Coberturas Verdes; Edifícios Escolares; Sustentabilidade.

# Abstract

Water is an essential resource for life and sustainable development, but its scarcity, aggravated by population growth, urbanization and climate change, represents a global challenge. Solutions such as rainwater harvesting systems (SAAP) and green roofs (CV) are emerging as promising strategies promoting environmental, social and economic benefits.

Therefore, this study evaluated water consumption in two school buildings in Bragança (Portugal), proposing water efficiency measures through the implementation of SAAP, CV, the integration of these technologies and the replacement of existing taps with more efficient models. The Santa Maria School Center (CESMaria) consumes 2,820.2 m<sup>3</sup>/year of water during the irrigation period, and the Sé School Center (CESÉ), 5,260.5 m<sup>3</sup>/year.

Scenario 1 (replacing taps) proved to be the most viable option in the short term, with a return on investment in 1 year, reducing water consumption by approximately 30% and generating annual savings of around €3,700 + VAT in both school buildings. Scenario 3 (combination of efficient taps and SAAP on conventional roofs (CC)) proved to be ideal in the long term, with consumption reductions of up to 60% and annual savings of over €7,000 + VAT, with a return on investment in 8 (CESMaria) and 7 years (CESÉ).

Other scenarios, which vary the proportion of CV and combine SAAP with efficient taps, also showed reductions in consumption (up to 58.83% in CESMaria and 60.73% in CESÉ) and financial savings (25%-60%).

The CCs showed greater efficiency in water collection, with 93.84% utilization at CESMaria and 94.65% at CESÉ, using 60 m<sup>3</sup> and 70 m<sup>3</sup> reservoirs, respectively. The CVs, on the other hand, reduced water collection to 70%-90% due to water retention by vegetation, retaining between 18.8% and 37.5% of rainwater.

The proposals therefore promote sustainable water management, in line with economic and environmental objectives.

**Keywords:** Water Efficiency; Rainwater Harnessing; Green Roofs; School Buildings; Sustainability.

# Índice

|   |     |
|---|-----|
| <b>Agradecimentos</b> .....   | i   |
| <b>Resumo</b> .....   | ii  |
| <b>Abstract</b> .....   | iii |
| <b>Lista de Figuras</b> .....   | vi  |
| <b>Lista de Tabelas</b> .....   | ix  |
| <b>Lista de Acrónimos</b> .....   | xi  |
| <b>Capítulo 1</b> .....   | 1   |
| Introdução .....  | 1   |
| 1.1. Enquadramento e justificação do tema .....   | 1   |
| 1.2. Objetivos .....  | 5   |
| 1.3. Estrutura da dissertação .....   | 5   |
| 1.4. Descrição do plano de trabalho .....   | 6   |
| <b>Capítulo 2</b> .....   | 8   |
| Estado da arte .....  | 8   |
| 2.1. Dispositivos de utilização em edificações: aspectos técnicos e normativos .....                        | 8   |
| 2.2. Aproveitamento de água pluvial .....   | 9   |
| 2.2.1. Enquadramento histórico dos sistemas de aproveitamento de água pluviais .....                        | 9   |
| 2.2.2. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais .....   | 13  |
| 2.2.3. Aplicação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais em diferentes contextos .....             | 17  |
| 2.3. Coberturas verdes .....  | 18  |
| 2.3.1. Enquadramento histórico das coberturas verdes .....  | 18  |
| 2.3.2. Coberturas verdes: características e funcionamento .....   | 22  |
| 2.3.3. Coberturas verdes: contribuição ambiental, econômica e social .....                                  | 28  |
| 2.4. Combinação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e coberturas verdes .....                   | 36  |
| 2.5. Eficiência hídrica em edifícios públicos: uma abordagem teórica sobre escolas e sustentabilidade ..... | 39  |
| <b>Capítulo 3</b> .....   | 41  |
| Material e Métodos .....  | 41  |
| 3.1. Os casos de estudo .....   | 41  |
| 3.2. Padrão de consumo de água dos edifícios escolares e propostas de medidas de eficiência hídrica .....   | 44  |
| 3.3. Análise da viabilidade técnica, econômica e investimento inicial das medidas propostas .....           | 47  |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4. Dimensionamento dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais .....                       | 50  |
| <b>Capítulo 4</b> .....   | 53  |
| Resultados e discussão .....  | 53  |
| 4.1. Medidas de eficiência hídrica propostas e seus impactos na poupança de água .....            | 53  |
| 4.2. Investimento inicial e tempo de retorno de investimento de medidas de poupança de água ..... | 75  |
| <b>Capítulo 5</b> .....   | 86  |
| 5.1. Conclusões .....   | 86  |
| 5.2. Proposta para trabalhos futuros .....  | 88  |
| <b>Referências bibliográficas</b> .....   | 89  |
| <b>Anexos</b> .....   | 103 |
| Anexo I: Fichas técnicas das torneiras .....  | 104 |
| Anexo II: Participações enquanto estudante de Dupla Diplomação IPB-UTFPR .....                    | 105 |

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.1</b> – Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável ( <a href="https://ods.pt/">https://ods.pt/</a> ). .....  | 4  |
| <b>Figura 1.2</b> – Contribuições de telhados verdes multicamadas para o nexos WEFEE, em relação aos benefícios e contribuição para os ODS (Adaptado de Cristiano et al., 2021). .....   | 5  |
| <b>Figura 2.1</b> – Rotulagem de eficiência hídrica da ANQIP (ANQIP, 2020 ; Adaptado de Silva-Afonso & Pimentel-Rodrigues, 2017 apud Pinto, 2022). .....   | 9  |
| <b>Figura 2.2</b> – Cisterna do povo Maia, designada por chultun (Verdade, 2008).....  | 10 |
| <b>Figura 2.3</b> – Seção de cisterna filtrante com poço raso em uma praça de Veneza (Gnadlinger, 2015). .....   | 11 |
| <b>Figura 2.4</b> – Exemplo de eirado: Nos anos 70 ainda sem remodelações (a); Atualmente, recuperado e em funcionamento (b) (Casa do Eirado, <a href="https://www.casadoeirado.com/">https://www.casadoeirado.com/</a> ). ..... | 11 |
| <b>Figura 2.5</b> – Esquema de um eirado e de uma cisterna (Oliveira, 2008). .....   | 12 |
| <b>Figura 2.6</b> – Cisterna em Santa Bárbara – Ilha Terceira (Oliveira, 2008).....  | 12 |
| <b>Figura 2.7</b> – Cisterna na Ilha São Jorge (Poim, 2022). .....   | 13 |
| <b>Figura 2.8</b> – Ilustração gráfica de um sistema combinado de captação de águas pluviais (Adaptado de Almeida et al., 2023).....   | 14 |
| <b>Figura 2.9</b> – Esquema de funcionamento de sistema de aproveitamento de água de chuva (Bella Calha, 2007).....  | 14 |
| <b>Figura 2.10</b> – Edifício Vitra Água Verde (2024) localizado em Curitiba – Paraná, Brasil (Plaenge, <a href="https://www.plaenge.com.br/">https://www.plaenge.com.br/</a> ). .....   | 17 |
| <b>Figura 2.11</b> – Reprodução idílica do que seria o Jardim da Babilônia ( <a href="https://pt.wikipedia.org/">https://pt.wikipedia.org/</a> ). .....  | 18 |
| <b>Figura 2.12</b> – Desenho dos Jardins Suspensos da Babilônia com base nas descrições do arqueólogo Robert Koldewey (Costa, 2010). .....   | 19 |
| <b>Figura 2.13</b> – Pequena vila com “sod roofs” nas Ilhas Faroé (Dinamarca) (Pinto, 2018). .....   | 19 |
| <b>Figura 2.14</b> – Ruínas de Jarlshof nas Ilhas Shetland (Alastair Hamilton, 2020).....  | 20 |
| <b>Figura 2.15</b> – Torre Del Guinigis ( <a href="https://guiaflorenca.net/">https://guiaflorenca.net/</a> ) .....  | 20 |
| <b>Figura 2.16</b> – Vista da Fundação Calouste Gulbenkian, 1970 (Mário de Oliveira, s.d). .....   | 21 |
| <b>Figura 2.17</b> – ETAR de Alcântara, Lisboa – Portugal (João Nunes & Carlos Ribas, 2011). .....   | 21 |
| <b>Figura 2.18</b> – Camadas de um solo natural (a) e as diferentes camadas consideradas em uma cobertura verde, segundo a empresa ZinCo (b) (Adaptado de Zinco Cubiertas Ecológicas, 2019). .....                               | 22 |
| <b>Figura 2.19</b> – Comparativo entre as categorias das coberturas verdes (Gomes, 2022). .....  | 24 |
| <b>Figura 2.20</b> – Cobertura extensiva (Green Roof Technology, <a href="https://greenrooftechnology.com/">https://greenrooftechnology.com/</a> ).....  | 24 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 2.21</b> – Cobertura verde semi-intensiva (Green Roof Technology, <a href="https://greenrooftechnology.com">https://greenrooftechnology.com</a> ).....  | 25 |
| <b>Figura 2.22</b> – Cobertura verde intensiva (Green Roof Technology, <a href="https://greenrooftechnology.com">https://greenrooftechnology.com</a> ).....   | 25 |
| <b>Figura 2.23</b> – Cobertura castanhas ou “brown roofs” (Manfred Köhler, s.d). ....   | 26 |
| <b>Figura 2.24</b> – Cultivo de alimentos na cobertura do Hotel Fairmount em Vancouver – Canadá ( <a href="https://institutocidadejardim.wordpress.com/">https://institutocidadejardim.wordpress.com/</a> ). .... | 29 |
| <b>Figura 2.25</b> – Campo de golfe na cobertura de um edifício em Manhattan - Nova Iorque (Costa, 2010). ....  | 30 |
| <b>Figura 2.26</b> – Efeito da ilha de calor urbano (Aragão, 2011). ....  | 31 |
| <b>Figura 2.27</b> – Comportamento de uma cobertura verde (linha tracejada) e de uma cobertura tradicional (linha contínua) na mesma condição de precipitação (Novo, 2016). ....                                  | 33 |
| <b>Figura 2.28</b> – Esquema de corte transversal de um edifício com sistema GR-RWH (Adaptado de Xie et al., 2025). ....  | 37 |
| <b>Figura 3.1</b> – Centro Escolar de Santa Maria da cidade de Bragança: (a) Entrada principal do edifício; (b) Fotografia Aérea ( <a href="https://www.cm-braganca.pt/">https://www.cm-braganca.pt/</a> ).....   | 42 |
| <b>Figura 3.2</b> – Centro Escolar da Sé da cidade de Bragança: (a) Entrada principal do edifício; (b) Fotografia Aérea ( <a href="https://www.cm-braganca.pt/">https://www.cm-braganca.pt/</a> ).....            | 42 |
| <b>Figura 4.1</b> – Possível localização do reservatório no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025). ....   | 63 |
| <b>Figura 4.2</b> – Possível localização do reservatório no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025). ....  | 64 |
| <b>Figura 4.3</b> – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período <b>sem rega</b> do Centro Escolar de Santa Maria. ....  | 69 |
| <b>Figura 4.4</b> – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período <b>com rega</b> do Centro Escolar de Santa Maria. ....  | 69 |
| <b>Figura 4.5</b> – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período <b>sem rega</b> do Centro Escolar da Sé.....  | 71 |
| <b>Figura 4.6</b> – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período <b>com rega</b> do Centro Escolar da Sé.....  | 71 |
| <b>Figura 4.7</b> – Uso de 100% de cobertura verde no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025). ....   | 73 |
| <b>Figura 4.8</b> – Aplicação de 70% de cobertura verde e mantendo-se 30% da cobertura convencional do local no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025). ....                         | 73 |
| <b>Figura 4.9</b> – Instalação de 50% de cobertura verde e permanecendo 50% da cobertura convencional existente no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025). ....                      | 73 |
| <b>Figura 4.10</b> – Uso de 100% de cobertura verde no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025). ....   | 74 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 4.11</b> – Aplicação de 70% de cobertura verde e mantendo-se 30% da cobertura convencional do local no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025).<br>.....    | 74 |
| <b>Figura 4.12</b> – Instalação de 50% de cobertura verde e permanecendo 50% da cobertura convencional existente no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025).<br>..... | 74 |
| <b>Figura 4.13</b> – Investimento inicial do Centro Escolar de Santa Maria.....  | 76 |
| <b>Figura 4.14</b> – Poupança na fatura de água do Centro Escolar de Santa Maria.....  | 77 |
| <b>Figura 4.15</b> – Investimento inicial do Centro Escolar da Sé. ....  | 78 |
| <b>Figura 4.16</b> – Poupança na fatura de água do Centro Escolar da Sé. ....  | 79 |

# Lista de Tabelas

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Tabela 1.1</b>  | – Fases e períodos do desenvolvimento do trabalho e respectiva descrição.....  | 7  |
| <b>Tabela 2.1</b>  | – Tarefas comuns de manutenção em cobertura verde (Almeida, 2020).....   | 27 |
| <b>Tabela 2.2</b>  | – Porcentagens médias de retenção de água (Silva et. al., 2020). .....   | 33 |
| <b>Tabela 2.3</b>  | – Percentuais de redução de escoamento superficial (Silva et. al., 2020). ..   | 34 |
| <b>Tabela 2.4</b>  | – Resumo dos desafios da aplicação de sistemas de coberturas verdes em edifícios existentes (Li & Yeung, 2014).....  | 36 |
| <b>Tabela 2.5</b>  | – Resumo dos estudos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais integrados com CV (Xie et al., 2025).....   | 39 |
| <b>Tabela 3.1</b>  | – Quantitativo de usuários e dispositivos de utilização do centro escolar de Santa Maria (Vale, 2019).....   | 43 |
| <b>Tabela 3.2</b>  | – Quantitativo de usuários e dispositivos de utilização do centro escolar da Sé (Morais, 2019). .....  | 43 |
| <b>Tabela 3.3</b>  | – Estimativa dos consumos médios dos centros escolares (Morais, 2019; Vale, 2019).....   | 44 |
| <b>Tabela 3.4</b>  | – Estimativa dos consumos anuais dos centros escolares (Morais, 2019; Vale, 2019).....   | 45 |
| <b>Tabela 3.5</b>  | – Cenários propostos de economia de água nos centros escolares. ....   | 46 |
| <b>Tabela 3.6</b>  | – Encargos tarifários variáveis e fixos do Estado/Entidades Públicas do Concelho de Bragança (2024) (ERSAR, <a href="https://www.ersar.pt/">https://www.ersar.pt/</a> )..... | 49 |
| <b>Tabela 3.7</b>  | – Valores recomendados para o coeficiente de escoamento (C) (ANQIP, 2022).....   | 52 |
| <b>Tabela 4.1</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura convencional (Cenário 2) no Centro Escolar de Santa Maria. ....  | 55 |
| <b>Tabela 4.2</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura verde (Cenário 4) no Centro Escolar de Santa Maria. ....   | 56 |
| <b>Tabela 4.3</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 50% cobertura convencional e 50% cobertura verde (Cenário 6) no Centro Escolar de Santa Maria. ..                  | 57 |
| <b>Tabela 4.4</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional (Cenário 7) no Centro Escolar de Santa Maria. ..                  | 58 |
| <b>Tabela 4.5</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura convencional (Cenário 2) no Centro Escolar da Sé. ....   | 59 |
| <b>Tabela 4.6</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura verde (Cenário 4) no Centro Escolar da Sé. ....  | 60 |
| <b>Tabela 4.7</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 50% cobertura convencional e 50% cobertura verde (Cenário 6) no Centro Escolar da Sé.....                          | 61 |
| <b>Tabela 4.8</b>  | – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional (Cenário 7) no Centro Escolar da Sé.....                          | 62 |
| <b>Tabela 4.9</b>  | – Dimensionamento cisterna do Centro Escolar de Santa Maria e da Sé. ....  | 65 |
| <b>Tabela 4.10</b> | – Volumes estimados de retenção de água da chuva na cobertura verde. .   | 65 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 4.11</b> – Fornecimento de água da rede pública no Centro Escolar de Santa Maria e da Sé. ....                                      | 67 |
| <b>Tabela 4.12</b> – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar de Santa Maria (sem rega). .... | 68 |
| <b>Tabela 4.13</b> – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar de Santa Maria (com rega). .... | 68 |
| <b>Tabela 4.14</b> – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar da Sé (sem rega). ....          | 70 |
| <b>Tabela 4.15</b> – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar da Sé (com rega). ....          | 70 |
| <b>Tabela 4.16</b> – Custos de investimento inicial do Centro Escolar de Santa Maria. ....  | 76 |
| <b>Tabela 4.17</b> – Redução anual da fatura de água do Centro Escolar de Santa Maria. ....   | 77 |
| <b>Tabela 4.18</b> – Custos de investimento inicial do Centro Escolar da Sé. ....   | 78 |
| <b>Tabela 4.19</b> – Redução anual da fatura de água do Centro Escolar da Sé. ....  | 79 |
| <b>Tabela 4.20</b> – Investimento inicial, conta e redução anual de água com medidas do Centro Escolar de Santa Maria. ....                   | 81 |
| <b>Tabela 4.21</b> – Investimento inicial, conta e redução anual de água com medidas do Centro Escolar da Sé. ....                            | 81 |

# Lista de Acrónimos

## Abreviaturas

|          |   |
|----------|---|
| a.C.     | Antes de Cristo   |
| ANQIP    | Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais |
| ANVC     | Associação Nacional de Coberturas Verdes                      |
| AVAC     | Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado                     |
| CC       | Cobertura convencional  |
| CV       | Cobertura verde   |
| CESé     | Centro Escolar da Sé  |
| CESMaria | Centro Escolar de Santa Maria                                 |
| DUT      | Driving Urban Transitions to a Sustainable Future             |
| ESTiG    | Escola Superior de Tecnologia e Gestão                        |
| ETA      | Especificação Técnica ANQIP                                   |
| ETAR     | Estação de tratamento de águas residuais                      |
| FLL      | Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau  |
| INE      | Instituto Nacional de Estatística                             |
| IPB      | Instituto Politécnico de Bragança                             |
| IPC      | Índice de Preços do Consumidor                                |
| IVA      | Imposto Sobre Valor Acrescentado                              |
| ODS      | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável                      |
| ONU      | Organização das Nações Unidas                                 |
| SAAP     | Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais                   |
| SbN      | Soluções baseadas na Natureza                                 |
| UE       | União Europeia  |
| UTFPR    | Universidade Tecnológica Federal do Paraná                    |
| VAT      | Value-Added Tax   |
| WEFE     | Nexo de segurança Água-Energia-Alimento-Ecosistema            |

## Símbolos

|                |  |                |
|----------------|--|----------------|
| A              | Área de captação   | m <sup>2</sup> |
| C              | Coefficiente de escoamento   | -              |
| P              | Altura de precipitação acumulada no período considerado              | mm             |
| V <sub>a</sub> | Volume de água da chuva aproveitável no período de tempo considerado | m <sup>3</sup> |
| η <sub>f</sub> | Eficiência hidráulica da filtragem.                                  | -              |

# Capítulo 1

## Introdução

No presente capítulo são apresentados, o enquadramento e a justificação do tema, os objetivos do trabalho, a estrutura da dissertação e a descrição do plano de trabalho.

### 1.1. Enquadramento e justificação do tema

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida e de sobrevivência de todas as espécies vivas em nosso planeta, sendo um dos pilares do desenvolvimento sustentável (Fernandes et al., 2024). É importante ressaltar que a água não está associada apenas às suas funções na natureza, mas também exerce um papel fundamental na saúde, economia e qualidade de vida humana (Souza, 2014 apud Andrade, 2020).

Castro et al. (2022) citam que uma considerável extensão do Planeta Terra, cerca de 75% é constituída de água, contudo, apenas uma pequena porção desta água está a dispor para o uso humano. A água, embora seja um recurso natural e amplamente utilizado, é uma fonte finita que demanda de gestão consciente e sustentável (Marini, 2024).

A problemática da crise hídrica, cuja expectativa é de que se torne cada vez mais grave em diversas regiões do mundo, é um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade (Wwap, 2018 apud Castro, 2021). A escassez de água não compromete somente a saúde mas também todo o bem-estar das comunidades e restringe o potencial de crescimento econômico (Gomes, 2023). Villes et al. (2019) ressaltam que a questão da escassez hídrica está diretamente relacionada com o aumento da população, a expansão das cidades e ao desenvolvimento industrial, sendo fatores que contribuem para o agravamento das disparidades sociais e para ausência de gestão e utilização sustentável dos recursos naturais. Outros fatores relevantes são os baixos índices pluviométricos, os efeitos das mudanças climáticas e da falta de infraestrutura técnica, incluindo regulamentações, gestão de informações, estrutura financeira, dentre outros (Palh-Wostl, 2017 apud Silva et al., 2021).

Em meio a todo este contexto, é notável que várias empresas, organizações e especialistas no assunto estão investindo em pesquisas e técnicas que revelem novas formas de aproveitamento de água, associados ao emprego de tecnologias avançadas, equipamentos modernos e transformações nos padrões de consumo da sociedade (Santos et al., 2020). Principalmente nas

áreas com escassez hídrica, o sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) se consolida como uma ferramenta importante para a gestão ambiental (Silva et al., 2020).

A água pluvial é uma importante fonte de água que pode ser utilizada para fins de rega de jardins, lavagem de carros, calçadas e descargas de bacias sanitárias, ou seja, em atividades domésticas que não requerem alta qualidade de água e outros usos que não exijam água potável (ANQIP, 2022). Fernandes et al. (2024) destacam, que o reaproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais brasileiros, em comunidades carentes, onde o acesso à água potável é frequentemente limitado, os SAAP podem ser uma ferramenta relevante no que concerne à promoção da saúde, uma vez que o uso de água contaminada aumenta o risco de doenças transmitidas pela água, como amebíase, gastroenterite, dentre outras e verminoses, incluindo esquistossomose e ascaridíase (Costa, 2023). No entanto, é importante ressaltar que a água pluvial, sem tratamento adequado, tem usos restritos, não sendo indicada para consumo humano. Os SAAP também podem contribuir para a segurança alimentar, ao possibilitar a irrigação de hortas comunitárias e cultivos locais. Essa prática não apenas amplia a produção de alimentos, mas também fortalece a autonomia e a resiliência dessas populações (Kim et al., 2021).

A tecnologia também contribui significativamente para a preservação ambiental e a sustentabilidade dos recursos hídricos, auxiliando na redução dos efeitos da escassez de água. Além disso, a sua implementação pode gerar benefícios econômicos, como a redução de custos, e sociais, como melhoria na qualidade de vida, assim como também fortalece um ciclo de uso mais eficiente e consciente dos recursos naturais (Gomes, 2023).

Contudo, é importante destacar que a gestão urbana da água deve satisfazer às condições e necessidades atuais, o que demanda modificações nas abordagens e atitudes dos vários intervenientes no processo e usufruidores do recurso (Rodrigues, 2020). Dessa maneira, no cenário do século XXI, é necessário que a gestão da água esteja face aos inúmeros desafios e pressões que os recursos hídricos e as cidades estão expostos. Com isso, a implementação de uma gestão bem-sucedida acaba potencializando os benefícios e, simultaneamente, reduzindo a degradação ambiental e outros possíveis impactos adversos.

A transformação da gestão urbana, seja a respeito da água ou quaisquer outros tópicos, não envolve somente os tomadores de decisão assim como engloba os municípios, as empresas, outras partes interessadas e a sociedade (Calheiros & Stefanakis, 2021). Isso remete a definição

de planeamento urbano: “um conjunto de ações planejadas para que sejam atingidos os objetivos desejados, considerando a disponibilidade dos recursos e os fatores externos que podem impactar nesse processo” (Duarte, 2012 apud Silva et al., 2021).

Diante disso, também surgem estratégias integradas e sustentáveis as quais são desenvolvidas e concebidas com o objetivo de serem uma complementação às infraestruturas centralizadas já existentes (Gleick, 2003 apud Rodrigues, 2020). Um exemplo notável disto é a parceria Driving Urban Transitions to a Sustainable Future (DUT), a qual engloba competências e ferramentas que impulsionam as transformações urbanas urgentes necessárias visando um futuro sustentável juntamente com uma melhoria na qualidade de vida nas cidades. É importante também destacar que há outras estratégias que visam um desenvolvimento sustentável tais como Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), Acordo Verde, Acordo de Paris e Agenda Urbana da União Europeia (UE).

Ademais, o aumento de eventos climáticos extremos exige soluções estruturais nas zonas urbanas, com foco no planeamento urbano e ordenamento do território (Rodrigues, 2020), destacando a importância de edifícios resilientes para enfrentar os impactos das alterações climáticas.

Diante disso, uma maneira para contornar tais problemáticas das cidades seria a introdução de soluções baseadas na natureza (SbN) no cenário urbano. A presença de SbN no ambiente construído traz inúmeros benefícios, por exemplo, contribuem para uma economia circular e através do fornecimento de serviços ecossistêmicos, pode auxiliar na neutralização dos impactos negativos da urbanização e da mitigação e adaptação das mudanças climáticas (Calheiros & Stefanakis, 2021). Isso pode ocorrer em três níveis diferentes: (i) materiais de construção verdes, (ii) sistemas de construção verdes e (iii) locais de construção verdes (Pearlmutter et al., 2019). Nesse segmento, as CV são um exemplo de SbN que pode ser implementada em escala de construção, sendo possível a aplicação em edifícios novos ou existentes.

Em suma, a escassez da água juntamente com as preocupações das alterações climáticas e também das apreensões referentes à sustentabilidade, estão impulsionando o interesse crescente em recriar sistemas com base em tecnologias mais seguras e econômicas (Silva-Afonso & Pimentel-Rodrigues, 2017 apud Pinto, 2022). É neste sentido que este estudo se propõe a explorar a combinação de duas soluções sustentáveis sob o aspecto ambiental: o

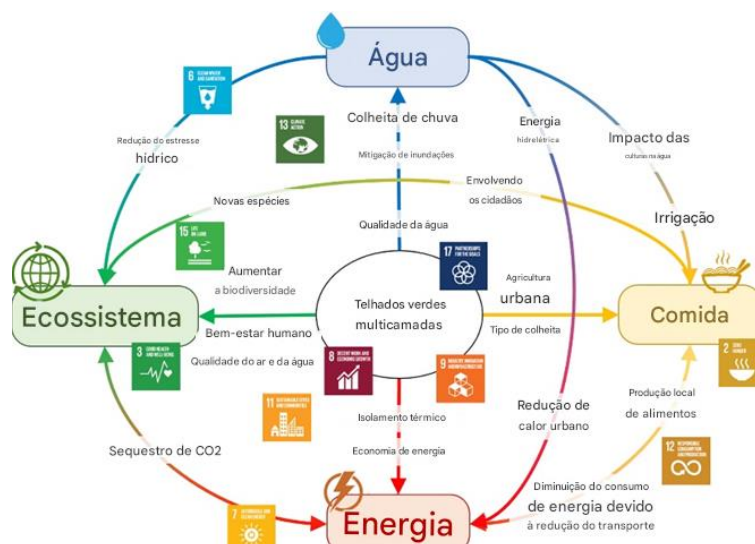
aproveitamento de água pluvial, seja de forma tradicional ou integrada a sistemas de CV. Ainda há uma carência de pesquisas que avaliem a eficácia da configuração combinada (SAAP + CV), especialmente no que diz respeito aos seus impactos e contribuições para uma drenagem urbana mais eficiente e sustentável (Almeida et al., 2023).

Além disso, as CV e o SAAP, alinham-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), apontado na Figura 1.1, da Agenda 2030 da ONU.



**Figura 1.1** – Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (<https://ods.pt/>).

Cristiano et al. (2021), em seu estudo dedicado à abordagem do nexos de segurança Água-Energia-Alimento-Ecosistema (WEFE), destacam e sintetizam os benefícios proporcionados pelas CV em multicamadas. Portanto, o autor destaca o ODS 6 - Água Potável e Saneamento, ao promover a captação e reutilização de águas pluviais, para o ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, ao integrar soluções verdes que aumentam a sustentabilidade urbana, para o ODS 13 - Ação Climática, ao mitigar efeitos climáticos extremos, para o ODS 2 – Erradicar a fome, ao usar a água coletada para irrigação na produção de alimentos, para o ODS 15 – Proteger a Vida Terrestre, ao fomentar a biodiversidade e a recuperação de ecossistemas urbanos, dentre outros. A Figura 1.2 apresenta um resumo geral do impacto das CV dentro dos ODS. Dessa forma, os benefícios vão além do aspecto financeiro, promovendo um impacto positivo amplo e duradouro.



**Figura 1.2** – Contribuições de telhados verdes multicamadas para o nexo WEF, em relação aos benefícios e contribuição para os ODS (Adaptado de Cristiano et al., 2021).

## 1.2. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral analisar e propor medidas de eficiência hídrica em edifícios educacionais, visando a redução do consumo de água por meio da implementação de tecnologias como SAAP, CV, a integração dessas tecnologias e substituição de dispositivos de utilização por modelos mais eficientes.

Como objetivos específicos destacam-se:

- (i) Dimensionar SAAP em dois edifícios educacionais considerando a cobertura existente;
- (ii) Analisar a influência da instalação das CV, substituindo as coberturas convencionais (CC), e as suas implicações na gestão da água predial e urbana;
- (iii) Avaliar a viabilidade técnica e econômica da implementação das medidas propostas, considerando o investimento inicial necessário e a potencial redução dos custos relacionados à fatura de água dos edifícios escolares, com o intuito de identificar os cenários eficientes e sustentáveis para a gestão dos recursos hídricos.

## 1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos e dois anexos.

No **Capítulo 1** apresentam-se o enquadramento e justificação do tema, os objetivos, a descrição do plano de trabalhos e a estrutura da dissertação.

O **Capítulo 2** é dedicado à revisão bibliográfica deste estudo, dividido em cinco seções principais: dispositivos de utilização em edifícios, aproveitamento de água pluvial, CV, combinação do SAAP e CV e eficiência hídrica em edifícios escolares. Nessas seções, são abordados temas como o enquadramento histórico, as características, o funcionamento e a aplicação.

No **Capítulo 3**, Material e Métodos, apresentam-se os estudos de caso a serem analisados bem como suas respectivas características físicas e de consumo de água. Também se enquadram neste capítulo, as propostas de medidas de eficiência hídrica e os critérios de investimento inicial destas propostas.

No **Capítulo 4**, Resultados e Discussão, são apresentados as análises técnicas e econômicas da implementação das medidas, assim como seus impactos na poupança de água.

No **Capítulo 5**, estão listadas as principais Conclusões e as Propostas de Trabalhos Futuros e as Referências Bibliográficas utilizadas, listadas ao final.

O Anexo I detalha a ficha técnica das torneiras utilizadas, enquanto o Anexo II apresenta as atividades realizadas durante o período de dupla diplomação IPB-UTFPR.

#### **1.4. Descrição do plano de trabalho**

Com o intuito de organizar o estudo proposto, foi desenvolvido um plano de trabalho, dividido em quatro fases distintas. Essas etapas estão apresentadas na Tabela 1.1

**Tabela 1.1** – Fases e períodos do desenvolvimento do trabalho e respectiva descrição.

| <b>Fases</b> | <b>Tipo de Trabalho</b> | <b>Descrição</b>  |
|--------------|-------------------------|---|
| <b>1</b>     |                         | Revisão bibliográfica sobre o tema  |
| <b>2</b>     | Recolha de dados        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informações sobre os centros escolares</li> <li>- Número de usuários e dispositivos de utilização dos centros escolares</li> <li>- Tarifários em vigor</li> <li>- Dados pluviométricos</li> <li>- Informações sobre o consumo de água dos centros escolares</li> </ul> |
| <b>3</b>     | Trabalho experimental   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboração dos cenários</li> <li>- Dimensionamento do SAAP</li> <li>- Atualização de preços em função do mercado atual</li> <li>- Análise da viabilidade técnica e econômica das soluções propostas</li> </ul>   |
| <b>4</b>     |                         | Redação do trabalho   |

# Capítulo 2

## Estado da arte

### 2.1. Dispositivos de utilização em edificações: aspectos técnicos e normativos

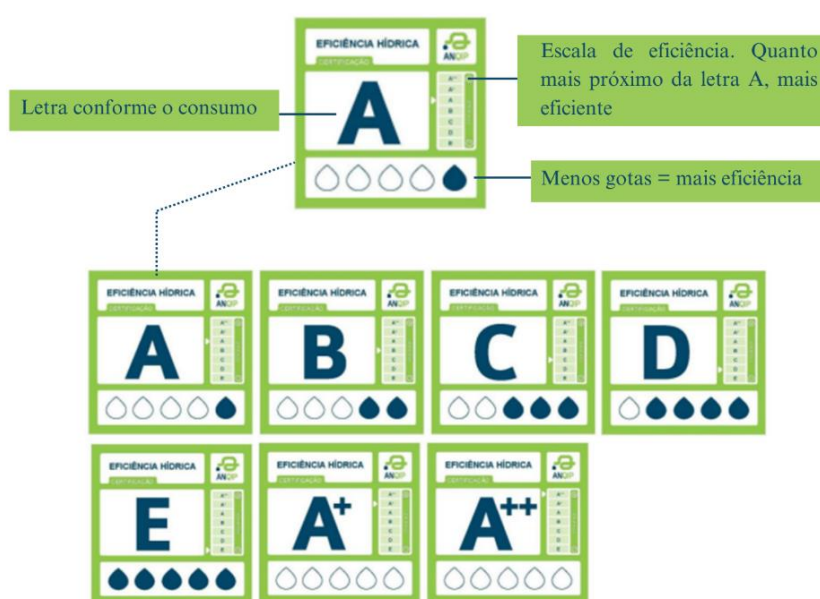
A instalação predial de água de uma edificação é reconhecida por integrar múltiplos componentes, como por exemplo, tubulações, reservatórios, peças de utilização e equipamentos sanitários tais como autoclismos, torneiras e chuveiros, o qual visa suprir os pontos de consumo de água da edificação (Godoy, 2020). Ademais, Dutra (2023), destaca que os equipamentos sanitários, em especial os exemplos citados, são os dispositivos que consomem uma considerável quantidade de água.

Conforme destacado por Santander (2017 apud Cruz, 2024), a implementação de dispositivos hidrossanitários com foco em eficiência hídrica proporciona uma redução significativa no consumo de água, sem a necessidade de alterar os hábitos dos usuários. Diante disso, ao analisar os equipamentos sanitários, também considerando critérios como relação custo-benefício, impacto imediato no consumo de água e viabilidade de execução, optar pela substituição das torneiras por modelos mais eficientes apresenta-se como a alternativa mais estratégica. Isso se deve ao fato de que os outros dispositivos, tais como autoclismos e urinóis, demandam de intervenções mais complexas, envolvendo adaptações na infraestrutura existente, o que eleva tanto os custos quanto o tempo de execução.

Outro aspecto relevante é que as torneiras estão entre as principais responsáveis pelo desperdício de água, devido a vazamentos, uso inadequado ou vazões excessivas. Smaniotto (2022) destaca que uma torneira com vazamento pode desperdiçar até 46 litros de água por dia.

Com o intuito de diminuir o consumo e o desperdício de água podem ser implementadas abordagens econômicas, sociológicas ou técnicas. Do ponto de vista econômico, podem incluir incentivos financeiros e tarifação adequada para estimular o uso consciente. Sob a perspectiva sociológica, o foco está na mudança dos padrões de consumo e mentalidade da população a respeito do uso consciente da água. Já a abordagem técnica envolve a implementação de sistemas de monitoramento e gestão, além da instalação e/ou substituição por elementos mais eficientes, como dispositivos de baixo consumo e sistemas de aproveitamento de água, e adoção de produtos certificados e rotulados (Dutra, 2023; Bento, 2020).

Os produtos comercializados em Portugal são estabelecidos pelo sistema de certificação, o qual é um processo que atesta o desempenho de um produto em relação ao uso da água, e rotulagem hídrica, caracterizado por uma etiqueta ou selo que informa ao consumidor sobre a eficiência hídrica de um produto, pela ANQIP (Figura 2.1). Neste sistema, descrito pela ETA 0802 (Versão 7, p. 2), os produtos inclusos são: autoclismos, chuveiros e sistemas de duche, torneiras (exceto duche) e fluxómetros e outros dispositivos não especificados nos itens anteriores. Vale ressaltar que para cada produto existe uma Especificação Técnica correspondente. Considerando que as torneiras e autoclismos estão entre os dispositivos que mais consomem água, faz-se referência à ETA 0808 (Versão 4) e à ETA 0804 (Versão 4), respectivamente.



**Figura 2.1** – Rotulagem de eficiência hídrica da ANQIP (ANQIP, 2020 ; Adaptado de Silva-Afonso & Pimentel-Rodrigues, 2017 apud Pinto, 2022).

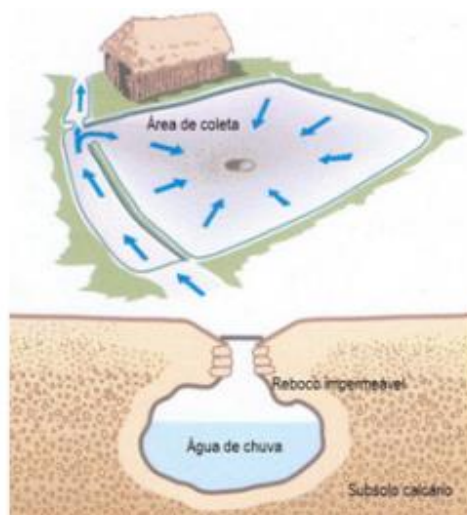
## 2.2. Aproveitamento de água pluvial

### 2.2.1. Enquadramento histórico dos sistemas de aproveitamento de água pluviais

Há evidências na história da humanidade que indicam que os nossos antepassados usufruíam e empregavam técnicas de SAAP que surgiram de maneira independente e estão espalhadas no mundo inteiro (Farias et al., 2021). Um caso ilustrativo disso, na Pedra Moabita, ou também conhecida como Estela de Mesa, que é a segunda inscrição mais antiga conhecida em alfabeto

semítico, encontrada no Oriente Médio, datada de aproximadamente de 850 a.C., onde o rei Mesha ordenava que as casas da população de Moabe tivessem captação de água das chuvas (Carlson, 2005 apud Júnior, 2021).

O México também é conhecido por suas antigas tecnologias de captação de água, herdadas dos Astecas e Maias. Um exemplo são os chultuns, cisternas do século X com capacidade de 20.000 a 45.000 litros, usadas pelos Maias para armazenar água e abastecer as populações das encostas. Cavadas no subsolo calcário, com um raio de quase 2,5 metros e revestidas com material impermeável. Na parte superior dessas cisternas, possuíam uma área de captação de 100 a 200 m<sup>2</sup>, garantindo água até para períodos de seca (Farias et al., 2021). A Figura 2.2 mostra uma chultun com 45.000 litros de capacidade, 5 metros de diâmetro e uma área de captação de 150 m<sup>2</sup>.



**Figura 2.2** – Cisterna do povo Maia, designada por chultun (Verdade, 2008).

Em Veneza e nas ilhas ao redor, a escassez de água levou os habitantes a construir cisternas subterrâneas filtrantes na Idade Média, inspiradas nas práticas romanas. Essas cisternas, com camadas de areia e argila, captavam e filtravam a água da chuva, preservando-a limpa e fresca. Ao longo dos séculos, mais de 6700 poços foram construídos, funcionando até o século XIX (Gnadlinger, 2015 apud Ferreira et al., 2023). A Figura 2.3 apresenta o esquema destas cisternas.



**Figura 2.3** – Seção de cisterna filtrante com poço raso em uma praça de Veneza (Gnadlinger, 2015).

No que concerne a Portugal, é perceptível os SAAP em casas tradicionais portuguesas. Tendo como exemplo disto, a região de Algarve, no qual por conta da escassa precipitação levou ao longo dos anos à implementação desses sistemas para o uso doméstico. Um dos sistemas era constituído por caleiras de telha ao longo das fachadas e sob os beirados, sendo a água recolhida das suas vertentes ou dos seus terraços e conduzida para cisternas. No mais, outra solução a ser implementada eram os eirados, como é apresentado na Figura 2.4 - (a) e (b), os quais, caso a quantidade de água recolhida fosse insuficiente, consistiam em uma ampla área pavimentada ao nível do solo, revestida com ladrilhos e inclinada para direcionar a água da chuva para um pequeno orifício. Este orifício então conectava-se ao interior da cisterna, de onde a água era retirada por meio de uma abertura semelhante àquelas encontradas nos poços (Vale, 2019). A Figura 2.5 complementa essa análise ao apresentar visualmente a estrutura e o funcionamento do eirado.

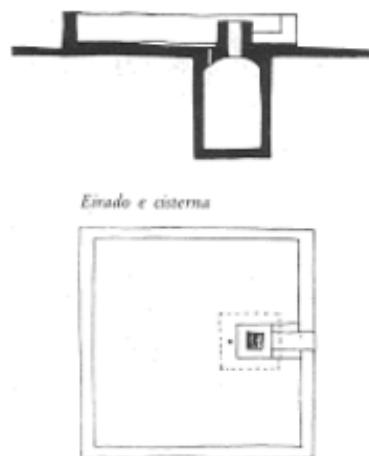


(a)



(b)

**Figura 2.4** – Exemplo de eirado: Nos anos 70 ainda sem remodelações (a); Atualmente, recuperado e em funcionamento (b) (Casa do Eirado, <https://www.casadoeirado.com/>).



**Figura 2.5** – Esquema de um eirado e de uma cisterna (Oliveira, 2008).

Outra região de Portugal a possuir casas tradicionais em conjunto com SAAP é no Arquipélago dos Açores, mais precisamente nas ilhas de Santa Maria, Terceira, Graciosa, São Jorge, Pico, Faial e Corvo. Na Ilha Terceira, as cisternas apresentam uma estrutura de abóbada de berço e proporcionam acesso à água armazenada, portanto, o aproveitamento é realizado a partir da água da chuva que incide sobre a cobertura do edifício, sendo então captada por meio da caleira, que a direciona para o reservatório (Poim, 2022). A Figura 2.6 exemplifica um modelo desta cisterna.



**Figura 2.6** – Cisterna em Santa Bárbara – Ilha Terceira (Oliveira, 2008).

Na Ilha de São Jorge, tem-se uma cobertura plana revestida com reboco, com uma leve inclinação voltada para o centro, no qual há uma abertura específica para a coleta das águas da chuva (Poim, 2022). A Figura 2.7 ilustra este tipo de cisterna.



**Figura 2.7** – Cisterna na Ilha São Jorge (Poim, 2022).

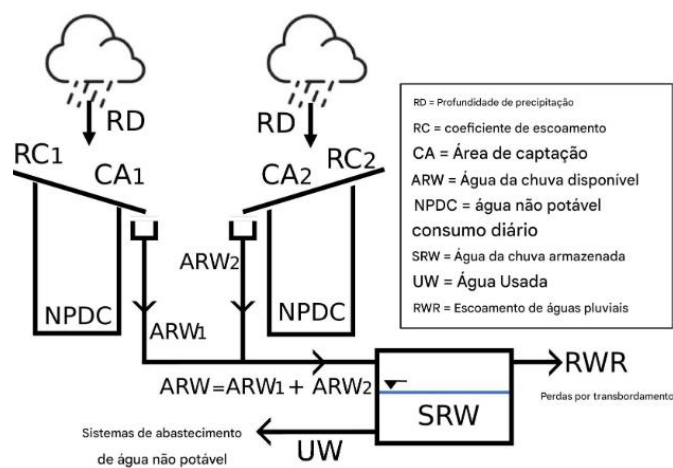
Dessa forma, nota-se que as técnicas de aproveitamento de água pluvial não venceram somente os obstáculos de abastecimento de água para as regiões, mas também trouxeram benefícios ambientais, sociais e econômicos para a população. Com isso, o aproveitamento de água pluvial tem crescido na humanidade como uma prática sustentável e essencial para a economia e preservação dos recursos hídricos (Gomes, 2023).

### **2.2.2. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais**

O SAAP consiste na coleta da água que atinge as superfícies impermeáveis, como telhados, na forma de precipitação, sendo então captada e guardada em reservatórios ou cisternas (Silva & Tassi, 2005 apud Fernandes et al., 2024).

Esses sistemas são compostos por seis elementos principais: superfície de captação, sistema de transporte, filtração, armazenamento, distribuição e tratamento (Conselho de Desenvolvimento Hídrico do Texas, 2005 apud Abrantes et al., 2018). O processo inicia-se com a captação da água da chuva que cai sobre telhados ou lajes, a qual é direcionada por calhas e condutores horizontais e verticais até dispositivos de filtragem, responsáveis pela remoção de impurezas. Após filtrada, a água é armazenada, geralmente em reservatórios enterrados e, quando necessário, bombeada para um segundo reservatório elevado. Por fim, tubulações conduzem a água para usos não potáveis (Poim, 2022).

As Figuras 2.8 e 2.9 representam uma visão geral do funcionamento do SAAP.



**Figura 2.8** – Ilustração gráfica de um sistema combinado de captação de águas pluviais (Adaptado de Almeida et al., 2023).



**Figura 2.9** – Esquema de funcionamento de sistema de aproveitamento de água de chuva (Bella Calha, 2007).

A superfície de captação ou coleta mais comumente utilizada é o telhado do edifício, visto que a água escoada da chuva apresenta níveis de poluição significativamente menores em comparação com a proveniente de outras superfícies impermeáveis, como estradas, estacionamentos e pisos (Ghaffarianhoseini et al., 2016, apud Santos, 2021). O material empregado nos telhados, podem ser de diversos materiais como: telhas cerâmicas, de zinco, de ferro galvanizado, de concreto armado, de plásticos, telhado plano revestido com asfalto e outros (Tomaz, 2009 apud Santos, 2021). Bertollo (2006, apud Schulze, 2020), recomenda que os telhados devem ser limpos e lavados pelo menos uma ou duas vezes por ano, para não prejudicar a qualidade da água a ser recolhida. Além do mais, a água da chuva, ao percorrer a atmosfera e as superfícies, pode transportar uma carga significativa de poluentes, resultando

em concentrações elevadas de impurezas. Por esse motivo, recomenda-se o descarte do *first flush*, termo que significa “primeira descarga”. No contexto de aproveitamento de águas pluviais, o *first flush* refere-se ao volume inicial de água da chuva coletado durante o início de um evento de precipitação, que geralmente contém maior concentração de impurezas e contaminantes provenientes das superfícies de captação (Franco, 2020; Patrzyk, 2023).

É importante destacar que os reservatórios devem conter elementos como: extravasor, dispositivo de esgotamento, inspeção e ventilação, assim como deve ser fechado e prever mecanismos que evitem a entrada de insetos, roedores ou outros animais (Ferreira et al., 2023). Adicionalmente, os reservatórios correspondem ao item mais caro do sistema (Silva et al., 2023), podendo corresponder a uma faixa de 50% a 80% do valor total (Rosas et al., 2024). Consequentemente, o dimensionamento preciso e bem planejado antes de sua implementação é indispensável para garantir desempenho e viabilidade econômica.

Segundo Silva et al. (2021), a dimensão do telhado, bem como o reservatório, são elementos essenciais na definição da capacidade de aproveitamento das águas pluviais. Em complementação, outros fatores que impactam no sistema são: precipitação do local e a demanda que o empreendimento necessita (Júnior, 2021).

De acordo com a ETA 0701.11 (Versão 11, p. 13), a água proveniente de SAAP com dispositivos de descarga das primeiras chuvas, filtragem e sedimentação, pode ter os seguintes usos:

- Descargas sanitárias;
- Lavagem em máquinas de lavar roupa;
- Lavagem de pavimentos, automóveis, dentre outros;
- Rega de zonas verdes;
- Outros usos que não exijam água potável: torres de arrefecimento, redes de incêndio, AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), entre outros.

O emprego de produtos químicos tem sido amplamente estudado para melhorar a qualidade da água proveniente do aproveitamento de águas pluviais. Estudos recentes, como os de Latif et al. (2023) apontam que o uso de hipoclorito para desinfecção de águas pluviais em aplicações domésticas é um dos métodos com boa relação custo-benefício. Raimondi et al. (2023) destacam que o tratamento físico-químico é uma opção viável para melhorar a qualidade da água da chuva, adequando-a tanto para uso doméstico quanto industrial. Além disso, os autores

ressaltam que a cloração é a técnica de desinfecção mais amplamente adotada em sistemas de tratamento de águas pluviais, devido à sua acessibilidade.

Chen-Ani et al. (2009), Sharma et al. (2015) e Sojka et al. (2016), apud Kakoulas et al. (2022), destacam que os SAAP são reconhecidos como uma fonte alternativa de abastecimento de água para regiões que enfrentam escassez hídrica. Além disso, os SAAP podem ser integrados a sistemas que aproveitam diversas fontes de água, reforçando sua eficiência e reduzindo a dependência de uma única fonte. Complementando essa perspectiva, Lamberts et al. (2010, apud Faria, 2020) ressaltam que a coleta de água da chuva pode ser realizada por meio de estruturas já existentes, sendo armazenada em reservatórios ou cisternas e utilizada com pouco ou nenhum tratamento.

Júnior (2022) e Farias et al. (2024) mencionam algumas das principais vantagens na reutilização de água pluvial:

- Diminuição do consumo de água da rede pública, acarretando na redução dos gastos e também preservando os cursos d'água;
- A água coletada tem uso imediato e eficiente;
- Redução do escoamento superficial;
- Minimiza processos que possam acelerar a erosão do solo;
- Fácil implantação.

Assim como qualquer sistema apresenta vantagens e desvantagens, Faria (2020) e Júnior (2022), especificam as seguintes desvantagens dos SAAP:

- A dependência de precipitação no local;
- Instalação de uma nova rede de abastecimento;
- Risco de contaminação em usos não potáveis é elevado quando a água não é armazenada ou tratada corretamente, podendo gerar efeitos prejudiciais à saúde humana;
- Alto custo na implantação do projeto para a edificação, englobando projeto, equipamento e materiais;
- Capacidade de armazenamento reduzida, que pode restringir o volume de água recolhida.

### 2.2.3. Aplicação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais em diferentes contextos

Há numerosos artigos e estudos que detalham o SAAP para uso na agricultura. Alguns exemplos de autores nesta área: Araújo (2020), Brito et. al (2012 apud Silva et. al, 2021) e Queiroz (2021).

Em adição, há casos de empresas e organizações que implementaram SAAP em suas instalações. A primórdio, a empresa Viação Santa Brígida, empresa de ônibus operante no município de São Paulo – Brasil. As instalações da empresa apresentam uma área para captar a água proveniente da chuva que cai sobre o telhado e é captada por canaletas com direcionamento para uma rede de piscinões subterrâneos. Esta água é destinada para a lavagem de pisos, peças e veículos.

Outro exemplo empresarial, no ramo da construção civil é a construtora Plaenge, sede em Cuiabá – Brasil, que utiliza sistemas de aproveitamento de água da chuva para a limpeza das áreas comuns em seus empreendimentos. Em projetos industriais, sistemas semelhantes são aplicados para usar a água pluvial nos processos das fábricas. A Figura 2.10 apresenta uma das edificações com SAAP presente em sua estrutura.



**Figura 2.10** – Edifício Vitra Água Verde (2024) localizado em Curitiba – Paraná, Brasil (Plaenge, <https://www.plaenge.com.br/>).

O aproveitamento de água pluvial também é relatado em eventos culturais. Um caso exemplar é a Exposição Mundial “Expo 2000” na cidade de Hanover, na Alemanha, cujo tema foi “Homem-Natureza-Tecnologia” e foram instalados sistemas de coleta de água de chuva em todas as construções da mostra (Wiki Arquitectura, s.d).

## 2.3. Coberturas verdes

### 2.3.1. Enquadramento histórico das coberturas verdes

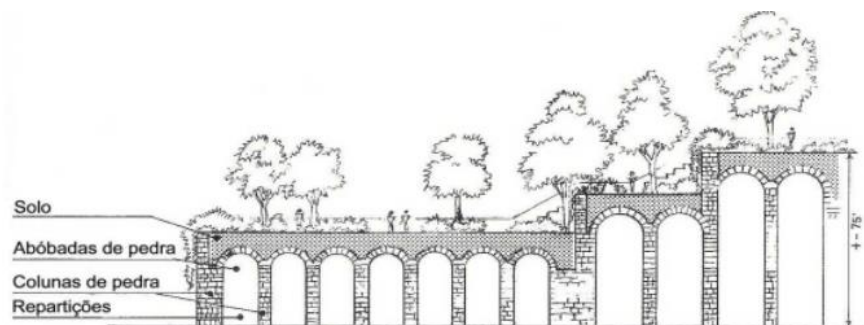
Relatos no passado mostram facilmente que o uso de CV é uma prática comum no decorrer do tempo, com diferentes formas e funções, seja para reconstruir ambientes naturais ou para proteger as habitações de condições climáticas.

As antigas civilizações como as dos vales dos rios Tigres e Eufrates, e os romanos deram início ao desenvolvimento dos jardins ornamentais nos telhados, sendo os mais famosos os Jardins Suspensos da Babilónia do Palácio do Rei Nabucodonosor II, apresentado na Figura 2.11, no século VI a.C (Gomes, 2023).



**Figura 2.11** – Reprodução idílica do que seria o Jardim da Babilônia  
(<https://pt.wikipedia.org/>).

Segundo os arqueólogos, os jardins suspensos, com áreas de 1200 m<sup>2</sup> a 1800 m<sup>2</sup>, eram irrigados por um sistema mecanizado que retirava água do rio Eufrates, utilizando rodas movidas por escravos. A água era armazenada em um tanque no topo da construção, de onde era liberada em cascatas (Costa, 2010). A Figura 2.12 apresenta o desenho dos jardins segundo o arqueólogo Robert Koldewey.



**Figura 2.12** – Desenho dos Jardins Suspensos da Babilónia com base nas descrições do arqueólogo Robert Koldewey (Costa, 2010).

Os vikings, como eram denominados os povos que habitavam a norte da Europa, comumente utilizavam em suas habitações os chamados “sod roofs” (coberturas relvadas). As casas eram cobertas com turfa para proteção contra o vento e a chuva, e, em alguns casos, usavam algas marinhas nos telhados como isolamento, devido às baixas temperaturas que dificultavam a sobrevivência nas regiões. Este tipo de coberturas perduraram até ao século XIX, e atualmente são comuns em habitações rurais, como mostra na Figura 2.13 (Peck et al., 1999; Silva, 2012 apud Pinto, 2018).



**Figura 2.13** – Pequena vila com “sod roofs” nas Ilhas Faroé (Dinamarca) (Pinto, 2018).

Anico (2016, apud Figueiredo, 2020), relata que era tradicional a aplicação de CV até, pelo menos, à Idade do Bronze, continuando até aos nossos dias em localidades com climas mais frios. Um exemplo disso são as ruínas de Jarlshof nas Ilhas Shetland, apresentadas na Figura 2.14.



**Figura 2.14** – Ruínas de Jarlshof nas Ilhas Shetland (Alastair Hamilton, 2020).

A Torre Del Guinigis, construída na segunda metade do século XIV, apontado pela Figura 2.15, é um dos edifícios mais famosos da época medieval na Itália. A mesma tinha como papel defensivo e habitacional na cidade italiana de Lucca (Florença, 2019 apud Valente, 2019). A estrutura apresenta um pequeno jardim de cobertura, possuindo uma altura de 36,5 m de altura, com sete carvalhos plantados em canteiros de tijolos, irrigados por um sistema subterrâneo, sendo uma inovação para a época (Figueiredo, 2020).



**Figura 2.15** – Torre Del Guinigis (<https://guiaflorenca.net/>)

Associação Nacional de Coberturas Verdes - ANVC (2019, apud Valle, 2022), afirma que a verdadeira expansão das CV ocorreu nos anos 70 no século XX, na Alemanha e nos Estados Unidos, enquanto em Portugal, os exemplos mais significativos surgiram no final do século XX e início do século XXI, tendo como exemplos a Fundação Calouste Gulbenkian (Figura 2.16), ETAR de Alcântara em Lisboa (Figura 2.17), estação de metrô e a praça de Lisboa, ambas localizadas em Porto - Portugal.



**Figura 2.16** – Vista da Fundação Calouste Gulbenkian, 1970 (Mário de Oliveira, s.d).



**Figura 2.17** – ETAR de Alcântara, Lisboa – Portugal (João Nunes & Carlos Ribas, 2011).

Vale lembrar que a Alemanha foi considerada a pioneira das CV modernas, com o desenvolvimento iniciado nas décadas de 1950 e 1960, nas zonas urbanas, impulsionado por estudos de Reinhard Bornkamm e também por conta da crise energética e a designada crise do petróleo, com o objetivo de reduzir o consumo de energia por parte dos edifícios (Valente, 2019). No ano de 1975, é fundada a organização FLL (*Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*), o qual iniciou pesquisas sobre CV em 1978, dividindo-as em tipologias extensiva e intensiva, focando na manutenção e sustentabilidade. Em 1982, a FLL publicou um documento com diretrizes para o planejamento e manutenção das coberturas, o que ajudou a superar desafios técnicos e impulsionou o crescimento de empresas especializadas na tecnologia (Figueiredo, 2020).

Desta maneira, o interesse pelas CV cresce por conta do aumento crescente das preocupações com a qualidade do meio ambiente, refletindo uma sociedade cada vez mais atenta às questões ecológicas e também devido a implementação de iniciativas de estímulo para impulsionar o

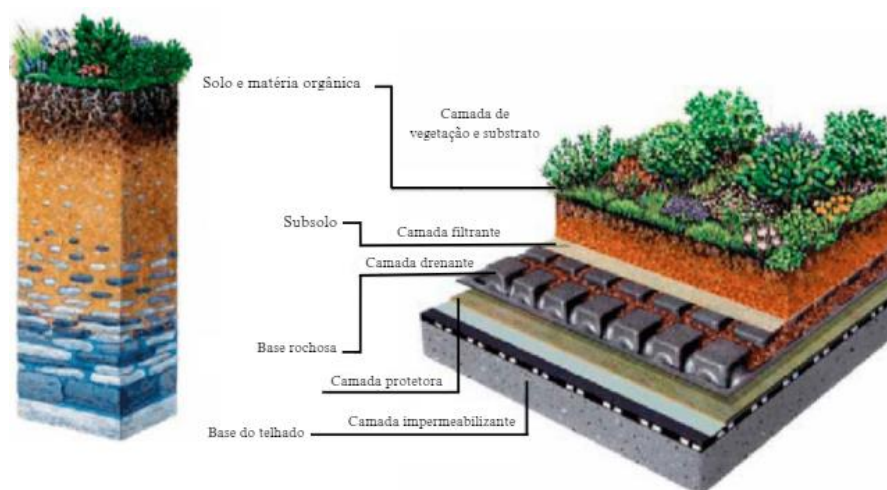
emprego desta tecnologia e aprimorar os padrões ambientais, particularmente de zonas urbanas (Perussi, 2016 apud Freire, 2021; Figueiredo, 2020).

Diante desse panorama, as CV começam e/ou continuaram a ser utilizadas em muitas regiões do mundo com diferentes tipologias e constituições, onde a implementação dessa prática pode variar de acordo com clima, cultura e política e também os resultados dos níveis e tipos de incentivos para os promover.

### 2.3.2. Coberturas verdes: características e funcionamento

Calheiros & Stefanakis (2021) descrevem as CV como: “sistemas que são instalados em uma estrutura construída e compreendem vegetação plantada sobre um substrato seguido de diferentes camadas, dependendo do tipo de telhado verde”. É importante ressaltar que o sistema pode variar de acordo com a tecnologia utilizada, levando em consideração as condições ambientais do local de aplicação e as necessidades das espécies vegetais plantadas (Baldo et al., 2020).

As CV são constituídas de várias camadas, com funções interligadas alcançada com materiais específicos, o qual seus componentes principais são: vegetação, substrato, camada de filtro, camada de drenagem, camada de proteção e membranas de cobertura, todos apoiados em uma estrutura isolada (Freire, 2021). A Figura 2.18 expõe as camadas descritas.



**Figura 2.18** – Camadas de um solo natural (a) e as diferentes camadas consideradas em uma cobertura verde, segundo a empresa ZinCo (b) (Adaptado de Zinco Cubiertas Ecológicas, 2019).

Portanto, apresentam-se, de modo sucinto, as definições dos elementos conforme Calheiros & Stefanakis (2021), Freire (2021) e Gomes (2022):

- **Vegetação:** camada superior do telhado verde, fixada sobre um substrato técnico.
  - A seleção de espécies de planta deve considerar: o tipo de telhado, tipo de substrato, tipo de manutenção, condições climáticas e necessidades de irrigação;
  - Funções: indica a saúde do sistema, promoção da biodiversidade (acima e abaixo do solo) e proteção contra erosão e reflexão da radiação solar.
- **Substrato:** suporte para plantas e habitat para microfauna e macrofauna.
  - Fornecer água, nutrientes e condições para o desenvolvimento vegetal;
  - Características variam conforme o projeto levando-se em conta o armazenamento, drenagem de água e o isolamento térmico;
  - Composição usual: combinação de minerais, matéria orgânica e nutrientes.
- **Camada Filtrante:** feita de geotêxtil, contendo pequenos poros que conferem permeabilidade à camada e evita que partículas do substrato obstruam a camada de drenagem.
- **Camada de Drenagem:** drena o excesso de água, evitando saturação do substrato e mantendo a umidade estável.
  - As placas drenantes evitam o contato direto com o substrato e possuem perfurações que favorecem as trocas gasosas, mantendo as condições aeróbicas;
  - Materiais comuns: polietileno de alta densidade (PEAD), poliestireno ou argila expandida;
  - Espessura pode variar de 7 cm a 10 cm.
- **Camada de Proteção:** protege contra danos mecânicos e atua como impermeabilizante e isolante.
  - Materiais: poliuretano, borracha ou poliestireno extrudado (XPS) em telhados invertidos.
- **Membrana de Cobertura:** separa as camadas superiores dos suportes estruturais.
  - Pode funcionar como membrana impermeável e anti-raízes.

Igra (2015, apud Silva et al., 2019), destaca que as CV podem ser classificadas em diversas categorias, tendo em consideração algumas características particulares que podem ser identificadas em cada uma delas tais como tamanho, inclinação, acessibilidade e material da estrutura, sendo a classificação mais comum em relação ao seu tamanho. As CV podem ser

classificadas como pertencentes às de maior porte, conhecidas como intensivas, às de menor porte, chamadas de extensivas e entre essas duas classificações, há uma de porte intermediário, denominadas semi-intensivas. A Figura 2.19 apresenta um comparativo entre estas categorias.



**Figura 2.19** – Comparativo entre as categorias das coberturas verdes (Gomes, 2022).

Barcelos et al. (2024) caracterizam estas categorias como:

- Extensiva: apresentam meios de cultivo iguais ou inferiores a 152 mm, limitando o uso de espécies vegetais com raízes rasas, como gramíneas, musgos e algumas suculentas. Não exigem grandes suportes estruturais adicionais já que pesam entre 63 e 146 kg/m<sup>2</sup>, além de ações mínimas de manutenção (Figura 2.20).



**Figura 2.20** – Cobertura extensiva (Green Roof Technology, <https://greenrooftechnology.com>).

- Semi-intensiva: mistura dos sistemas intensivos e extensivos e podem receber quase todos os tipos de vegetação de jardim. Seu peso varia entre 122 e 195 kg/m<sup>2</sup> (Figura 2.21).



**Figura 2.21** – Cobertura verde semi-intensiva (Green Roof Technology, <https://greenrooftechnology.com>).

- Intensiva: ampla variedade de plantas, incluindo arbustos e pequenas árvores e exigem mais irrigação, manutenção além de requer uma análise preliminar da capacidade da estrutura para suportar a carga adicional já que seu peso pode variar de 171 a 488 kg/m<sup>2</sup> (Figura 2.22).



**Figura 2.22** – Cobertura verde intensiva (Green Roof Technology, <https://greenrooftechnology.com>).

Outros autores referem outra classificação como cobertura castanhas ou também conhecidas como “brown roofs”. Abreu & Menezes (2024), descrevem que essa tipologia se assemelha ao telhado verde, tem como objetivo primordial ampliar a biodiversidade local e reconstruir habitats naturais, sobretudo em ambientes urbanos. A Figura 2.23 apresenta um modelo deste tipo de cobertura.



**Figura 2.23** – Cobertura castanhas ou “brown roofs” (Manfred Köhler, s.d).

No que concerne ao projeto de implementação da CV, conforme Neto et al. (2021), é fundamental realizar uma análise detalhada da estrutura da cobertura onde será instalada. No caso de coberturas constituídas por laje, com ou sem inclinação, requer que a superfície seja adequadamente impermeabilizada. Já em coberturas de telhas cerâmicas, requer que seja feito a remoção das telhas e instaladas placas de madeira compensada, que atuarão como base de suporte para a cobertura vegetal, garantindo estabilidade e funcionalidade da vegetação.

Além disso, o projeto deve incluir uma manta de retenção para evitar o deslizamento do substrato, bem como mantas de impermeabilização para prevenir infiltrações e problemas de umidade na edificação, assim como o sistema de irrigação e drenagem também deve ser integrado ao projeto. Adicionalmente, é essencial a utilização de elementos que proporcionem baixa densidade para a vegetação e uma boa retenção da água pluviométrica (Oliveira et al., 2021).

Silva et al. (2023) afirmam que a expectativa da cobertura implantada tenha a mesma vida útil que a impermeabilização do edifício, ou seja, entre 30 a 40 anos. Essa durabilidade se reflete em uma expectativa de vida útil maior em comparativo com as coberturas convencionais, que geralmente duram cerca de 20 anos. Como resultado, a CV extensiva requer menos substituições, o que implica em menores custos operacionais e atividades de manutenção ao longo da vida útil do edifício.

No que diz respeito à manutenção das CV, a Tabela 2.1 apresenta um guia geral das ações necessárias, considerando que cada sistema pode ter requisitos específicos de acordo com suas características e condições de instalação.

**Tabela 2.1** – Tarefas comuns de manutenção em cobertura verde (Almeida, 2020).

| Objetivo da manutenção  | Tarefa relacionada  |
|---|---|
| Manter o projeto do telhado verde, possibilitando o crescimento das plantas | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Substituição de plantas debilitadas;</li> <li>▪ Remoção de resíduos de materiais vegetais como folhas, podas e ervas daninhas;</li> <li>▪ Verificação de pragas ou doença e tratamento conforme necessário;</li> <li>▪ Ajustes sazonais no volume e frequência de irrigação;</li> <li>▪ Garantir níveis adequados de nutrição para as plantas;</li> <li>▪ Inspeccionar a CV depois de graves eventos climáticos como por exemplo, vento, calor, chuvas.</li> </ul> |
| Monitorar o desempenho das plantas  | Manter registros de saúde e vigor planta e impactos de pragas e doenças.  |
| Gerenciar gramados e árvores  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Poda regular;</li> <li>▪ Renovação frequente;</li> <li>▪ Inspeção anual.</li> </ul>  |
| Gerenciar substrato   | Completar substrato quando necessário, devido a ação do vento, chuva e atividade de animais (verificar a profundidade do substrato projetado antes de realizar as adições para assegurar que cargas não sejam excedidas).   |
| Gerenciar sistemas de irrigação   | Testar e inspeccionar regularmente o sistema de irrigação (verificar o volume de irrigação fornecido, a sua frequência, o teor de umidade do substrato).  |
| Monitorar a drenagem  | Certifique-se de que os drenos do telhado estejam limpos e funcionando, removendo a sujeira, o lixo e outros detritos.  |
| Monitorar a impermeabilização   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inspeccionar os rufos e membrana de impermeabilização sobre as terminações;</li> <li>▪ Verificar danos causados por água, fertilizantes ou plantas;</li> <li>▪ Detectar vazamentos na impermeabilização.</li> </ul>  |

### **2.3.3. Coberturas verdes: contribuição ambiental, econômica e social**

No contexto atual, as CV são reconhecidas por oferecer uma variedade de benefícios, incluindo vantagens ambientais, econômicas, sociais e estéticas, além dos ganhos proporcionados pela integração dessas áreas. Assim, Barcelos et al. (2024), destaca que os benefícios deste tipo de sistemas podem ser públicos, que são visíveis em grande escala, ou privados, ou seja, têm mais impacto nos utilizadores do edifício.

As diversas funcionalidades podem ser agrupadas em cinco áreas: qualidades estéticas e enquadramento paisagístico, aspectos sociais, aspectos psicológicos, benefícios à nível da estrutura e aspectos ambientais e biodiversidade do meio urbano.

#### **1. Qualidades estéticas e enquadramento paisagístico**

As cidades se desenvolveram em um ritmo acelerado, assim como tudo o que lhes é associado. Desta forma, se tornaram cada vez mais compactas e altamente densificadas, e como resultado, a ampliação de áreas impermeabilizadas e diminuição de áreas verdes e locais onde se possa estar em contato com a natureza (Monteiro et al., 2021).

Portanto, a intensa urbanização nas áreas metropolitanas reduz a atratividade desses locais. Com a adoção de CV, os edifícios apresentam uma estética que remete a espaços naturais, e conseqüentemente, revitalizando a paisagem urbana (Gomes, 2023). Para além disso, Neto et al. (2021) citam que as CV revitalizam espaços áridos e sem vida, transformando-os em áreas vibrante e habitáveis, ampliando a área útil do imóvel e, por fim, também agrega um valor significativo à propriedade, tornando-a mais atrativa para possíveis vendas futuras.

Sutton (2014, apud Calheiros & Stefanakis, 2021), afirma que: “o elemento estético da CV é o benefício mais intangível, embora seja relevante envolver o cliente/utilizador não só pela componente visual, mas educá-lo sobre a dinâmica da natureza, a dimensão ecológica e as metamorfoses da cobertura, ao mesmo tempo que desperta outros sentidos humanos”.

Além disso, a estética dessas estruturas pode ser totalmente personalizada de acordo com as preferências ou necessidades dos usuários, permitindo uma integração harmoniosa entre funcionalidade, sustentabilidade e design (Anico (2016), Varela (2011), apud Figueiredo, 2020).

## 2. Aspectos sociais

As CV estão cada vez mais consideradas como espaços ideais para a produção de alimentos, principalmente após os desafios trazidos pela pandemia de COVID-19. Esse cenário levou as cidades a refletirem sobre questões como a segurança alimentar, a redução da dependência de importações e os riscos associados a possíveis interrupções nas cadeias de suprimentos (Calheiros & Stefanakis, 2021).

Um exemplo notável é o Hotel Fairmont, em Vancouver, Canadá (Figura 2.24), onde são cultivadas mais de 20 variedades de folhagens, ervas, temperos, hortaliças, frutas e flores comestíveis, utilizados na culinária do hotel. Além disso, o hotel oferece quartos com terraços integrados ao telhado verde, permitindo que os hóspedes desfrutem da luz solar e da vista do jardim.



**Figura 2.24** – Cultivo de alimentos na cobertura do Hotel Fairmount em Vancouver – Canadá (<https://institutocidadejardim.wordpress.com/>).

Outra vantagem a nível social das CV é a possibilidade de criação de espaços de lazer, que proporcionam práticas coletivas e contato entre os moradores da edificação, resultando em uma interação e cooperação entre os mesmos. Logo, as coberturas de grandes dimensões podem abrigar campos de jogos e até mesmo campos de golfe (Figura 2.25).



**Figura 2.25** – Campo de golfe na cobertura de um edifício em Manhattan - Nova Iorque (Costa, 2010).

### **3. Aspectos psicológicos**

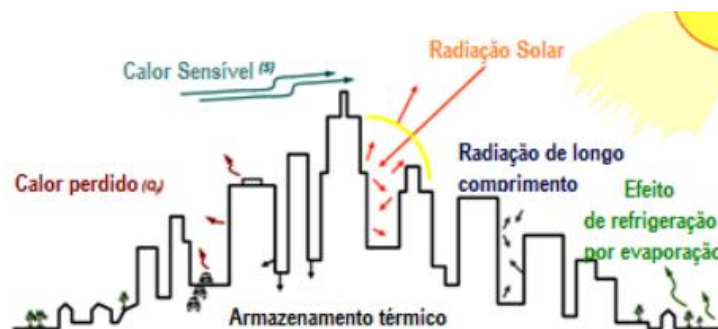
Olmsted (1865, apud Pearlmutter et. al., 2019), argumentou que “...a apreciação da paisagem emprega a mente sem fadiga e ainda assim a exercita, tranquiliza-a e ainda assim a anima; e assim, através da influência da mente sobre o corpo, dá o efeito de descanso refrescante e revigoramento a todo o sistema”.

Sendo assim, Lourenço et al. (2016) e Hansen et al. (2017), apud Lima et al. (2024), citam que alguns benefícios gerados pela interação dos indivíduos e plantas são: a redução do estresse, a aceleração de recuperação hospitalar e maior desenvolvimento cognitivo de estudantes.

### **4. Benefícios à nível da estrutura**

A CV nas edificações oferece benefícios higrotérmicos e acústicos já reconhecidos, assim, implica em ganhos econômicos diretos tanto para os construtores quanto para os usuários.

Um dos impactos climáticos mais discutidos na literatura são as “ilhas de calor” (Figura 2.26). Segundo Amorim et al. (2009, apud Freire, 2021), são definidas como: “manifestação do aumento das temperaturas causadas por características físicas (alta densidade de construções, concentração de materiais construtivos de grande potencial energético de emissividade e reflectância) e as atividades urbanas”.



**Figura 2.26** – Efeito da ilha de calor urbano (Aragão, 2011).

Posto a isto, as CV têm a capacidade de atenuar esse efeito, uma vez que a radiação solar é absorvida pelas vegetações e os processos fisiológicos, como a evapotranspiração e a fotossíntese, e também da elevada inércia térmica das camadas constituintes, auxiliam para minimizar as flutuações térmicas, garantindo uma estabilização da temperatura interna do local seja em épocas frias ou quentes (Ferreira, 2007 apud Baldo et al., 2020).

O uso do referido método construtivo reduz o consumo de energia, uma vez que funciona como uma camada adicional de proteção térmica, minimizando os ganhos solares. No verão, regulam o fluxo de calor pelo telhado, diminuindo a necessidade de resfriamento artificial. Além disso, protegem as membranas do telhado contra temperaturas extremas, reduzindo o estresse térmico e aumentando a durabilidade da estrutura (Costa, 2023). Santamouris (2014, apud Langemeyer et al., 2020), afirma que em pesquisas experimentais e de modelagem indicam que as CV podem reduzir as temperaturas ao redor em até 3 °C.

Ademais, Niachou et al. (2001, apud Neto et al., 2021), afirmam que as cargas estimadas de aquecimento e refrigeração são menores nas edificações que apresentam uma CV, independentemente do tipo de isolamento do telhado. Como consequência disso, a implementação dos mesmos contribuem para a eficiência energética das edificações diante da redução na refrigeração e instalação de sistemas de ventilação e de energia.

Figueiredo (2020) afirma que a cobertura tradicional está exposta a fatores de erosão que acabam por deteriorar as membranas de impermeabilização. Portanto, quando se tem uma CV, a mesma funciona como barreira aos agentes de erosão, preservando as condições da membrana de proteção do mesmo e aumentando a sua durabilidade. Em complementação, as CV apresentam uma capacidade de proteção de até 87% da radiação solar bem como dos danos mecânicos e amortecer a variação de temperatura durante o dia, diminuindo os danos da

expansão e contração diária dos elementos que compõem o telhado (Miller C. et al., 2016, Wong NH. et al., 2003 apud Calheiros & Stefanakis, 2021).

Um aspecto importante a considerar é o amortecimento dos ruídos por conta da combinação de substrato, vegetação e de diversas camadas presentes nas CV. Autores como Ângelo (2017), Guzmán-Sánchez et al. (2018), Tabatabaee et al. (2019) dentre outros, realizaram pesquisas em relação à influência das CV em relação a mitigação do ruído de variadas formas e concluíram o potencial destas como ferramenta de isolamento sonoro.

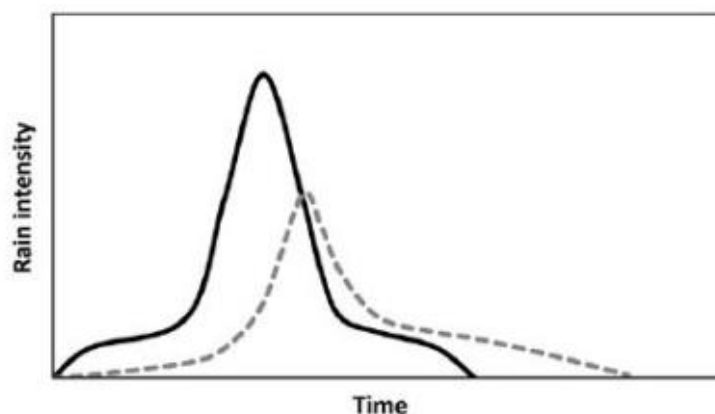
## **5. Aspectos ambientais e biodiversidade do meio urbano**

Por conta do desenvolvimento e expansão da urbanização, o habitat natural de numerosas espécies foi devastado. E pelo fato das CV se assemelham a parques e jardins, as mesmas abrigam diversas espécies de vegetais e animais, oferecendo alimento e proteção. Logo, as CV apresentam um papel crucial no quesito da biodiversidade urbana (MacIvor e Lundholm, 2010 apud Langemeyer et al., 2020)

Outra problemática gerada pela urbanização é a dificuldade de escoamento de águas pluviais por conta da área reduzida de superfícies permeáveis. Logo, outra vantagem desse tipo de método construtivo, segundo Silva et al. (2021), é o controle do escoamento de águas pluviais, por retenção ou retardo, minimizando o risco de inundações, sendo considerados um importante instrumento na sua prevenção e controle. Köhler et al. (2002, apud Neto et al., 2021), destacam que as CV podem reduzir o escoamento total em até 60% a 70% anualmente.

A maior parte da água retida nas camadas dos telhados verdes é devolvida ao ciclo hidrológico através da interceptação das plantas, evapotranspiração, infiltração e eventualmente retenção de substrato (Lundholm et. al., 2015, Schroll et al., 2011 apud Silva et. al., 2020).

A Figura 2.27 compara o desempenho de coberturas tradicionais e verdes frente a um mesmo pico de precipitação, evidenciando que a CV apresenta um pico de intensidade mais baixo e retardado em relação à cobertura tradicional.



**Figura 2.27** – Comportamento de uma cobertura verde (linha tracejada) e de uma cobertura tradicional (linha contínua) na mesma condição de precipitação (Novo, 2016).

Para mais, inúmeros autores realizaram análises simulando diferentes faixas percentuais a fim de indicar a retenção média de água e redução do escoamento superficial, como mostrado na Tabela 2.2 e 2.3, respectivamente.

**Tabela 2.2** – Porcentagens médias de retenção de água (Silva et. al., 2020).

| Referências              | Tipo de Telhado Verde                             | Faixa de retenção                   |
|--------------------------|---|-------------------------------------|
| Metselaar (2012)         | Extensivo e intensivo (5, 10, 20, 40, 60 e 80 cm) | 55 a 75%                            |
| Wong e Jim (2014)        | Intensivo (16 plataformas com 40 e 80 cm)         | Média de 39 a 43%                   |
| Stovin (2010)            | Extenso (protótipo com 20 cm)                     | Média de 34%                        |
| Graeson et al. (2013)    | Extenso (36 decks 1,0 m <sup>2</sup> com 20 cm)   | 44%                                 |
| Stovin (2013)            | Extenso (20 cm)                                   | 3,2 a 23%                           |
| Ohnuma et al. (2014)     | Extenso (5 cm)                                    | 30 a 57%                            |
| Lee et al. (2015)        | Extenso (7 pilotos com 15 cm)                     | 13 a 34% (15 cm) e 43 a 61% (20 cm) |
| Carson et al. (2013)     | Extenso (3 pilotos com 5 cm)                      | 21 a 34%; para chuva >5 mm          |
| Palla et al. (2010)      | Extenso (protótipo com 15 cm)                     | Média de 51%                        |
| Longobardi et al. (2010) | Extenso (dois protótipos com 15 cm)               | Acima de 75%; Entre 50% e 100%      |
| Palla et al. (2008)      | Extenso (20 cm)                                   | Média de 85%                        |

**Tabela 2.3** – Percentuais de redução de escoamento superficial (Silva et. al., 2020).

| <b>Referências</b>           | <b>Telhado Verde Extensivo</b> | <b>Telhado Verde Intensivo</b> |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Oberndorfer et al. (2007)    | 66 a 69%                       | 26 a 100%                      |
| Gerardi et al. (2014)        | 57 a 71,7%                     | -                              |
| Rowe (2011)                  | 50 a 60%                       | -                              |
| Grégoire; Clausen (2011)     | 34 a 69%                       | -                              |
| Mentens et al. (2006)        | 27 a 81%                       | 54%                            |
| Hathaway et al. (2008)       | 77 a 88%                       | 54%                            |
| Galarza-Molina et al. (2014) | 38 a 100%                      | 54%                            |
| Palla et al. (2008)          | 95%                            | -                              |

Por fim, Cerón-Palma et al. (2013) e Savi & Tavares (2018), apud Lima et al. (2024), destacam que as CV têm uma suma importância no que tange à retenção de metais pesados e outros poluentes. De maneira similar, também favorecem a ciclagem e o sequestro de CO<sub>2</sub>, sendo processos naturais possibilitados pela presença da vegetação. Ademais, uma cobertura vegetal de 1.000 m<sup>2</sup> pode capturar cerca de 160-200 kg de poeira atmosférica anualmente (Xiao et al., 2014 apud Lima et al., 2024).

## **6. Desvantagens**

Não obstante todos os benefícios das CV citados acima, as mesmas apresentam limitações com relação a sua instalação devido a fatores como os elevados custos iniciais e de manutenção e também as fugas nos telhados (Shafique et al., 2018 apud Zhang & He, 2021).

É importante enfatizar que o sistema de multicamadas das CV geram uma carga adicional na estrutura da edificação, o que requer maior capacidade de suporte do edifício e em certos casos, pode nem sempre ser possível a sua instalação (Drozd, 2019, Silva et al., 2017 apud Gomes, 2022). Não somente isso, Barcelos et al. (2024) apontam que a CV também pode ocasionar patologias no edifício, originadas principalmente das falhas no sistema ou na instalação. Entre os problemas mais comuns estão: umidade proveniente de vazamentos e infiltrações, alagamento devido à retenção excessiva de água, muitas vezes causadas pelo entupimento dos

dispositivos de drenagem e enraizamento nos materiais de construção, o que pode danificar as camadas impermeabilizantes e até mesmo a estrutura da cobertura.

Outro desafio é as dificuldades técnicas durante o processo de projeto e construção já que não se existem legislações aplicáveis à implementação das CV em alguns países, assim como não há incentivos, políticas e estratégias governamentais e das comunidades sociais entre os setores públicos e privados (Figueiredo, 2020).

Gomes (2022) cita que a eficiência das CV está condicionada a múltiplos fatores, como a área ocupada, o nível de conexão com o entorno, o tipo de cobertura, a espessura do substrato, da camada drenante e de retenção, a vegetação utilizada, a inclinação do telhado, além da quantidade e distribuição temporal das chuvas, além disso, em casos de eventos críticos como tempestades e inundações repentinas, é necessário conduzir cuidados especiais de manutenção (RICS, 2016 apud Zaid et al., 2021).

A Tabela 2.4 apresenta uma lista de desafios da instalação de CV em edifícios existentes por pesquisadores.

**Tabela 2.4** – Resumo dos desafios da aplicação de sistemas de coberturas verdes em edifícios existentes (Li & Yeung, 2014).

| <b>Barreiras</b>  | <b>Referências</b>                              |
|---|---|
| Aumento do custo de manutenção  | Peck e Callaghan, 1999 ;<br>Ngan, 2004          |
| Aumento do custo de projeto e construção  | Ngan (2004)                                     |
| Falta de incentivo do governo para os desenvolvedores   | Getter e Rowe (2006)                            |
| Falta de incentivo do governo para com os proprietários dos edifícios existentes                  | Peck e Callaghan, 1999 ,<br>Getter e Rowe, 2006 |
| Dificuldade técnica durante o processo de projeto e construção                                    | Peck e Callaghan, 1999 ,<br>Getter e Rowe, 2006 |
| A idade do edifício existente   | Townshend (2007)                                |
| A fraca acessibilidade de um telhado extenso para suportar a carga do vento                       | Peck e Callaghan, 1999 ;<br>Townshend, 2007     |
| Carga estrutural fraca para aplicação de sistema extenso de telhado verde                         | Townshend (2007)                                |
| Mau arranjo de serviços públicos  | Townshend (2007)                                |
| Falta de conscientização sobre o extenso sistema de telhados verdes nos setores público e privado | Hui (2006) ;<br>Townshend (2007)                |

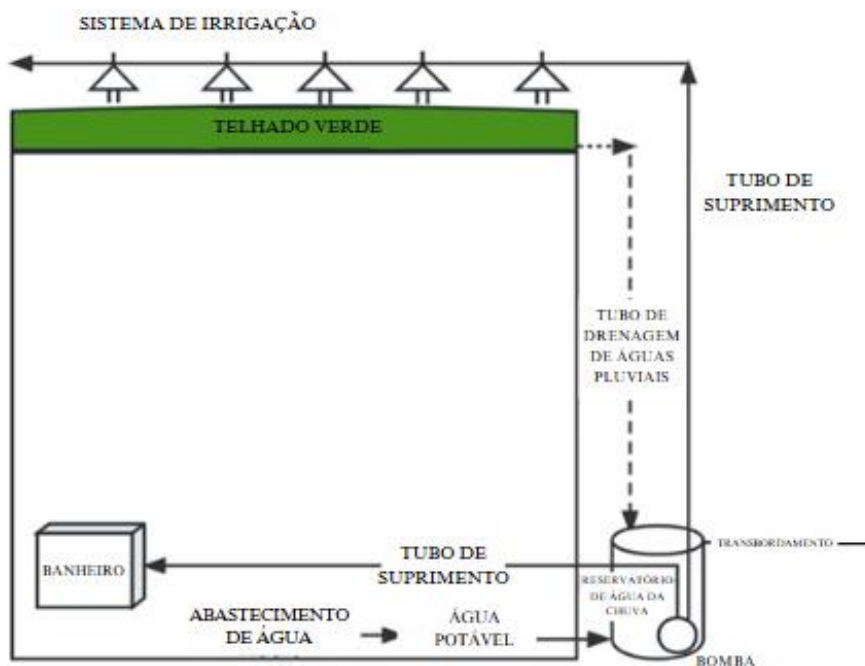
## **2.4. Combinação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e coberturas verdes**

Segundo Kolb (2003, apud Oliveira et al., 2021), uma abordagem eficiente para reduzir os volumes de água direcionados aos sistemas convencionais de drenagem pluvial consiste na integração de múltiplas soluções. Entre elas, destacam-se a captação e retenção de águas pluviais, técnicas de infiltração no solo com manejo adequado e a implementação de CV. Almeida et al. (2023) afirmam que a combinação de SAAP com CV ainda representa uma lacuna de conhecimento a ser explorada.

Embora a integração dessas tecnologias possa melhorar o desempenho geral no gerenciamento de águas pluviais, é importante considerar que as CV podem reduzir a quantidade de água direcionada ao SAAP, impactando no volume de água da chuva no edifício. No estudo

realizado por Frazão (2018), o autor conclui que o tipo de CV utilizada influencia a performance do SAAP, sugerindo que menores retenções e menores valores de pico de escoamento podem majorar a eficiência do SAAP e o nível de poupança de água. Adicionalmente, optar por um único reservatório para ambas as finalidades, SAAP e a coleta de água proveniente da CV, demonstra-se vantajoso do ponto de vista econômico, uma vez que reduz custos associados à construção, instalação e manutenção de estruturas separadas. Portanto, a interação dinâmica entre essas soluções precisa ser cuidadosamente analisada para maximizar seus benefícios.

O sistema SAAP-CV é composto por uma cobertura vegetal, calhas para captação de água da chuva, uma unidade de armazenamento, uma rede de tubulação e um mecanismo de transbordamento, como mostra a Figura 2.28 (Campisano et al., 2017, Imteaz et al., 2012, apud Xie et al., 2025).



**Figura 2.28** – Esquema de corte transversal de um edifício com sistema GR-RWH (Adaptado de Xie et al., 2025).

A combinação desses métodos sustentáveis traz inúmeros benefícios. Freitas (2013, apud Franco et al., 2020) ressalta que, quando há a possibilidade de coleta de água pluvial, o telhado verde atua como um filtro natural, melhorando a qualidade da água captada. Complementando essa perspectiva, Tomaz (2005, apud Oliveira et al., 2021) destaca que o telhado verde filtra e

melhora significativamente a qualidade da água por meio de processos como a subtração de poluentes, a captação de água no solo e a evapotranspiração. A vegetação e o substrato do solo trabalham em conjunto para controlar o escoamento superficial, reduzindo os custos com filtração e tratamento de água (Saddi, 2010, apud Brandi, 2021).

Vilanueva et al. (2001, apud Oliveira et al., 2021) também destacam que os telhados verdes contribuem para a atenuação do escoamento superficial das águas pluviais, podendo reduzir e retardar o pico de vazão em comparação com coberturas convencionais. Essa capacidade de retenção de água, associada ao processo de evapotranspiração, minimiza os riscos de enchentes e inundações.

Brandi (2021) reforça que a combinação de CV com sistemas de captação de águas pluviais pode gerar uma economia significativa no consumo de água de uma edificação.

Em síntese, a integração de SAAP e CV não apenas potencializa os benefícios tradicionais de cada sistema, mas também cria sinergias que beneficiam tanto os usuários do edifício quanto o entorno urbano.

A Tabela 2.5 demonstra um resumo de estudos da combinação dessas soluções.

**Tabela 2.5** – Resumo dos estudos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais integrados com CV (Xie et al., 2025).

| <b>Referência</b>             | <b>Uso da água</b>                        | <b>Localização</b>                  |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| Lynch e Dietsch (2010)        | Irrigação                                 | Geórgia (EUA)                       |
| Hardin et al. (2012)          | Irrigação                                 | Flórida (EUA)                       |
| Vieira et al. (2013a)         | Irrigação                                 | Brasil                              |
| Chao-Hsien et al. (2015)      | Irrigação                                 | Taiwan (China)                      |
| An et al. (2015)              | Irrigação<br>Descarga de vasos sanitários | Hong Kong (China)                   |
| Monteiro et al. (2016)        | Irrigação<br>Descarga de vasos sanitários | Grécia                              |
| Santos & Taveira-Pinto (2013) | Uso não potável                           | Ilha de S. Miguel Açores (Portugal) |
| Santos et al. (2019)          | Uso potável                               | Brasil                              |
| dos Santos et al. (2022)      | Uso não potável                           | Brasil                              |
| Almeida et al. (2021)         | Uso não potável                           | Portugal                            |
| Almeida et al. (2023)         | Uso não potável                           | Brasil e Portugal                   |
| Kim et al. 2023)              | Uso não potável                           | Pyongyang (RPD Coreia)              |
| Silva et al. (2023)           | Uso não potável                           | Portugal                            |
| Xie et al. (2023)             | Uso não potável                           | Paris (França)                      |

## **2.5. Eficiência hídrica em edifícios públicos: uma abordagem teórica sobre escolas e sustentabilidade**

De acordo com Almeida et al. (2023), quanto mais extensa for a área coberta por uma ou mais dessas técnicas compensatórias (SAAP, CV e outras práticas sustentáveis), maior será a capacidade das cidades de enfrentar eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou secas prolongadas.

Nesse contexto, estruturas de grande porte, como prédios públicos, educacionais ou industriais, assumem um papel crucial no ambiente urbano. Além disso, destaca-se que os edifícios públicos estão entre os maiores consumidores de água nos contextos urbanos (Rodrigues et al. (2020), Bonnet et al. (2002), Silva et al. (2014), apud Antão-Geraldes et al., 2024).

Embora esses edifícios sejam grandes consumidores de recursos naturais, como a água, suas amplas superfícies também podem ser aproveitadas para diminuir o volume de escoamento superficial de águas pluviais, aliviando a pressão sobre os sistemas de drenagem e reduzindo um dos principais desafios ambientais das cidades: as inundações (Almeida et al., 2023). Adicionalmente, como os edifícios públicos geralmente são de responsabilidade do setor público, os benefícios decorrentes da implementação de medidas de eficiência hídrica são direcionados à própria organização (Almeida et al., 2023).

Sabe-se que os edifícios escolares desempenham uma função primordial no desenvolvimento educacional de crianças e jovens, já que, por se constituírem como espaços sociais, colaboram para a formação de cidadãos conscientes sobre a interação homem-meio ambiente (Stora et al., 2022).

Assim, os espaços educacionais são ambientes propícios para a reflexão socioambiental, contribuindo para a formação de cidadãos conscientes e para a promoção da sustentabilidade. Esses ambientes coletivos tornam-se ferramentas potenciais para a mudança de comportamento, integrando alunos, professores, funcionários e a comunidade externa. Ainda por cima, as instituições de ensino superior exercem uma contribuição essencial tanto na esfera social quanto na criação e disseminação de conhecimento (Antunes et al., 2020).

Portanto, alinha-se ao argumento de Cruz e Rios (2022, apud Almeida, 2024) de que a implementação de sistemas sustentáveis em instituições de ensino não só diminui a dependência de fontes tradicionais de água, mas também promove a conscientização ambiental e incentiva a adoção de práticas sustentáveis entre os estudantes, demais membros da comunidade acadêmica e população em geral.

# Capítulo 3

## Material e Métodos

### 3.1. Os casos de estudo

Neste tópico, serão apresentados e analisados os seguintes casos de estudo, que envolvem dois centros escolares localizados na cidade de Bragança – (Portugal). Tendo como objetivo principal de investigar e compreender sua estrutura, especialmente no que se refere às coberturas, permitindo uma análise da implementação do SAAP, com ou sem a presença da CV, em diferentes contextos.

O Centro Escolar de Santa Maria (Figura 3.1 – (a) e (b)) foi inaugurado no ano de 2010 e está localizado em Bragança, sendo pertencente ao agrupamento de Escolas Miguel Torga. Caracterizando-se como uma instituição pública voltada para os seguintes graus de ensino: pré-escolar e 1.º ciclo, do Concelho de Bragança. Segundo informações disponibilizadas no site da Câmara Municipal de Bragança, as instalações incluem uma área específica voltada ao jardim de infância e ao 1.º ciclo do ensino básico, com 10 salas de aula, cada uma com capacidade para 25 alunos, e 4 salas dedicadas, exclusivamente ao jardim de infância, o espaço conta com 2 salas de apoio, destinadas a alunos com necessidades educativas especiais, bem como uma sala de educação visual e trabalhos manuais.

A instituição também apresenta um ateliê para atividades de educação musical e expressão dramática, uma biblioteca para apoio pedagógico e um salão polivalente para o convívio dos alunos. Complementando as instalações, há um refeitório equipado com uma copa de apoio e um posto de primeiros socorros.

Para a equipe pedagógica, tem-se uma sala de reunião e de convívio para professores, uma sala de atendimento aos pais e um gabinete de trabalho para a coordenação do centro. Por fim, também se incluem equipamentos desportivos e equipamentos informáticos e de tecnologias de informação e comunicação.



**Figura 3.1** – Centro Escolar de Santa Maria da cidade de Bragança: (a) Entrada principal do edifício; (b) Fotografia Aérea (<https://www.cm-braganca.pt/>).

Outro centro escolar a ser estudado será o Centro Escolar da Sé (Figura 3.2 – (a) e (b)), também inaugurado no ano de 2010, sendo pertencente ao agrupamento de Escolas Emídio Garcia. Esta instituição apresenta as mesmas características de ensino e instalações do Centro Escolar de Santa Maria anteriormente citado.



**Figura 3.2** – Centro Escolar da Sé da cidade de Bragança: (a) Entrada principal do edifício; (b) Fotografia Aérea (<https://www.cm-braganca.pt/>).

O presente trabalho utilizará como base os dados coletados por Morais (2019), em um estudo realizado no Centro Escolar da Sé, e por Vale (2019), que desenvolveu uma pesquisa no Centro Escolar de Santa Maria. Para evitar repetições ao longo do texto, a Tabela 3.1 reunirá as informações essenciais fornecidas por esses autores, complementadas com dados adicionais obtidos junto à Câmara Municipal de Bragança. É válido ressaltar também o período de pandemia, de 2019 a 2022, o que comprometeu a precisão da coleta de dados durante esses anos. Assim, o presente trabalho será conduzido com base em estimativas de dados já coletados pelos autores citados.

**Tabela 3.1** – Quantitativo de usuários e dispositivos de utilização do centro escolar de Santa Maria (Vale, 2019).

**Centro Escolar de Santa Maria**

|   |    |   |
|---|----|---|
| Número de usuários                                |    | 316                                       |
| Total de dispositivos de utilização na edificação |    | Vazões estimadas dos dispositivos (L/min) |
| Torneiras de lavatório                            | 59 | 7,4                                       |
| Torneiras de copa                                 | 1  | 18  |
| Autoclismos de bacia retrete                      | 49 | 3L/6L (descarga dupla)                    |
| Fluxómetros de mictórios                          | 27 | 2L  |
| Chuveiros   | 8  | -   |
| Máquina de lavar                                  | 1  | -   |

**Tabela 3.2** – Quantitativo de usuários e dispositivos de utilização do centro escolar da Sé (Morais, 2019).

**Centro Escolar da Sé**

|   |    |   |
|---|----|---|
| Número de usuários                                |    | 412   |
| Total de dispositivos de utilização na edificação |    | Vazões estimadas dos dispositivos (L/min)                 |
| Torneiras de lavatório                            | 70 | 7,5   |
| Torneiras de copa                                 | 2  | 10  |
| Autoclismos de bacia retrete                      | 50 | Descarga dupla: 6,5L no acionamento de 6L e 3,5L no de 3L |
| Fluxómetros de mictórios                          | 27 | 2L  |
| Chuveiros   | 8  | -   |

### 3.2. Padrão de consumo de água dos edifícios escolares e propostas de medidas de eficiência hídrica

A compreensão dos consumos de água é essencial no quesito de identificação dos padrões de uso, avaliar os desperdícios e promover uma gestão eficiente dos recursos. De tal forma que esta análise possibilita a elaboração de estratégias mais assertivas de conservação e promover a sustentabilidade das operações.

Desta maneira, elaborou-se a Tabela 3.3 e 3.4 com o consumo de água por mês e ano de cada centro escolar, o qual a partir destes consumos, pode-se elaborar os possíveis cenários que viabilizem a economia financeira em prol da redução dos elevados consumos de água.

É importante enfatizar que a estimada dos consumo de água obtida pelos autores Morais (2019) e Vale (2019), tiveram como base os dados disponibilizados pela Câmara Municipal de Bragança (para os anos de 2015, 2016 e 2017), medidos “in situ”, por observação de hábitos de consumo de água, por entrevista aos utilizadores e por questionários aplicados a funcionários docentes e não docentes.

**Tabela 3.3** – Estimativa dos consumos médios dos centros escolares (Morais, 2019; Vale, 2019).

| Dispositivo/Atividade            | Centro Escolar de Santa Maria |      |                     |      | Centro Escolar da Sé |      |                     |      |
|----------------------------------|-------------------------------|------|---------------------|------|----------------------|------|---------------------|------|
|                                  | Mês típico                    |      | Mês com rega        |      | Mês típico           |      | Mês com rega        |      |
|                                  | m <sup>3</sup> /mês           | %    | m <sup>3</sup> /mês | %    | m <sup>3</sup> /mês  | %    | m <sup>3</sup> /mês | %    |
| Torneiras de lavatório           | 56,32                         | 32,0 | 56,32               | 16,0 | 77,42                | 42,0 | 77,42               | 8,0  |
| Autoclismos de bacias de retrete | 55,03                         | 30,0 | 55,03               | 16,0 | 63,04                | 35,0 | 63,04               | 7,0  |
| Fluxómetros de mictórios         | 20,02                         | 12,0 | 20,02               | 6,20 | 9,20                 | 5,0  | 14,72               | 1,0  |
| Torneira da copa                 | 47,41                         | 25,0 | 47,41               | 13,6 | 27,60                | 15,0 | 27,60               | 3,0  |
| Sistema de Rega                  | -                             | -    | 164,00              | 46,9 | -                    | -    | 750,00              | 80,0 |
| Outros Usos                      | 1,57                          | 1,0  | 1,57                | 0,40 | 5,60                 | 3,0  | 5,60                | 1,0  |
| Total                            | 180,35                        | 100  | 344,35              | 100  | 182,86               | 100  | 938,38              | 100  |

Segundo os autores, em ambos centros escolares, o sistema de rega opera do mês de maio até setembro. Por esse motivo, o consumo correspondente é incluído exclusivamente na tabela de consumo anual, como nota-se na Tabela 3.4, não sendo considerado para a análise mensal.

**Tabela 3.4** – Estimativa dos consumos anuais dos centros escolares (Morais, 2019; Vale, 2019).

| Dispositivo/Atividade            | Consumo de água anual (m <sup>3</sup> /ano) |                      |
|----------------------------------|---|----------------------|
|                                  | Centro Escolar de Santa Maria               | Centro Escolar da Sé |
| Torneiras de lavatório           | 675,8                                       | 929,02               |
| Autoclismos de bacias de retrete | 660,3                                       | 756,44               |
| Fluxómetros de mictórios         | 240,2                                       | 176,64               |
| Torneira da copa                 | 569,0                                       | 331,20               |
| Sistema de Rega                  | 656,0                                       | 3000                 |
| Outros Usos                      | 18,8  | 67,20                |
| Total                            | 2820,2                                      | 5260,5               |

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 3.3 e 3.4, são propostos os seguintes cenários, visando à redução do consumo de água, especialmente nas torneiras e nos autoclismos dos centros escolares, conforme detalhado na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5** – Cenários propostos de economia de água nos centros escolares.

| <b>Cenários</b> | <b>Medidas</b>   |
|-----------------|--|
| 1               | Substituição das torneiras dos lavatórios e cozinha existentes por torneiras de 5 L/min e 8 L/min, respectivamente |
| 2               | Implementação do SAAP, mantendo-se a cobertura convencional existente  |
| 3               | Cenário 1 + Cenário 2  |
| 4               | Aplicação do SAAP alterando a cobertura existente para uma CV  |
| 5               | Cenário 1 + Cenário 4  |
| 6               | Aplicação do SAAP considerando uma área de 50% da cobertura convencional existente e 50% de CV                     |
| 7               | Aplicação do SAAP considerando uma área de 70% de CV e 30% da cobertura convencional existente                     |
| 8               | Cenário 1 + Cenário 6  |
| 9               | Cenário 1 + Cenário 7  |

É relevante destacar que, no Cenário 1, serão adotados os mesmos valores de consumo de água apresentados por Morais (2019), os quais indicam um consumo mensal de 36,49 m<sup>3</sup> para as torneiras de lavatório com vazão de 5 L/min e de 13,80 m<sup>3</sup> para as torneiras de copa com vazão de 8 L/min. Adicionalmente, conforme Vale (2019), os consumos mensais são de 28,16 m<sup>3</sup> para as torneiras de lavatório e 21,12 m<sup>3</sup> para as torneiras de copa.

Os resultados apresentados pelos autores foram calculados com base na estimativa do número diário de acionamentos das torneiras, considerando as novas vazões de 5 L/min para lavatórios e 8 L/min para copas. Isso se deve ao fato de que, no estudo desses autores, também foi proposto um cenário que substitui as torneiras existentes por modelos mais eficientes, com vazões reduzidas (5 L/min e 8 L/min). Em outras palavras, os valores de consumo foram projetados a partir da frequência de uso dos dispositivos, adaptados às especificações técnicas das torneiras de baixo consumo.

Seguindo estes cenários, foi realizada a análise abrangente da viabilidade econômica e técnica de cada uma alternativa, considerando os custos, benefícios e retornos esperados, sendo apresentado no Capítulo

### **3.3. Análise da viabilidade técnica, econômica e investimento inicial das medidas propostas**

Nos Cenários 2, 4, 6 e 7 são considerados a hipótese de simulação de um SAAP e também da CV.

Portanto, é importante salientar que os custos de operação e manutenção dos sistemas devem ser cuidadosamente considerados. Estes custos envolvem os seguintes aspectos:

1. A frequência de manutenção dos componentes do SAAP será realizada de acordo com as diretrizes da ANQIP (2024) e das especificações técnicas fornecidas pelo fabricante. Embora a manutenção desses sistemas seja geralmente baixa, é fundamental atentar à manutenção periódica e limpeza dos filtros, garantido a operação ideal durante a vida útil do SAAP. A vida útil estimada do sistema é de pelo menos 20 anos, segundo as especificações do fabricante, o que reflete sua durabilidade quando submetido à manutenção adequada.

Os custos relacionados ao consumo de energia ao grupo de bombeamento não foram incluídos diretamente nas projeções. Apesar de os SAAP frequentemente exigirem um sistema de pressurização, o consumo de energia associado a este é igual ou inferior ao consumo do abastecimento tradicional pela rede pública (Silva et al., 2023). Além disso, os fabricantes informam que as bombas utilizadas não requerem nenhuma manutenção específica. Entretanto, recomenda-se a verificação e limpeza periódica dos plugues de condensação e das válvulas de retenção embutidas, que podem ser realizadas anualmente ou conforme necessário, para garantir a operação eficiente do sistema durante sua vida útil, que corresponde a pelo menos 10 anos.

2. Os requisitos de manutenção para a CV extensiva são relativamente menores em comparação com outras tipologias de CV (Silva et al., 2023). A necessidade de entrada de água para irrigação é também reduzida, sendo mais utilizada apenas durante a fase de estabelecimento inicial das plantas e nos períodos de temperatura elevada.

Tal como os itens anteriores, os custos operacionais de manutenção e/ou substituição de acessórios da cobertura e do SAAP não serão considerados nos cálculos devido às exigências reduzidas ao longo do tempo além de ser um valor de difícil quantificação, considerando que

está sujeito a flutuações dependendo do mercado, da empresa contratada e de demais fatores influentes.

Além do mais, a projeção do investimento inicial para os diferentes cenários propostos foi desenvolvida com base em cotações de mercado atualizadas em 2025 e uma análise detalhada de equipamentos, materiais e serviços, considerando as especificidades de cada solução. Dessa forma, foram englobadas as despesas relacionadas à substituição dos dispositivos de uso, como as torneiras de lavatório e de copa, à instalação e fornecimento do SAAP para o abastecimento dos autoclismos, e à implementação da CV. É relevante destacar que a estimativa dos custos do SAAP, serão com base nos orçamentos apresentados por Morais (2019) e Vale (2019), com os devidos ajustes baseados nos valores atuais de mercado.

No que se refere ao **Cenário 1**, que contempla a substituição das torneiras em lavatórios e cozinhas, o orçamento foi elaborado com base em cotações de mercado atualizadas. Adicionalmente, com os valores de consumo estimados com os novos dispositivos, fundamentados em Morais (2019) e Vale (2019), também será realizado o cálculo da conta anual de água com a implementação deste cenário, utilizando os tarifários vigentes fornecidos pelo Concelho de Bragança.

No **Cenário 2**, a avaliação do custo inicial abrangerá os gastos relacionados à remodelação da rede de drenagem de águas pluviais, incluindo o fornecimento e instalação do SAAP. Além disso, serão considerados os custos do fornecimento e instalação do grupo de bombeamento e os acessórios necessários para o pleno funcionamento do sistema, bem como adaptação da rede predial de abastecimento de água.

O **Cenário 3** implicará no somatório dos investimentos iniciais previstos para os Cenários 1 e 2, abrangendo tanto a substituição das torneiras quanto à implantação completa do SAAP.

No caso do **Cenário 4**, os custos projetados incluirão os investimentos do Cenário 2 acrescidos da instalação de uma CV extensiva. Esse tipo de estrutura é composto por uma camada de sedum (vegetação), um substrato técnico de 10 cm de espessura, filtro, sistema de drenagem, camadas de proteção e barreiras anti-raiz. A implementação dessa solução sustentável demanda um investimento inicial estimado em cerca de € 100/m<sup>2</sup> + IVA, valor que inclui os custos de fornecimento e instalação com base em dados de mercado e informações disponibilizadas por fabricantes.

O **Cenário 5** contemplará a soma dos custos associados ao Cenário 1 (substituição das torneiras) e ao Cenário 4 (redes prediais de abastecimento de água e drenagem de águas pluviais e CV extensiva).

Para os **Cenário 6 e 7**, a avaliação será semelhante ao Cenário 4, alterando-se somente os valores das áreas a serem consideradas.

Nos **Cenário 8 e 9** será realizado de forma equivalente ao Cenário 5, ou seja, a soma dos custos do Cenário 1 associados aos Cenários 6 e 7.

Em adição, a redução esperada no valor das faturas nas contas de água como resultado direto das medidas de economia hídrica implementadas também será analisada, tendo como fundamento os tarifários apresentados na Tabela 3.6.

**Tabela 3.6** – Encargos tarifários variáveis e fixos do Estado/Entidades Públicas do Concelho de Bragança (2024) (ERSAR, <https://www.ersar.pt/>).

| <b>Tarifário</b>                                 |   |                 |
|--|---|-----------------|
|  | Mensal Variáveis<br>(€/m <sup>3</sup> ) | Mensal Fixa (€) |
| Abastecimento de água                            | 2,03                                    | 8,74            |
| Águas residuais                                  | 0,64                                    | 2,23            |
| Recolha e tratamento de resíduos sólidos urbanos | 2,96                                    | 5,19            |

Vale destacar que esses custos levaram em consideração o Índice de Preços do Consumidor (IPC), no qual apresentou uma variação média anual de 2,4% no ano de 2024 (INE, 2025) e também deve-se levar em conta que os valores apresentados não estão inclusos os valores do Imposto Sobre Valor Acrescentado (IVA), no qual para a localidade de Portugal Continental é de 23% (Governo de Portugal, s.d). Além disso, é importante ressaltar que esses custos podem variar conforme as particularidades de cada fabricante, bem como a localização da produção e os materiais selecionados, o que pode influenciar diretamente nos preços finais.

Como última consideração, com o intuito de representar graficamente as CV, foram utilizados os programas Revit e Google Earth. Com isso, será possível visualizar e orientar a disposição de cada cenário proposto, oferecendo uma perspectiva geral de como as CV poderiam ser dispostas em caso de instalação.

### 3.4. Dimensionamento dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Como o presente estudo se configura como uma análise exploratória, a implementação de cada cenário permanece hipotética, e os consumos de água são assumidos como relativamente constantes ao longo do tempo. Diante dessa abordagem, o dimensionamento será realizado com base em métodos simplificados, adequados para uma avaliação preliminar, sendo a estratégia mais apropriada para esta fase inicial do projeto de SAAP.

Portanto, o dimensionamento do SAAP foi realizado com base no método simplificado pautado na Especificação Técnica ETA 0701.11, adotada em Portugal com objetivo de dimensionar, projetar, construir e manutenção destes sistemas.

Tendo em vista disso, o pré-dimensionamento do reservatório será determinada pelas seguintes expressões:

$$V = \text{Mín} \{V1 \text{ ou } V2\} \quad (1)$$

$$V1 = 0,0014 \times P \times A \times N \quad (2)$$

$$V2 = 0,0027 \times C_{AE} \times N \quad (3)$$

Onde:

- $V$  = Volume útil (litros);
- $V1$  = Volume disponível (litros);
- $P$  = Pluviosidade média anual do local da instalação (mm);
- $A$  = Área de captação ( $\text{m}^2$ );
- $N$  = Número máximo de dias de retenção da água na cisterna (em geral, 20 a 30 dias);
- $V2$  = Volume necessário (litros);
- $C_{AE}$  = Consumo anual estimado (litros);

Consoante a ETA 0701.11, o volume de água da chuva a aproveitar num determinado período pode ser determinado pela expressão (4):

$$V_a = C \times P \times A \times \eta_f \quad (4)$$

Onde:

- $V_a$  = Volume de água da chuva aproveitável (litros) no período de tempo considerado;
- $C$  = Coeficiente de escoamento (relação entre o volume captado e o volume total de precipitação num determinado período de tempo);
- $P$  = Altura de precipitação acumulada no período considerado (mm);
- $A$  = Área de captação ( $m^2$ );
- $\eta_f$  = Eficiência hidráulica da filtragem.

A ANQIP (2022) frisa que o valor do coeficiente  $C$  varia conforme a altura de precipitação. No caso das CV, apresenta oscilação conforme as suas características peculiares, a altura de precipitação e as temperaturas em períodos anteriores.

Como o dimensionamento da cisterna terá como fundamento os índices pluviométricos mensais, a normativa ETA 0701.11 recomenda que sejam adotados os valores de  $C$  indicados na Tabela 3.7 a seguir.

**Tabela 3.7** – Valores recomendados para o coeficiente de escoamento (C) (ANQIP, 2022).

| <b>Tipo de cobertura</b>  | <b>Valor de C para dimensionamento da cisterna conforme pluviosidades médias mensais</b> | <b>Valor médio de C a considerar para a pluviosidade anual</b> |
|---|--|--|
| Coberturas inclinadas impermeáveis e lisas (telha cerâmica, chapa metálica, etc.) | 0,90   | 0,90   |
| Coberturas inclinadas impermeáveis e rugosas (telas de betão, etc.)               | 0,80   | 0,80   |
| Coberturas planas sem inertes de proteção   | 0,80   | 0,80   |
| Coberturas planas com inertes de proteção (areão, godó, etc.)                     | 0,70   | 0,70   |
| Coberturas verdes intensivas, sem rega (espessura e > 150 mm)                     | De acordo com as características da cobertura e estudo experimental                      | $\leq 0,30$  |
| Coberturas verdes extensivas, sem rega (espessura e $\leq 150$ mm)                | De acordo com as características da cobertura e estudo experimental                      | $\leq 0,50$  |

Ainda no âmbito das disposições mencionadas da ETA 0701.11, pode ser admitida uma eficiência hidráulica ( $\eta_f$ ) de 0,9 para filtros com manutenção e limpeza regulares, a menos que as suas características ou o fabricante recomende a adoção de outro valor.

# Capítulo 4

## Resultados e discussão

No presente capítulo, são apresentados os resultados da viabilidade técnica e econômica, com o objetivo de avaliar os critérios necessários para o dimensionamento das soluções propostas. Este estudo abrange a análise dos custos associados ao investimento inicial e também incluirá a análise da redução no valor da fatura e a avaliação do período de retorno do investimento será realizada por meio de ferramentas financeiras como o payback.

### 4.1. Medidas de eficiência hídrica propostas e seus impactos na poupança de água

As torneiras de lavatório e copa representam um consumo anual de 1244,8 m<sup>3</sup> no Centro Escolar de Santa Maria e 1260,22 m<sup>3</sup> no Centro Escolar da Sé.

Com a implementação do Cenário 1, que prevê a substituição das torneiras por modelos com vazões reduzidas de 5 L/min para lavatórios e 8 L/min para copas, o consumo anual projetado no que tange ao funcionamento das torneiras, passa a ser de 591,36 m<sup>3</sup> no Centro Escolar de Santa Maria, o que representaria uma redução de 30,19% em relação ao consumo total anual da edificação, que é de aproximadamente 2164,17 m<sup>3</sup> (considerando o período sem rega).

No caso do Centro Escolar da Sé, o consumo total estimado com a aplicação das novas torneiras é de 603,53 m<sup>3</sup>/ano, resultando em uma redução de 29,05% no consumo anual de água, que é de 2260,50 m<sup>3</sup> no período sem rega. Esses resultados evidenciam a eficácia da medida proposta, destacando sua contribuição para a redução significativa do consumo de água.

É importante salientar que os novos dispositivos de utilização (torneiras de lavatórios e de cozinha), são produtos devidamente certificados pela ANQIP. Esses produtos se encaixam na Classe A em termos de eficiência hídrica, em conformidade com as exigências do organismo ANQIP (Anexo I).

Ademais, considerando que o uso da água pluvial seja destinado exclusivamente para os autoclismos, o que corresponde a aproximadamente 30% do consumo de água no Centro Escolar de Santa Maria e 35% no Centro Escolar da Sé durante os meses típicos, o dimensionamento do reservatório foi realizado com base nesses percentuais. Dessa forma, o

sistema foi projetado para atender de maneira eficiente à demanda, garantindo que a capacidade do reservatório seja suficiente para suprir as necessidades das edificações.

As Tabelas (4.1 a 4.8) a seguir apresentam os volumes de armazenamento simulados para o reservatório, considerando o Cenário 2 (uso da CC existente), Cenário 4 (implementação da CV), Cenário 6 (aplicação de 50% CC existente e 50% de CV) e Cenário 7 (uso de 70% de CV e 30% da CC do local), organizados de forma a permitir uma análise comparativa entre as opções consideradas. Estas tabelas apresentam as seguintes informações: dados históricos de precipitação mensal de 2014 a 2024 da cidade de Bragança, o cálculo do volume de água da chuva disponível baseado na Equação (4) da Seção 3.4, o consumo mensal de água dos autoclismos dos centros escolares, o cálculo da diferença entre disponibilidade e consumo (subtração do consumo mensal do volume de água disponível para verificar se há excedente ou déficit) e também do cálculo do suprimento (quantidade de água necessária para suprir a demanda quando há déficit). Além disso, as tabelas contêm o volume de água armazenado no início de cada mês, o qual foi atualizado conforme a disponibilidade de água da chuva e o consumo da escola. Se houver excedente de água e o reservatório ainda tiver espaço disponível, o volume armazenado aumenta até atingir sua capacidade máxima. Se o reservatório estiver cheio e houver mais água disponível, esse excedente é perdido. Nos meses em que a captação for inferior ao consumo, o volume armazenado no reservatório será reduzido e, se atingir zero, a escola necessitará de suprimento da rede pública para atender à demanda.

**Tabela 4.1** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura convencional (Cenário 2) no Centro Escolar de Santa Maria.

| <b>Reservatório com uso da cobertura convencional existente</b> |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|---|--------------------------------------|-----|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês   | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C   | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|   |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro   | 104,09                               | 0,8 | 0,9      | 1537,79                             | 115,25   | 55,03                            | 60,22                                       | 60,22                 | 60   | 0                              | 60,00                 | 0                            |
| Novembro  | 94,63                                |     |          |                                     | 60,00  | 60,00                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Dezembro  | 86,38                                |     |          |                                     | 60,00  | 60,00                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Janeiro   | 88,62                                |     |          |                                     | 60,00  | 60,00                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Fevereiro   | 74,94                                |     |          |                                     | 60,00  | 60,00                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Março   | 66,83                                |     |          |                                     | 60,00  | 60,00                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Abril   | 69,88                                |     |          |                                     | 60,00  | 60,00                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Maio  | 47,05                                |     |          |                                     | 60,00  | 57,06                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Junho   | 38,82                                |     |          |                                     | 57,06  | 45,01                            | 0   |                       |  |                                |                       |                              |
| Julho   | 10,24                                |     |          |                                     | 45,01  | 1,32                             | 0,00  |                       |  |                                |                       |                              |
| Agosto  | 13,89                                |     |          |                                     | 1,32   | 0,00                             | 38,33                                       |                       |  |                                |                       |                              |
| Setembro  | 47,61                                |     |          |                                     | 0,00   | 0,00                             | 2,31  |                       |  |                                |                       |                              |
| <b>Total</b>  | <b>742,96</b>                        |     |          |                                     | <b>822,61</b>  | <b>660,34</b>                    |   |                       |  |                                | <b>40,64</b>          |                              |

**Tabela 4.2** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura verde (Cenário 4) no Centro Escolar de Santa Maria.

| <b>Reservatório com uso da cobertura verde</b> |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|--|--------------------------------------|-----|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês  | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C   | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|  |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro  | 104,09                               | 0,5 | 0,9      | 1537,79                             | 72,03  | 55,03                            | 17,00                                       | 17,00                 | 60   | 0                              | 17,00                 | 0                            |
| Novembro                                       | 94,63                                |     |          |                                     | 65,48  | 55,03                            | 10,45                                       | 10,45                 |  | 17,00                          | 27,46                 | 0                            |
| Dezembro                                       | 86,38                                |     |          |                                     | 59,78  | 55,03                            | 4,75  | 4,75                  |  | 27,46                          | 32,21                 | 0                            |
| Janeiro  | 88,62                                |     |          |                                     | 61,32  | 55,03                            | 6,30  | 6,30                  |  | 32,21                          | 38,50                 | 0                            |
| Fevereiro                                      | 74,94                                |     |          |                                     | 51,86  | 55,03                            | -3,17                                       | 0,00                  |  | 38,50                          | 35,33                 | 0                            |
| Março  | 66,83                                |     |          |                                     | 46,24  | 55,03                            | -8,78                                       | 0,00                  |  | 35,33                          | 26,55                 | 0                            |
| Abril  | 69,88                                |     |          |                                     | 48,36  | 55,03                            | -6,67                                       | 0,00                  |  | 26,55                          | 19,88                 | 0                            |
| Maio   | 47,05                                |     |          |                                     | 32,56  | 55,03                            | -22,47                                      | 0,00                  |  | 19,88                          | 0,00                  | 2,59                         |
| Junho  | 38,82                                |     |          |                                     | 26,86  | 55,03                            | -28,17                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 28,17                        |
| Julho  | 10,24                                |     |          |                                     | 11,33  | 55,03                            | -43,69                                      | 0,00                  |  | 45,01                          | 0,00                  | 47,94                        |
| Agosto   | 13,89                                |     |          |                                     | 15,38  | 55,03                            | -39,65                                      | 0,00                  |  | 1,32                           | 0,00                  | 45,42                        |
| Setembro                                       | 47,61                                |     |          |                                     | 52,71  | 55,03                            | -2,31                                       | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 22,08                        |
| <b>Total</b>                                   | <b>742,96</b>                        |     |          |                                     | <b>514,13</b>  | <b>660,34</b>                    |   |                       |  |                                | <b>146,20</b>         |                              |

**Tabela 4.3** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 50% cobertura convencional e 50% cobertura verde (Cenário 6) no Centro Escolar de Santa Maria.

| <b>Reservatório com uso de 50% cobertura verde e 50% cobertura convencional</b> |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|---|--------------------------------------|--|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês   | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C  | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|   |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro   | 104,09                               | 0,8 <sup>(a)</sup><br>0,5 <sup>(b)</sup> | 0,9      | 768,90                              | 93,64  | 55,03                            | 38,61                                       | 38,61                 | 60   | 0                              | 38,61                 | 0,00                         |
| Novembro  | 94,63                                |  |          |                                     | 85,13  | 55,03                            | 30,10                                       | 30,10                 |  | 38,61                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Dezembro  | 86,38                                |  |          |                                     | 77,71  | 55,03                            | 22,68                                       | 22,68                 |  | 60,00                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Janeiro   | 88,62                                |  |          |                                     | 79,72  | 55,03                            | 24,69                                       | 24,69                 |  | 60,00                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Fevereiro   | 74,94                                |  |          |                                     | 67,41  | 55,03                            | 12,39                                       | 12,39                 |  | 60,00                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Março   | 66,83                                |  |          |                                     | 60,12  | 55,03                            | 5,09  | 5,09                  |  | 60,00                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Abril   | 69,88                                |  |          |                                     | 62,87  | 55,03                            | 7,84  | 7,84                  |  | 60,00                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Maió  | 47,05                                |  |          |                                     | 42,32  | 55,03                            | -12,71                                      | 0,00                  |  | 60,00                          | 47,29                 | 0,00                         |
| Junho   | 38,82                                |  |          |                                     | 34,92  | 55,03                            | -20,11                                      | 0,00                  |  | 47,29                          | 27,19                 | 0,00                         |
| Julho   | 10,24                                |  |          |                                     | 9,21   | 55,03                            | -45,82                                      | 0,00                  |  | 27,19                          | 0,00                  | 18,63                        |
| Agosto  | 13,89                                |  |          |                                     | 12,50  | 55,03                            | -42,53                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 42,53                        |
| Setembro  | 47,61                                |  |          |                                     | 42,83  | 55,03                            | -12,20                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 12,20                        |
| <b>Total</b>  | <b>742,96</b>                        |  |          |                                     | <b>668,37</b>  | <b>660,34</b>                    |   |                       |  |                                |                       | <b>73,36</b>                 |

<sup>(a)</sup> Coeficiente de escoamento para coberturas inclinadas impermeáveis e rugosas (telas de betão, etc.).

<sup>(b)</sup> Coeficiente de escoamento para cobertura verde extensivas, sem rega (espessura e ≤ 150 mm).

**Tabela 4.4** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional (Cenário 7) no Centro Escolar de Santa Maria.

| <b>Reservatório com uso de 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional</b> |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|---|--------------------------------------|--|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês   | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C  | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|   |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro   | 104,09                               | 0,8 <sup>(a)</sup><br>0,5 <sup>(b)</sup> | 0,9      | 1076,45 <sup>(c)</sup>              | 85,00  | 55,03                            | 29,97                                       | 29,97                 | 60   | 0                              | 29,97                 | 0,00                         |
| Novembro  | 94,63                                |  |          |                                     | 77,27  | 55,03                            | 22,24                                       | 22,24                 |  | 29,97                          | 52,21                 | 0,00                         |
| Dezembro  | 86,38                                |  |          |                                     | 70,54  | 55,03                            | 15,51                                       | 15,51                 |  | 52,21                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Janeiro   | 88,62                                |  |          |                                     | 72,36  | 55,03                            | 17,33                                       | 17,33                 |  | 60,00                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Fevereiro   | 74,94                                |  |          |                                     | 61,19  | 55,03                            | 6,16  | 6,16                  |  | 60,00                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Março   | 66,83                                |  |          |                                     | 54,57  | 55,03                            | -0,46                                       | 0,00                  |  | 60,00                          | 59,54                 | 0,00                         |
| Abril   | 69,88                                |  |          | 461,34 <sup>(d)</sup>               | 57,06  | 55,03                            | 2,04  | 2,04                  |  | 59,54                          | 60,00                 | 0,00                         |
| Maió  | 47,05                                |  |          |                                     | 38,42  | 55,03                            | -16,61                                      | 0,00                  |  | 60,00                          | 43,39                 | 0,00                         |
| Junho   | 38,82                                |  |          |                                     | 31,70  | 55,03                            | -23,33                                      | 0,00                  |  | 43,39                          | 20,06                 | 0,00                         |
| Julho   | 10,24                                |  |          |                                     | 8,36   | 55,03                            | -46,67                                      | 0,00                  |  | 20,06                          | 0,00                  | 26,61                        |
| Agosto  | 13,89                                |  |          |                                     | 11,34  | 55,03                            | -43,69                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 43,69                        |
| Setembro  | 47,61                                |  |          |                                     | 38,88  | 55,03                            | -16,15                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 16,15                        |
| <b>Total</b>  | <b>742,96</b>                        |  |          |                                     | <b>606,68</b>  | <b>660,34</b>                    |   |                       |  |                                | <b>86,45</b>          |                              |

(a) Coeficiente de escoamento para coberturas inclinadas impermeáveis e rugosas (telas de betão, etc.).

(b) Coeficiente de escoamento para cobertura verde extensivas, sem rega (espessura e ≤ 150 mm).

(c) Área de 70% da cobertura total já existente.

(d) Área de 30% da cobertura total já existente.

**Tabela 4.5** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura convencional (Cenário 2) no Centro Escolar da Sé.

| <b>Reservatório com uso da cobertura convencional existente</b> |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|---|--------------------------------------|-----|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês   | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C   | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|   |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro   | 104,09                               | 0,8 | 0,9      | 1804,36                             | 135,23   | 63,04                            | 72,19                                       | 72,19                 | 70   | 0                              | 70,00                 | 0                            |
| Novembro  | 94,63                                |     |          |                                     | 122,93   | 63,04                            | 59,90                                       | 59,90                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Dezembro  | 86,38                                |     |          |                                     | 112,22   | 63,04                            | 49,19                                       | 49,19                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Janeiro   | 88,62                                |     |          |                                     | 115,13   | 63,04                            | 52,09                                       | 52,09                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Fevereiro   | 74,94                                |     |          |                                     | 97,35  | 63,04                            | 34,32                                       | 34,32                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Março   | 66,83                                |     |          |                                     | 86,82  | 63,04                            | 23,78                                       | 23,78                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Abril   | 69,88                                |     |          |                                     | 90,79  | 63,04                            | 27,75                                       | 27,75                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Maio  | 47,05                                |     |          |                                     | 61,12  | 63,04                            | -1,92                                       | 0,00                  |  | 70,00                          | 68,08                 | 0                            |
| Junho   | 38,82                                |     |          |                                     | 50,43  | 63,04                            | -12,61                                      | 0,00                  |  | 68,08                          | 55,47                 | 0                            |
| Julho   | 10,24                                |     |          |                                     | 13,30  | 63,04                            | -49,74                                      | 0,00                  |  | 55,47                          | 5,74                  | 0,00                         |
| Agosto  | 13,89                                |     |          |                                     | 18,05  | 63,04                            | -44,99                                      | 0,00                  |  | 5,74                           | 0,00                  | 39,26                        |
| Setembro  | 47,61                                |     |          |                                     | 61,85  | 63,04                            | -1,19                                       | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 1,19                         |
| <b>Total</b>  | <b>742,96</b>                        |     |          |                                     | <b>965,21</b>  | <b>756,44</b>                    |   |                       |  |                                | <b>40,44</b>          |                              |

**Tabela 4.6** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando a cobertura verde (Cenário 4) no Centro Escolar da Sé.

| <b>Reservatório com uso da cobertura verde</b> |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|--|--------------------------------------|-----|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês  | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C   | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|  |                                      |     |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro  | 104,09                               | 0,5 | 0,9      | 1804,36                             | 84,52  | 63,04                            | 21,48                                       | 21,48                 | 70   | 0                              | 21,48                 | 0                            |
| Novembro                                       | 94,63                                |     |          |                                     | 76,83  | 63,04                            | 13,80                                       | 13,80                 |  | 21,48                          | 35,28                 | 0                            |
| Dezembro                                       | 86,38                                |     |          |                                     | 70,14  | 63,04                            | 7,10  | 7,10                  |  | 35,28                          | 42,38                 | 0                            |
| Janeiro  | 88,62                                |     |          |                                     | 71,95  | 63,04                            | 8,92  | 8,92                  |  | 42,38                          | 51,30                 | 0                            |
| Fevereiro                                      | 74,94                                |     |          |                                     | 60,85  | 63,04                            | -2,19                                       | 0,00                  |  | 51,30                          | 49,11                 | 0                            |
| Março  | 66,83                                |     |          |                                     | 54,26  | 63,04                            | -8,78                                       | 0,00                  |  | 49,11                          | 40,33                 | 0                            |
| Abril  | 69,88                                |     |          |                                     | 56,74  | 63,04                            | -6,30                                       | 0,00                  |  | 40,33                          | 34,03                 | 0                            |
| Maiο   | 47,05                                |     |          |                                     | 38,20  | 63,04                            | -24,84                                      | 0,00                  |  | 34,03                          | 9,20                  | 0                            |
| Junho  | 38,82                                |     |          |                                     | 31,52  | 63,04                            | -31,52                                      | 0,00                  |  | 9,20                           | 0,00                  | 22,32                        |
| Julho  | 10,24                                |     |          |                                     | 8,31   | 63,04                            | -54,73                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 54,73                        |
| Agosto   | 13,89                                |     |          |                                     | 11,28  | 63,04                            | -51,76                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 51,76                        |
| Setembro                                       | 47,61                                |     |          |                                     | 38,66  | 63,04                            | -24,38                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 24,38                        |
| <b>Total</b>                                   | <b>742,96</b>                        |     |          |                                     | <b>603,26</b>  | <b>756,44</b>                    |   |                       |  |                                | <b>153,19</b>         |                              |

**Tabela 4.7** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 50% cobertura convencional e 50% cobertura verde (Cenário 6) no Centro Escolar da Sé.

| <b>Reservatório com uso de 50% cobertura verde e 50% cobertura convencional</b> |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|---|--------------------------------------|--|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês   | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C  | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|   |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro   | 104,09                               | 0,8 <sup>(a)</sup><br>0,5 <sup>(b)</sup> | 0,9      | 902,18                              | 109,87   | 63,04                            | 46,84                                       | 46,84                 | 70   | 0                              | 46,84                 | 0                            |
| Novembro  | 94,63                                |  |          |                                     | 99,88  | 63,04                            | 36,85                                       | 36,85                 |  | 46,84                          | 70,00                 | 0                            |
| Dezembro  | 86,38                                |  |          |                                     | 91,18  | 63,04                            | 28,14                                       | 28,14                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Janeiro   | 88,62                                |  |          |                                     | 93,54  | 63,04                            | 30,50                                       | 30,50                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Fevereiro   | 74,94                                |  |          |                                     | 79,10  | 63,04                            | 16,06                                       | 16,06                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Março   | 66,83                                |  |          |                                     | 70,54  | 63,04                            | 7,50  | 7,50                  |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Abril   | 69,88                                |  |          |                                     | 73,76  | 63,04                            | 10,73                                       | 10,73                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Maió  | 47,05                                |  |          |                                     | 49,66  | 63,04                            | -13,38                                      | 0,00                  |  | 70,00                          | 56,62                 | 0                            |
| Junho   | 38,82                                |  |          |                                     | 40,97  | 63,04                            | -22,06                                      | 0,00                  |  | 56,62                          | 34,56                 | 0,00                         |
| Julho   | 10,24                                |  |          |                                     | 10,80  | 63,04                            | -52,23                                      | 0,00                  |  | 34,56                          | 0,00                  | 17,67                        |
| Agosto  | 13,89                                |  |          |                                     | 14,66  | 63,04                            | -48,38                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 48,38                        |
| Setembro  | 47,61                                |  |          |                                     | 50,25  | 63,04                            | -12,78                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 12,78                        |
| <b>Total</b>  | <b>742,96</b>                        |  |          |                                     | <b>668,37</b>  | <b>756,44</b>                    |   |                       |  |                                | <b>78,83</b>          |                              |

<sup>(a)</sup> Coeficiente de escoamento para coberturas inclinadas impermeáveis e rugosas (telas de betão, etc.).

<sup>(b)</sup> Coeficiente de escoamento para cobertura verde extensivas, sem rega (espessura  $e \leq 150$  mm).

**Tabela 4.8** – Simulação do dimensionamento do reservatório utilizando 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional (Cenário 7) no Centro Escolar da Sé.

| <b>Reservatório com uso de 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional</b> |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  |                                |                       |                              |
|---|--------------------------------------|--|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Mês   | Precipitação mensal (2014-2024) (mm) | C  | $\eta_f$ | Área da cobertura (m <sup>2</sup> ) | Volume de água da chuva disponível (m <sup>3</sup> ) | Consumo mensal (m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade - Consumo (m <sup>3</sup> ) | Diferenças de cálculo | Volume adotado para o reservatório (m <sup>3</sup> ) | Volume de água no reservatório |                       | Suprimento (m <sup>3</sup> ) |
|   |                                      |  |          |                                     |  |                                  |   |                       |  | Início (m <sup>3</sup> )       | Fim (m <sup>3</sup> ) |                              |
| Outubro   | 104,09                               | 0,8 <sup>(a)</sup><br>0,5 <sup>(b)</sup> | 0,9      | 1263,05 <sup>(c)</sup>              | 99,73  | 63,04                            | 36,69                                       | 36,69                 | 70   | 0                              | 36,69                 | 0                            |
| Novembro  | 94,63                                |  |          |                                     | 90,66  | 63,04                            | 27,63                                       | 27,63                 |  | 36,69                          | 64,32                 | 0                            |
| Dezembro  | 86,38                                |  |          |                                     | 82,76  | 63,04                            | 19,73                                       | 19,73                 |  | 64,32                          | 70,00                 | 0                            |
| Janeiro   | 88,62                                |  |          |                                     | 84,91  | 63,04                            | 21,87                                       | 21,87                 |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Fevereiro   | 74,94                                |  |          |                                     | 71,80  | 63,04                            | 8,76  | 8,76                  |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Março   | 66,83                                |  |          |                                     | 64,03  | 63,04                            | 0,99  | 0,99                  |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Abril   | 69,88                                |  |          | 541,31 <sup>(d)</sup>               | 66,95  | 63,04                            | 3,92  | 3,92                  |  | 70,00                          | 70,00                 | 0                            |
| Maió  | 47,05                                |  |          |                                     | 45,07  | 63,04                            | -17,96                                      | 0,00                  |  | 70,00                          | 52,04                 | 0                            |
| Junho   | 38,82                                |  |          |                                     | 37,19  | 63,04                            | -25,84                                      | 0,00                  |  | 52,04                          | 26,19                 | 0,00                         |
| Julho   | 10,24                                |  |          |                                     | 9,81   | 63,04                            | -53,23                                      | 0,00                  |  | 26,19                          | 0,00                  | 27,04                        |
| Agosto  | 13,89                                |  |          |                                     | 13,31  | 63,04                            | -49,73                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 49,73                        |
| Setembro  | 47,61                                |  |          |                                     | 45,62  | 63,04                            | -17,42                                      | 0,00                  |  | 0,00                           | 0,00                  | 17,42                        |
| <b>Total</b>  | <b>742,96</b>                        |  |          |                                     | <b>711,84</b>  | <b>756,44</b>                    |   |                       |  |                                | <b>94,19</b>          |                              |

(a) Coeficiente de escoamento para coberturas inclinadas impermeáveis e rugosas (telas de betão, etc.).

(b) Coeficiente de escoamento para cobertura verde extensivas, sem rega (espessura e ≤ 150 mm).

(c) Área de 70% da cobertura total já existente.

(d) Área de 30% da cobertura total já existente

É importante sublinhar que foram simulados outros valores para o volume de reservatório, os quais resultaram em diferenças não significativas o suficiente para justificar a escolha de um reservatório de maior dimensão. Conforme Castro et al. (2022), a capacidade volumétrica definida deve ser capaz de atender à maior demanda possível com o menor custo. Igualmente, a capacidade ideal do tanque é determinada quando se atinge o equilíbrio entre a capacidade do reservatório e a economia de água potável (Geraldi & Ghisi, 2019 apud Almeida et al., 2021). Portanto, foi assumido que a capacidade ideal do reservatório para o Centro Escolar de Santa Maria e o Centro Escolar da Sé é de 60 m<sup>3</sup> e 70 m<sup>3</sup>, respectivamente.

Tendo como base os estudos apresentados por Vale (2019) e Morais (2019), tem-se uma possível localização do reservatório, destacado nas Figuras 4.1 e 4.2, respectivamente. Considerando que a localização dos reservatórios foi previamente definida pelos autores, as análises referentes ao reservatório serão conduzidas exclusivamente com base nessa configuração estabelecida.



**Figura 4.1** – Possível localização do reservatório no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025).



**Figura 4.2** – Possível localização do reservatório no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025).

O reservatório com volume de  $60 \text{ m}^3$  para o Centro Escolar de Santa Maria possibilitará a coleta total da água da chuva de  $619,7 \text{ m}^3$ , equivalente a 93,84% da precipitação coletada sobre a CC existente. Com a instalação da CV, o volume varia de 500 a  $600 \text{ m}^3$  dependendo da porcentagem de área coberta com vegetação.

Já para o Centro Escolar da Sé, um reservatório de  $70 \text{ m}^3$  possibilitará a captação da água da chuva de  $716,0 \text{ m}^3$ , o que corresponde a 94,65% da precipitação com a CC. Ao adotar uma CV, o volume coletado varia entre 600 a  $700 \text{ m}^3$ , conforme a extensão da área verde instalada.

Com isso, os resultados obtidos estão em consonância com as observações de Almeida et al. (2023), que destacam que, em regiões com menor frequência e intensidade de chuvas, os SAAP tendem a apresentar maior eficiência.

Para uma análise mais aprofundada, um estudo realizado por Parolin (2022) demonstrou que um reservatório de  $10 \text{ m}^3$  foi capaz de substituir aproximadamente 50% do uso de água potável em uma instituição de ensino, localizada em Engenheiro Beltrão – Paraná (Brasil), com uma área de cobertura de  $115 \text{ m}^2$ . Ao considerar o contexto deste trabalho, que propõe reservatórios de  $60 \text{ m}^3$  para uma área de  $1.537,79 \text{ m}^2$  e  $70 \text{ m}^3$  para  $1.804,36 \text{ m}^2$ , é possível concluir que a eficiência do sistema tende a ser ainda maior. Isso ocorre porque a relação entre a capacidade do reservatório e a área de cobertura é proporcionalmente maior no presente estudo, o que sugere uma substituição potencialmente superior a 50% no uso de água potável.

Igualmente, um estudo realizado por Ravelo-García et al. (2023) analisaram dois edifícios da Faculdade de Ciências de Engenharia e Tecnologia (Unidade Acadêmica da Universidade Autônoma da Baixa Califórnia), localizada no México, com áreas potenciais de captação de 3.244,60 m<sup>2</sup> e 1.624,63 m<sup>2</sup>, respectivamente. Os resultados demonstraram que esses sistemas permitem a captação total de 5.718 m<sup>3</sup> de águas pluviais por ano, evidenciando a eficiência e o potencial de aproveitamento de água da chuva em grandes edificações.

Portanto, os resultados do autores servem como um indicativo de que, com dimensionamento adequado, os SAAP podem alcançar níveis de eficiência ainda mais expressivos em cenários como o aqui proposto.

A Tabela 4.9 demonstra os volumes de água pluvial aproveitados. Enquanto a Tabela 4.10 apresenta os volumes estimados de retenção de água da chuva pela CV, utilizando um coeficiente de escoamento de 0,50, em comparação à CC, o qual foi avaliada com um coeficiente de escoamento de 0,80.

**Tabela 4.9** – Dimensionamento cisterna do Centro Escolar de Santa Maria e da Sé.

| <b>Aproveitamento de água pluvial</b>                        |                      |        |                      |        |
|--|----------------------|--------|----------------------|--------|
|  | <b>Santa Maria</b>   |        | <b>Sé</b>            |        |
| Capacidade do reservatório (m <sup>3</sup> )                 | 60                   |        | 70                   |        |
| Cobertura convencional (Cenário 2)                           | 619,7 m <sup>3</sup> | 93,84% | 716,0 m <sup>3</sup> | 94,65% |
| Cobertura verde (Cenário 4)                                  | 514,1 m <sup>3</sup> | 77,86% | 603,3 m <sup>3</sup> | 79,75% |
| 50% cobertura convencional e 50% cobertura verde (Cenário 6) | 587,0 m <sup>3</sup> | 88,89% | 677,6 m <sup>3</sup> | 89,58% |
| 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional (Cenário 7) | 573,9 m <sup>3</sup> | 86,91% | 662,3 m <sup>3</sup> | 87,55% |

**Tabela 4.10** – Volumes estimados de retenção de água da chuva na cobertura verde.

| <b>Volume de retenção de água da chuva na cobertura verde</b> |                      |       |                      |       |
|---|----------------------|-------|----------------------|-------|
|   | <b>Santa Maria</b>   |       | <b>Sé</b>            |       |
| Cobertura verde (Cenário 4)                                   | 308,5 m <sup>3</sup> | 37,5% | 362,0 m <sup>3</sup> | 37,5% |
| 50% cobertura convencional e 50% cobertura verde (Cenário 6)  | 154,2 m <sup>3</sup> | 18,8% | 181,0 m <sup>3</sup> | 18,8% |
| 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional (Cenário 7)  | 215,9 m <sup>3</sup> | 26,3% | 253,4 m <sup>3</sup> | 26,3% |

De acordo com as pesquisas de Santos et al. (2023) e Brandão et al. (2017), apud Silva et al. (2023), o desempenho hidrológico das CV em climas mediterrâneos varia, com retenção de água entre 37% a 100% e de 12% a 100%, respectivamente. Rossetti et al. (2011 apud Oliveira, 2021) mostraram que as CV retêm 10 a 35% da água durante a estação chuvosa e 65 a 100% do volume precipitado na época de seca, ou seja, reduzindo o escoamento pluvial. Portanto, os resultados obtidos estão alinhados com os resultados definidos pelos autores citados, assim como os apresentados na Tabela 2.1 da Seção 2.

Nesse contexto, percebe-se uma diminuição do desempenho do SAAP quando associado a um sistema de CV. Almeida et al. (2021) afirmam que a combinação desses dois sistemas poderia aumentar a eficiência de captação, minimizando os transbordamentos devido ao atraso no escoamento causado pela CV e à retenção adicional de água. No entanto, essa retenção extra, embora benéfica para o controle de escoamento, resulta em um volume menor de água armazenada, o que pode comprometer a capacidade de fornecimento de água pelo sistema, portanto, essa interação dinâmica entre ambas as soluções precisa ser cuidadosamente analisada. As soluções combinadas dependem da dinâmica espaço-temporal da precipitação (Almeida et al., 2023). No caso específico do clima da região estudada, as análises preliminares dos Cenários 2 e 6, para ambos centros escolares, sugerem um desempenho um pouco mais eficiente, resultando em uma economia de água aprimorada, especialmente durante os períodos de maior demanda. No entanto, é importante ressaltar que esses resultados são iniciais e ainda necessitam de uma avaliação mais aprofundada para confirmar sua eficácia e viabilidade em longo prazo.

Esses resultados indicam que, embora a CV tenha um impacto positivo, é necessário um estudo mais aprofundado, considerando as especificidades do local e os desafios relacionados à capacidade de armazenamento, para garantir que o sistema seja eficiente em longo prazo.

Por outro lado, é fundamental avaliar crucialmente qual é o propósito principal do SAAP, seja destinado ao gerenciamento de águas pluviais, a economia de água potável ou a combinação de ambos. Quando o objetivo principal é o gerenciamento de águas pluviais ou uma finalidade dupla, a integração com as CV pode potencializar a captação de água da chuva e equilibrar a eficiência do sistema. No entanto, isso só ocorre se o volume de água captado for maior que o consumo (Almeida et al., 2023). Nos casos analisados em que os sistemas são combinados, os consumos mensais frequentemente superam o volume disponível, o que dificulta a definição precisa do propósito em que os casos analisados se enquadram.

A análise das Tabelas (4.1 a 4.8) apresentadas, revelam que, considerando o consumo mensal e o volume de água disponível, a captação de água será suficiente para atender à maior parte da demanda, com exceção nos meses de verão, quando a disponibilidade hídrica é relativamente baixa na região, como demonstra na Tabela 4.11.

**Tabela 4.11** – Fornecimento de água da rede pública no Centro Escolar de Santa Maria e da Sé.

| <b>Necessidade de fornecimento de água da rede pública de abastecimento</b> |                                     |                               |                      |
|---|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
|   | Período                             | Santa Maria (m <sup>3</sup> ) | Sé (m <sup>3</sup> ) |
| Cobertura convencional (Cenário 2)  | Agosto e Setembro                   | 40,64                         | 40,44                |
| Cobertura verde (Cenário 4)   | Junho, Julho, Agosto e Setembro (*) | 146,20                        | 153,19               |
| 50% cobertura convencional e 50% cobertura verde (Cenário 6)                | Julho, Agosto e Setembro            | 73,36                         | 78,83                |
| 70% cobertura verde e 30% cobertura convencional (Cenário 7)                | Julho, Agosto e Setembro            | 86,45                         | 94,19                |

(\*) Para o Centro Escolar de Santa Maria, é necessário fornecimento de água da rede pública de abastecimento no mês de maio também.

Em relação aos outros cenários (substituição dos dispositivos e combinação dos cenários), o estudo da viabilidade econômica levou-se em conta a base no volume de consumo mensal de água e volume de água poupado. As Tabelas (4.12 a 4.15) e as Figuras (4.3 a 4.6) a seguir apresentam os volumes médios anuais de água potável consumida em diferentes cenários, bem como a porcentagem de economia de água alcançada em cada caso.

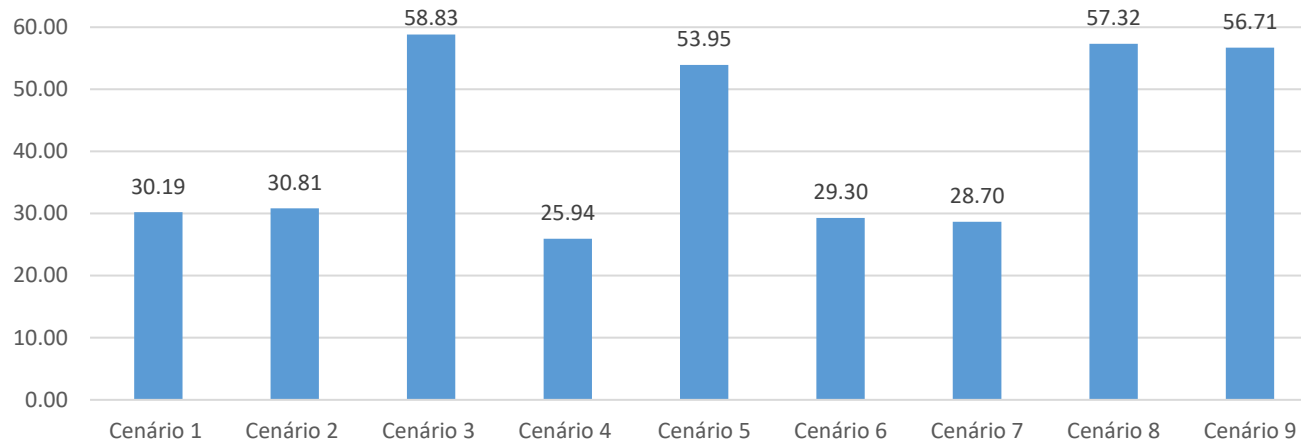
**Tabela 4.12** – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar de Santa Maria (sem rega).

| Sem rega                 | Volume médio anual de água potável consumida com medidas (m <sup>3</sup> ) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                          | Consumo atual  | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 | Cenário 5 | Cenário 6 | Cenário 7 | Cenário 8 | Cenário 9 |
| Autoclismos              | 660,34   | 660,34    | 40,64     | 40,64     | 146,20    | 146,20    | 73,36     | 86,45     | 73,36     | 86,45     |
| Torneiras                | 675,84   | 337,92    | 675,84    | 337,92    | 675,84    | 337,92    | 675,84    | 675,84    | 337,92    | 337,92    |
| Torneira Copa            | 568,97   | 253,44    | 521,80    | 253,44    | 521,80    | 253,44    | 521,80    | 521,80    | 253,44    | 253,44    |
| Fluxómetros de mictórios | 240,24   | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    |
| Outros Usos              | 18,79  | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     |
| Total                    | 660,34   | 660,34    | 40,64     | 40,64     | 146,20    | 146,20    | 73,36     | 86,45     | 73,36     | 86,45     |
| Poupança (%)             | 0  | 30,19     | 30,81     | 58,83     | 25,94     | 53,95     | 29,30     | 28,70     | 57,32     | 56,71     |

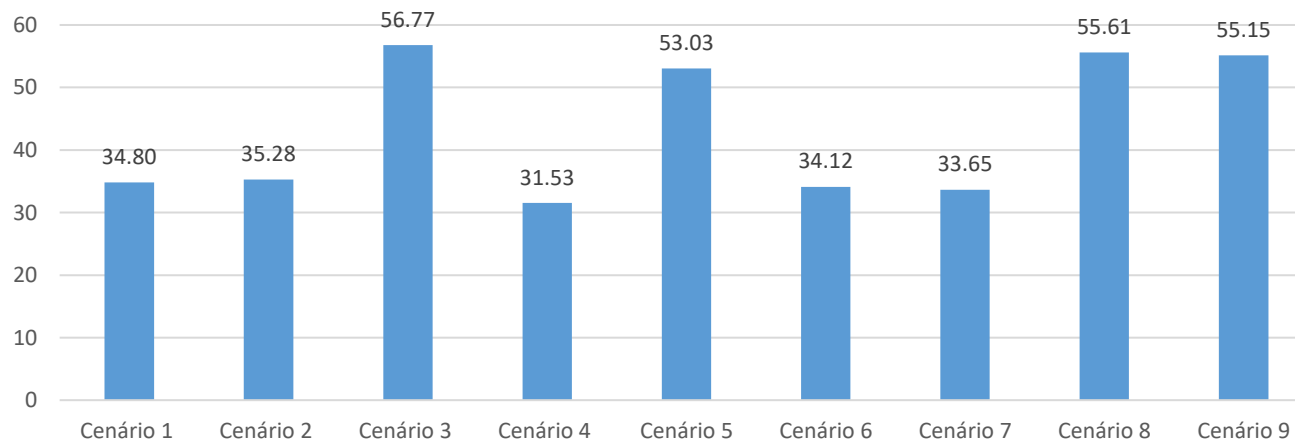
**Tabela 4.13** – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar de Santa Maria (com rega).

| Com rega                 | Volume médio anual de água potável consumida com medidas (m <sup>3</sup> ) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                          | Consumo atual  | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 | Cenário 5 | Cenário 6 | Cenário 7 | Cenário 8 | Cenário 9 |
| Autoclismos              | 660,34   | 660,34    | 40,64     | 40,64     | 146,20    | 146,20    | 73,36     | 86,45     | 73,36     | 86,45     |
| Torneiras                | 675,84   | 337,92    | 675,84    | 337,92    | 675,84    | 337,92    | 675,84    | 675,84    | 337,92    | 337,92    |
| Torneira Copa            | 568,97   | 253,44    | 521,80    | 253,44    | 521,80    | 253,44    | 521,80    | 521,80    | 253,44    | 253,44    |
| Fluxómetros de mictórios | 240,24   | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    | 240,24    |
| Sistema de rega          | 656,00   | 328,00    | 328,00    | 328,00    | 328,00    | 328,00    | 328,00    | 328,00    | 328,00    | 328,00    |
| Outros Usos              | 18,79  | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     | 18,79     |
| Total                    | 2820,17  | 1838,73   | 1825,32   | 1219,03   | 1930,88   | 1324,59   | 1858,04   | 1871,12   | 1251,75   | 1264,84   |
| Poupança (%)             | 0  | 34,80     | 35,28     | 56,77     | 31,53     | 53,03     | 34,12     | 33,65     | 55,61     | 55,15     |

**Figura 4.3** – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período **sem rega** do Centro Escolar de Santa Maria.



**Figura 4.4** – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período **com rega** do Centro Escolar de Santa Maria.



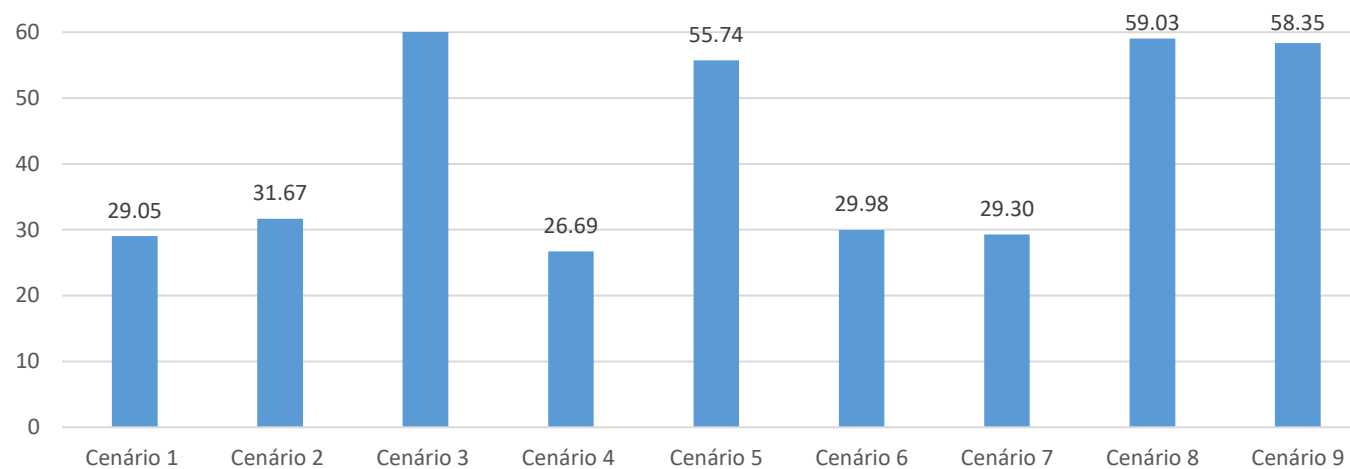
**Tabela 4.14** – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar da Sé (sem rega).

| Sem rega                 | Volume médio anual de água potável consumida com medidas (m <sup>3</sup> ) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                          | Consumo atual  | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 | Cenário 5 | Cenário 6 | Cenário 7 | Cenário 8 | Cenário 9 |
| Autoclismos              | 756,44   | 756,44    | 40,44     | 40,44     | 153,19    | 153,19    | 78,83     | 94,19     | 78,83     | 94,19     |
| Torneiras                | 929,02   | 437,93    | 929,02    | 437,93    | 929,02    | 437,93    | 929,02    | 929,02    | 437,93    | 437,93    |
| Torneira Copa            | 331,20   | 165,60    | 331,20    | 165,60    | 331,20    | 165,60    | 331,20    | 331,20    | 165,60    | 165,60    |
| Fluxómetros de mictórios | 176,64   | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    |
| Outros Usos              | 67,20  | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     |
| Total                    | 2260,50  | 1603,81   | 1544,50   | 887,81    | 1657,24   | 1000,56   | 1582,89   | 1598,24   | 926,20    | 941,56    |
| Poupança (%)             | 0  | 29,05     | 31,67     | 60,73     | 26,69     | 55,74     | 29,98     | 29,30     | 59,03     | 58,35     |

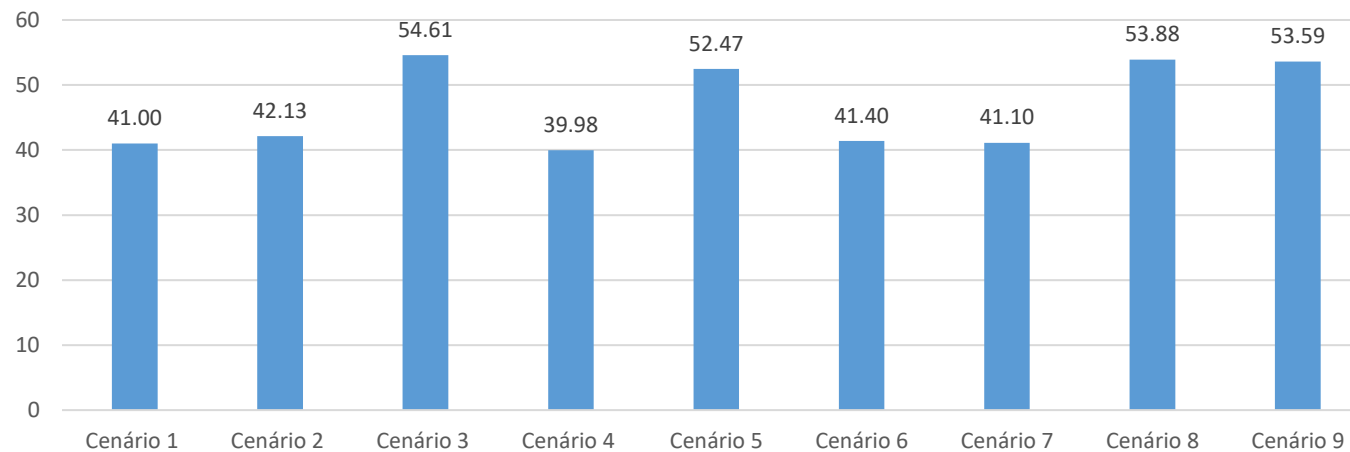
**Tabela 4.15** – Volume médio anual de água consumida com medidas de eficiência hídrica do Centro Escolar da Sé (com rega).

| Com rega                 | Volume médio anual de água potável consumida com medidas (m <sup>3</sup> ) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                          | Consumo atual  | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário 4 | Cenário 5 | Cenário 6 | Cenário 7 | Cenário 8 | Cenário 9 |
| Autoclismos              | 756,44   | 756,44    | 40,44     | 40,44     | 153,19    | 153,19    | 78,83     | 94,19     | 78,83     | 94,19     |
| Torneiras                | 929,02   | 437,93    | 929,02    | 437,93    | 929,02    | 437,93    | 929,02    | 929,02    | 437,93    | 437,93    |
| Torneira Copa            | 331,20   | 165,60    | 331,20    | 165,60    | 331,20    | 165,60    | 331,20    | 331,20    | 165,60    | 165,60    |
| Fluxómetros de mictórios | 176,64   | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    | 176,64    |
| Sistema de rega          | 3000,00  | 1500,00   | 1500,00   | 1500,00   | 1500,00   | 1500,00   | 1500,00   | 1500,00   | 1500,00   | 1500,00   |
| Outros Usos              | 67,20  | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     | 67,20     |
| Total                    | 5260,50  | 3103,81   | 3044,50   | 2387,81   | 3157,24   | 2500,56   | 3082,89   | 3098,24   | 2426,20   | 2441,56   |
| Poupança (%)             | 0  | 41,00     | 42,13     | 54,61     | 39,98     | 52,47     | 41,40     | 41,10     | 53,88     | 53,59     |

**Figura 4.5** – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período **sem rega** do Centro Escolar da Sé.



**Figura 4.6** – Poupança de água (%) em relação ao consumo anual no período **com rega** do Centro Escolar da Sé.



Silva et al. (2021) mencionam estudos realizados por outros autores que indicam um potencial de economia de água variando entre 0 a 20%, dependendo da precipitação e da demanda per capita. Outras pesquisas citadas também apresentam resultados semelhantes: Herrmann e Schmida (2000) observaram economias de 30 a 60%, Ghisi et al. (2007) encontraram variações de 12 a 79%, e Vieira e Ghisi (2016) relataram economias de 22 a 64%, entre outros. Dessa forma, conclui-se que os resultados obtidos estão em consonância com as pesquisas já realizadas por esses autores, reforçando a eficácia dos sistemas de aproveitamento de água pluvial em diferentes contextos.

Tendo em vista os dados de consumo disponíveis, as análises subsequentes serão conduzidas com base no período sem rega, uma vez que o período de rega, que se estende por apenas três meses, não representa um impacto significativo que justifique sua inclusão nos cálculos. Dessa forma, a exclusão desse intervalo permite uma avaliação mais precisa e focada nos cenários de maior relevância para o estudo.

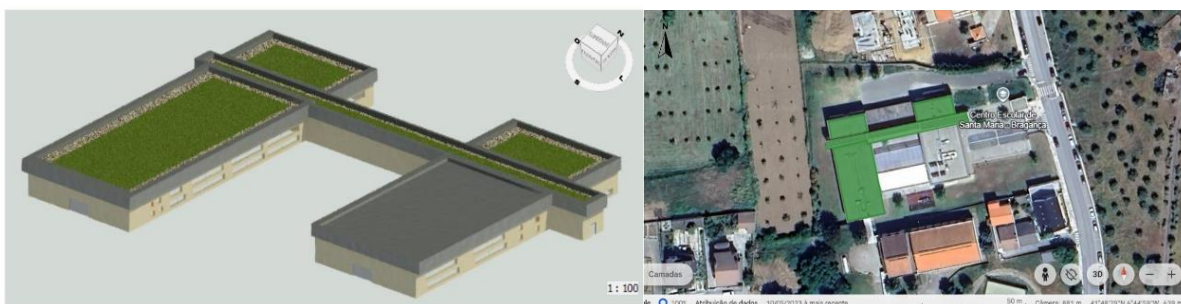
No que tange a análise da viabilidade técnica dos cenários propostos para ambos centros escolares, o Cenário 1 (substituição das torneiras) e Cenário 2 (implantação do SAAP na cobertura existente) mostram-se plenamente implementáveis. O Cenário 1 é de aplicação relativamente simples, e é provável que a substituição seja realizada pela própria equipe da Câmara Municipal de Bragança, o que reduz significativamente os custos operacionais associados à troca desses equipamentos. Quanto ao Cenário 2, sua viabilidade é corroborada pelos resultados apresentados nos estudos de Vale (2019) e Morais (2019), que demonstram a eficácia e aplicabilidade desse sistema.

Além disto, convém salientar que o presente estudo não englobou a investigação da viabilidade técnica dos cenários envolvendo CV, focando-se principalmente na avaliação do impacto desse sistema, seja de forma isolada ou integrada ao SAAP, na poupança de água. Tal avaliação exigiria um estudo específico e aprofundado sobre o projeto estrutural da edificação além da avaliação da existência de patologias na cobertura, e também considerando as implicações das novas cargas geradas pela implementação da CV, como a capacidade de suporte da cobertura existente, os custos de reforço e a compatibilidade com as normas técnicas vigentes (Barcelos et al., 2024). Portanto, recomenda-se que futuros trabalhos complementam esta pesquisa, integrando os aspectos estruturais, ambientais e econômicos para uma tomada de decisão mais assertiva.

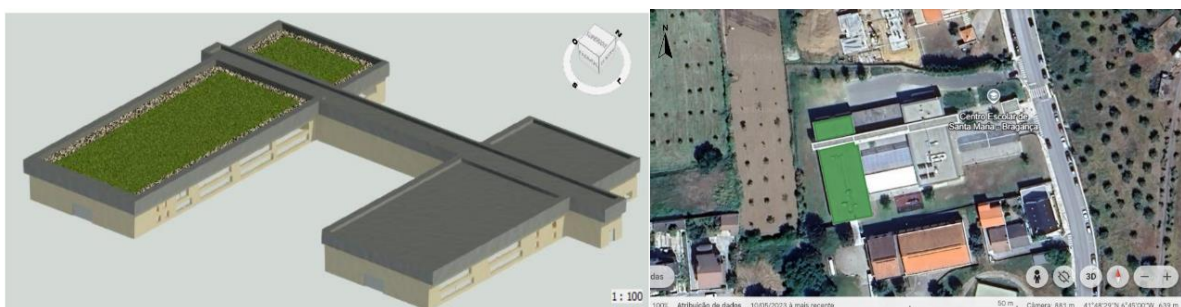
Contudo, a título de representação ilustrativa, têm-se as Figuras (4.7 a 4.12) abaixo, o qual apresenta uma visualização preliminar geral da implementação dos cenários propostos de CV.



**Figura 4.7** – Uso de 100% de cobertura verde no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025).



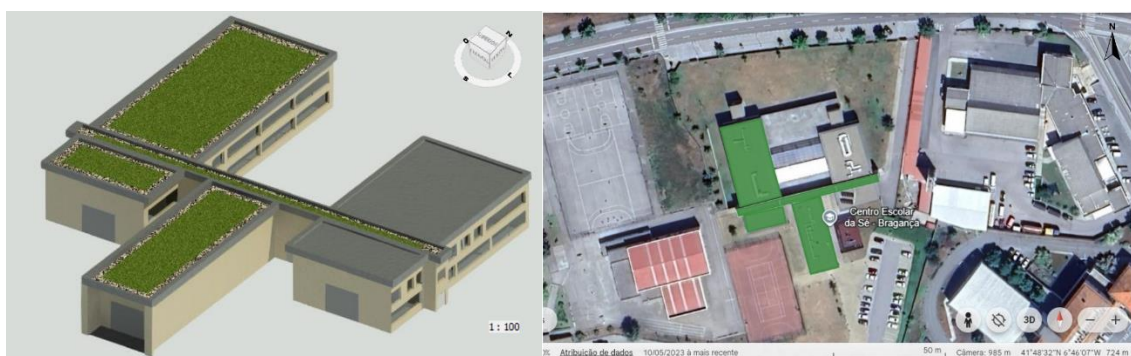
**Figura 4.8** – Aplicação de 70% de cobertura verde e mantendo-se 30% da cobertura convencional do local no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025).



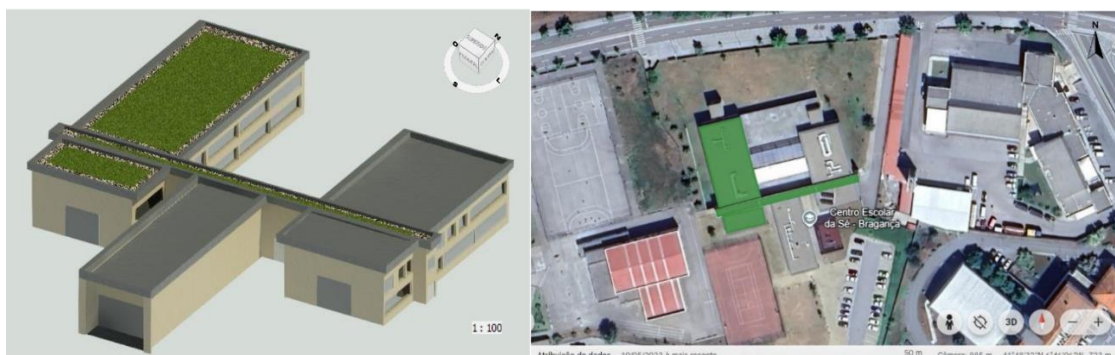
**Figura 4.9** – Instalação de 50% de cobertura verde e permanecendo 50% da cobertura convencional existente no Centro Escolar de Santa Maria (Autoria Própria; Google Earth, 2025).



**Figura 4.10** – Uso de 100% de cobertura verde no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025).



**Figura 4.11** – Aplicação de 70% de cobertura verde e mantendo-se 30% da cobertura convencional do local no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025).



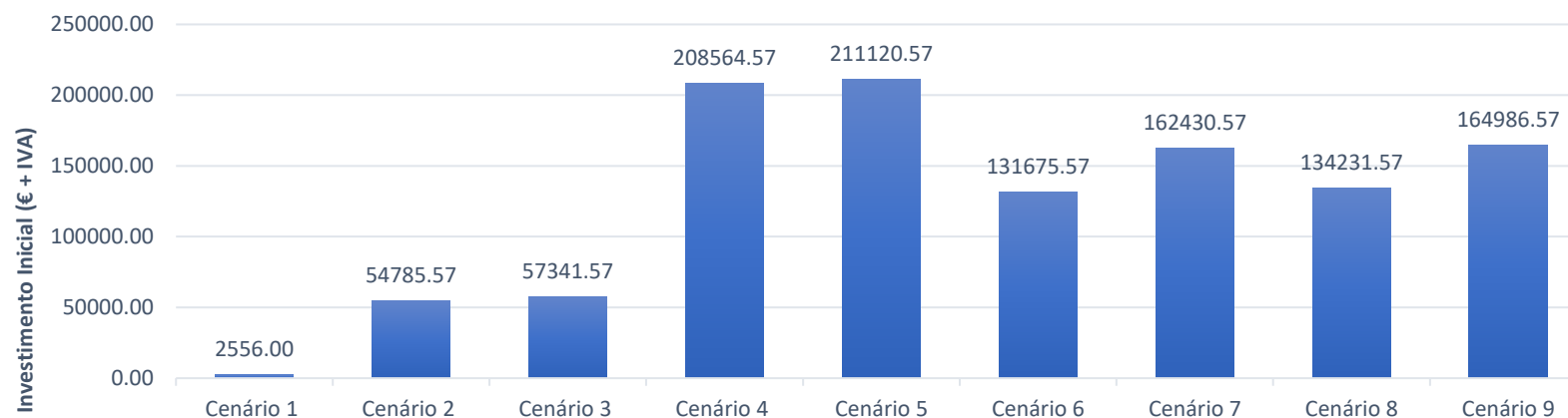
**Figura 4.12** – Instalação de 50% de cobertura verde e permanecendo 50% da cobertura convencional existente no Centro Escolar da Sé (Autoria Própria; Google Earth, 2025).

## **4.2. Investimento inicial e tempo de retorno de investimento de medidas de poupança de água**

Tendo como base o que foi exposto na Seção 3.3, as Tabelas (4.16 a 4.19) a seguir apresentam os investimentos iniciais associados a cenário bem como a redução no valor da fatura de água, baseada nos tarifários vigentes do Conselho de Bragança (Tabela 3.4).

**Tabela 4.16** – Custos de investimento inicial do Centro Escolar de Santa Maria.

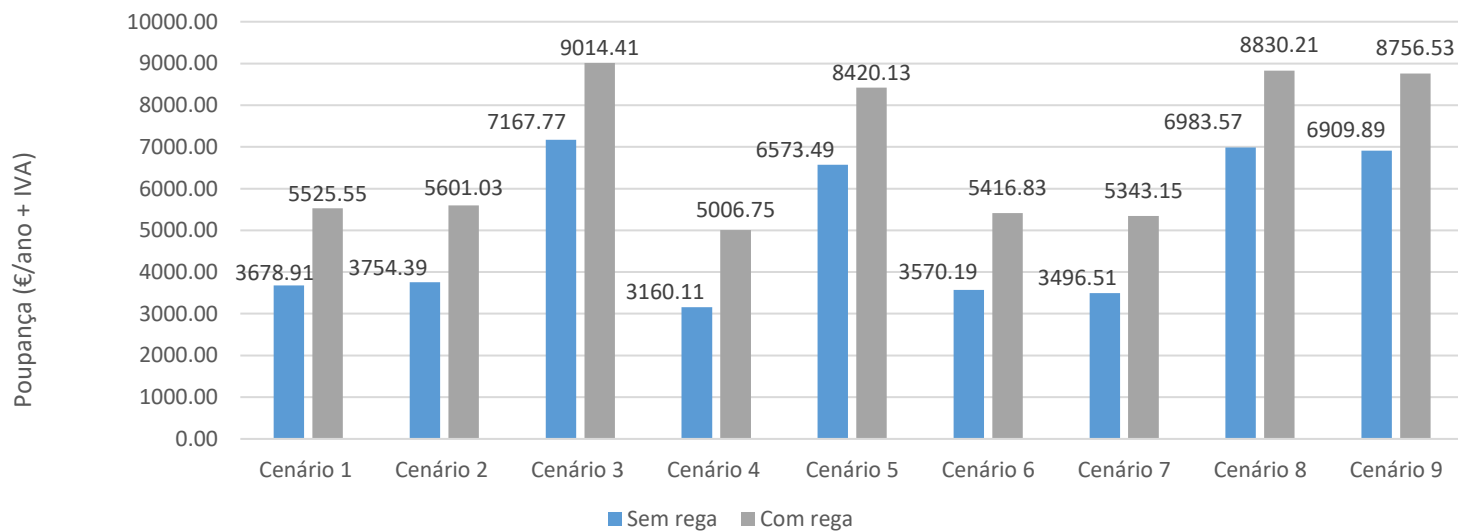
|   | <b>Cenário 1</b> | <b>Cenário 2</b> | <b>Cenário 3</b> | <b>Cenário 4</b> | <b>Cenário 5</b> | <b>Cenário 6</b> | <b>Cenário 7</b> | <b>Cenário 8</b> | <b>Cenário 9</b> |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Substituição das torneiras existentes por torneiras de 5L/min e 8 L/min (€ + IVA) | 2556,00          | -                | 2556,00          | -                | 2556,00          | -                | -                | 2556,00          | 2556,00          |
| Fornecimento e instalação SAAP incluso a remodelação (€ + IVA)                    | -                | 54785,57         | 54785,57         | 54785,57         | 54785,57         | 54785,57         | 54785,57         | 54785,57         | 54785,57         |
| Fornecimento e instalação de uma cobertura verde (€ + IVA)                        | -                | -                | -                | 153779,0         | 153779,0         | 76890,0          | 107645,0         | 76890,0          | 107645,0         |
| <b>Custo total (€ + IVA)</b>  | <b>2556,00</b>   | <b>54785,57</b>  | <b>57341,57</b>  | <b>208564,57</b> | <b>211120,57</b> | <b>131675,57</b> | <b>162430,57</b> | <b>134231,57</b> | <b>164986,57</b> |



**Figura 4.13** – Investimento inicial do Centro Escolar de Santa Maria.

**Tabela 4.17** – Redução anual da fatura de água do Centro Escolar de Santa Maria.

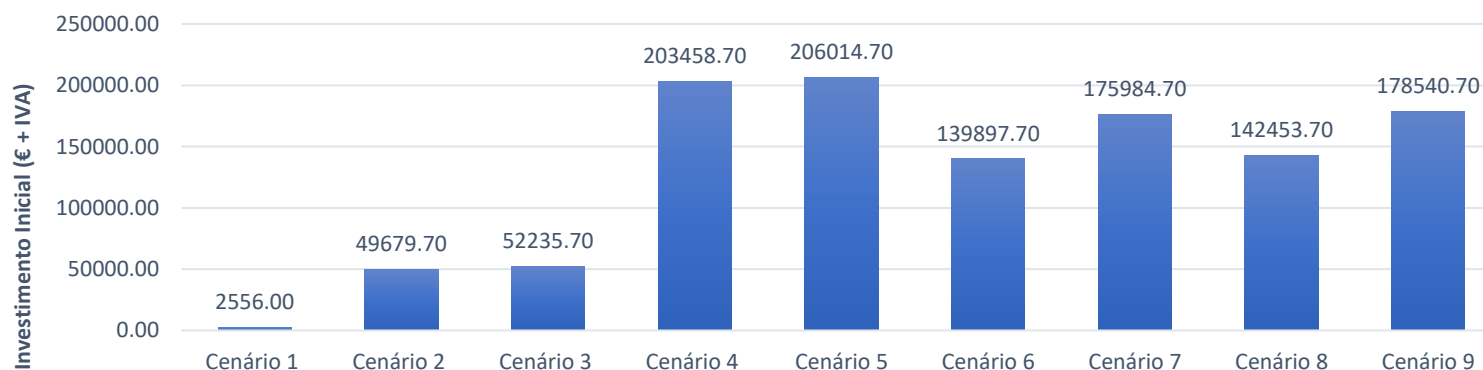
|          |             | <b>Cenário 1</b> | <b>Cenário 2</b> | <b>Cenário 3</b> | <b>Cenário 4</b> | <b>Cenário 5</b> | <b>Cenário 6</b> | <b>Cenário 7</b> | <b>Cenário 8</b> | <b>Cenário 9</b> |
|----------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Sem rega | €/ano + IVA | 3678,91          | 3754,39          | 7167,77          | 3160,11          | 6573,49          | 3570,19          | 3496,51          | 6983,57          | 6909,89          |
| Com rega |             | 5525,55          | 5601,03          | 9014,41          | 5006,75          | 8420,13          | 5416,83          | 5343,15          | 8830,21          | 8756,53          |



**Figura 4.14** – Poupança na fatura de água do Centro Escolar de Santa Maria.

**Tabela 4.18** – Custos de investimento inicial do Centro Escolar da Sé.

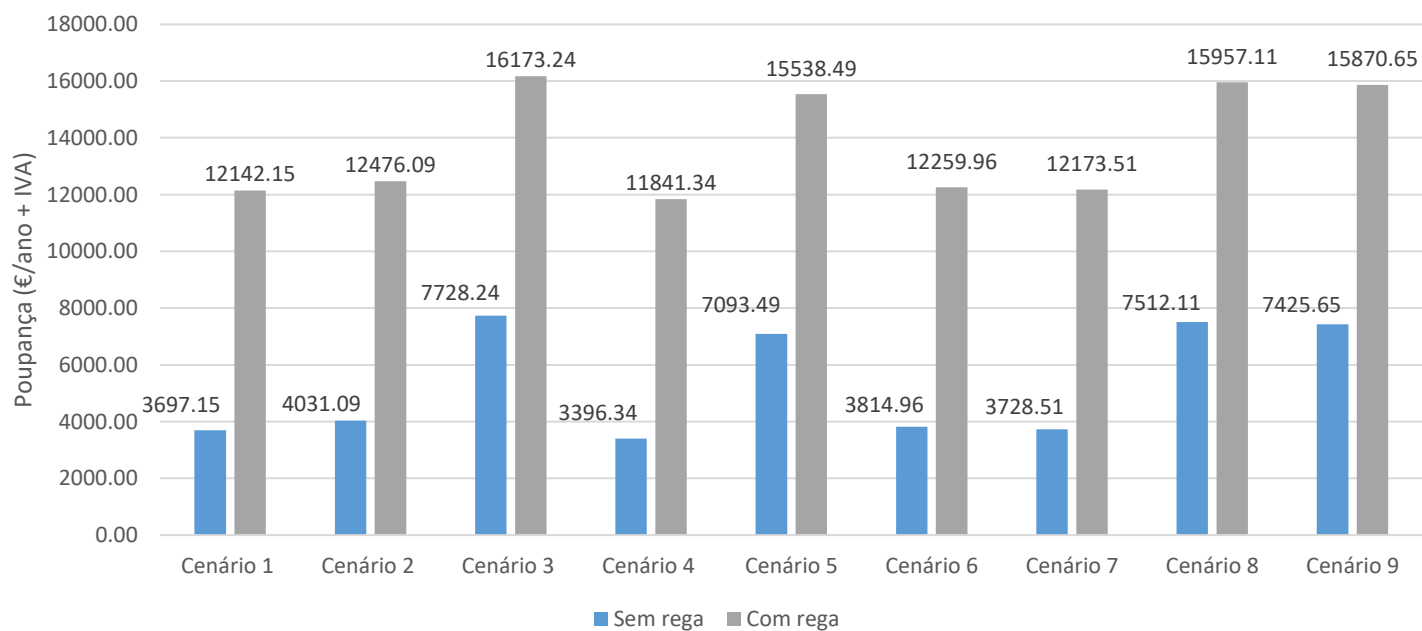
|   | Cenário 1      | Cenário 2       | Cenário 3       | Cenário 4        | Cenário 5        | Cenário 6        | Cenário 7        | Cenário 8        | Cenário 9        |
|---|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Substituição das torneiras existentes por torneiras de 5L/min e 8 L/min (€ + IVA) | 2556,00        | -               | 2556,00         | -                | 2556,00          | -                | -                | 2556,00          | 2556,00          |
| Fornecimento e instalação SAAP incluso a remodelação (€ + IVA)                    | -              | 49679,70        | 49679,70        | 49679,70         | 49679,70         | 49679,70         | 49679,70         | 49679,70         | 49679,70         |
| Fornecimento e instalação de uma cobertura verde (€ + IVA)                        | -              | -               | -               | 153779,00        | 153779,00        | 90218,00         | 126305,00        | 90218,00         | 126305,00        |
| <b>Custo total (€ + IVA)</b>  | <b>2556,00</b> | <b>49679,70</b> | <b>52235,70</b> | <b>203458,70</b> | <b>206014,70</b> | <b>139897,70</b> | <b>175984,70</b> | <b>142453,70</b> | <b>178540,70</b> |



**Figura 4.15** – Investimento inicial do Centro Escolar da Sé.

**Tabela 4.19** – Redução anual da fatura de água do Centro Escolar da Sé.

|          |             | <b>Cenário 1</b> | <b>Cenário 2</b> | <b>Cenário 3</b> | <b>Cenário 4</b> | <b>Cenário 5</b> | <b>Cenário 6</b> | <b>Cenário 7</b> | <b>Cenário 8</b> | <b>Cenário 9</b> |
|----------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Sem rega | €/ano + IVA | 3697,15          | 4031,09          | 7728,24          | 3396,34          | 7093,49          | 3814,96          | 3728,51          | 7512,11          | 7425,65          |
| Com rega |             | 12142,15         | 12476,09         | 16173,24         | 11841,34         | 15538,49         | 12259,96         | 12173,51         | 15957,11         | 15870,65         |



**Figura 4.16** – Poupança na fatura de água do Centro Escolar da Sé.

Um estudo realizado por El Tugoz et al. (2017) em uma escola estadual de Marechal Cândido Rondon (Paraná, Brasil) analisou a utilização de três cisternas para captação de água pluvial, totalizando uma capacidade de 45 m<sup>3</sup>. A pesquisa quantitativa evidenciou que o sistema proporcionou uma redução significativa nos custos com água, alcançando R\$ 10.502,83 (ou 1.664,41 €, considerando a taxa de câmbio de 1 EUR = R\$ 6,31, conforme cotação do Banco Wise em 21/03/2025). Esse valor corresponde a uma diminuição de 57,97% em relação aos custos registrados nos anos anteriores, antes da implementação do SAAP. O investimento inicial para a instalação do sistema foi de R\$ 20.000,00 (3169,74 €), com um retorno do investimento já no segundo ano de operação, o que comprova a viabilidade financeira da medida. Ao comparar esses resultados com os cenários apresentados nas Tabelas 4.16 e 4.18, observa-se que a implementação do SAAP nos Centros Escolares de Santa Maria e da Sé também apresenta reduções significativas no consumo de água e nos custos associados.

Ainda por cima, ao analisar as Figuras (4.9 a 4.12) apresentadas, observa-se que qualquer um dos cenários representa alternativas viáveis para a redução do consumo de água e dos custos relacionados. No entanto, é fundamental calcular o período de retorno do investimento para cada cenário, a fim de determinar qual das opções é a mais viável do ponto de vista financeiro, garantindo uma escolha mais estratégica e eficiente.

Desta maneira, as Tabelas 4.20 e 4.21 subsequentes detalham os valores de forma mais específica. Convém destacar que, na análise do tempo de retorno do investimento, também considerou-se a necessidade de substituição da bomba a cada 10 anos (3,334,50 € + IVA), conforme as orientações do fabricante.

**Tabela 4.20** – Investimento inicial, conta e redução anual de água com medidas do Centro Escolar de Santa Maria.

| <b>Cenário</b> | <b>Investimento inicial (€ + IVA)</b> | <b>Conta de água com medidas (€/ano + IVA)</b> | <b>Redução da conta de água (€/ano + IVA)</b> | <b>Retorno do investimento (anos)</b> |
|----------------|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| 1              | 2556,00                               | 8699,31  | 3678,91                                       | 1                                     |
| 2              | 54785,57                              | 8623,83  | 3754,39                                       | 14                                    |
| 3              | 57341,57                              | 5210,45  | 7167,77                                       | 8                                     |
| 4              | 208564,57                             | 9218,11  | 3160,11                                       | 42                                    |
| 5              | 211120,57                             | 5804,73  | 6573,49                                       | 25                                    |
| 6              | 131675,57                             | 8808,03  | 3570,19                                       | 28                                    |
| 7              | 162430,57                             | 8881,71  | 3496,51                                       | 33                                    |
| 8              | 134231,57                             | 5394,65  | 6983,57                                       | 17                                    |
| 9              | 164986,57                             | 5468,33  | 6909,89                                       | 20                                    |

**Tabela 4.21** – Investimento inicial, conta e redução anual de água com medidas do Centro Escolar da Sé.

| <b>Cenário</b> | <b>Investimento inicial (€ + IVA)</b> | <b>Conta de água com medidas (€/ano + IVA)</b> | <b>Redução da conta de água (€/ano + IVA)</b> | <b>Retorno do investimento (anos)</b> |
|----------------|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| 1              | 2556,00                               | 9223,39  | 3697,15                                       | 1                                     |
| 2              | 49679,70                              | 8889,44  | 4031,09                                       | 12                                    |
| 3              | 52235,70                              | 5192,30  | 7728,24                                       | 7                                     |
| 4              | 203458,70                             | 9524,20  | 3396,34                                       | 39                                    |
| 5              | 206014,70                             | 5827,05  | 7093,49                                       | 23                                    |
| 6              | 139897,70                             | 9105,57  | 3814,96                                       | 28                                    |
| 7              | 175984,70                             | 9192,03  | 3728,51                                       | 35                                    |
| 8              | 142453,70                             | 5408,43  | 7512,11                                       | 17                                    |
| 9              | 178540,70                             | 9223,39  | 3697,15                                       | 20                                    |

Conforme citado anteriormente, o SAAP apresenta uma vida útil estimada de pelo menos 20 anos, enquanto a CV apresenta uma durabilidade superior, variando entre 30 a 40 anos.

A análise do tempo de retorno do investimento no Centro Escolar de Santa Maria indica que os resultados obtidos estão alinhados com a vida útil estimada dos sistemas, que é de 40 anos, com exceção do Cenário 4, cujo retorno ultrapassa essa expectativa. Já no caso do Centro Escolar da Sé, todos os cenários propostos demonstram compatibilidade com a vida útil esperada dos sistemas.

É importante destacar que as vidas úteis mencionadas referem-se especificamente à tecnologia empregada. Quando há integração destas tecnologias (SAAP + CV), a vida útil pode variar significativamente. Essa variação depende de fatores como o tipo de sistema implementado, a qualidade dos materiais utilizados, a frequência e eficácia da manutenção realizada, e as condições climáticas locais. Portanto, é essencial considerar esses aspectos ao planejar e implementar soluções integradas, garantindo que os sistemas mantenham sua eficiência e durabilidade ao longo do tempo.

No estudo realizado por Brandi (2021), a integração de SAAP e CV, configura-se como um projeto de alto custo, totalizando um valor de R\$ 162.018,56 (ou 25675,64 €) apenas com matéria prima, sendo 87% (R\$ 140.866,38 ou 22323,68 €) para o telhado verde e 13% (R\$ 21.152,18 ou 3352,07 €). E também, obtém-se uma economia com recursos hídricos de cerca de R\$ 25.157,15 (3986,76 €) por ano. É importante destacar que os valores apresentados foram convertidos para euro, utilizando a taxa de câmbio do Banco Wise em 21/03/2025, onde 1 EUR equivalia a R\$ 6,31. Essa conversão foi realizada para facilitar a comparação com outros estudos ou contextos internacionais, proporcionando uma referência mais ampla e útil para análise. Por fim, a autora aponta que mesmo com um investimento inicial significativo e um período de retorno mais longo, a integração de SAAP e CV demonstra ser uma solução vantajosa, tanto financeiramente quanto ambientalmente, corroborando a viabilidade dessa abordagem no contexto deste trabalho.

É relevante citar também que, apesar de os valores de retorno do investimento terem sido elevados, considera que tais custos são justificáveis, uma vez que se trata de instituições escolares vinculadas à Câmara Municipal, cuja edificação possui uma vida útil prolongada e continuará a atender às demandas da comunidade por um período significativo ainda.

Uma outra consideração pertinente ao Cenário 4, visto que é um dos que apresenta o maior tempo de retorno, é que a avaliação econômica da CV não é facilmente mensurável, em razão da limitação de informações disponíveis e da escassez de estudos que analisam de forma

abrangente seu impacto econômico real. Essa dificuldade decorre principalmente da falta de dados específicos e da carência de pesquisas que explorem os efeitos financeiros a longo prazo de sua implementação (Silva et al., 2023). Além disso, fatores como as condições climáticas locais, os custos de manutenção contínua e os benefícios indiretos, tornam a análise ainda mais complexa (Almeida et al., 2021). De acordo com Zaid et al. (2021), os custos de instalação e manutenção desses sistemas também são diretamente afetados pela saturação na indústria.

Apesar dessas controvérsias, Silva et al. (2023) destacam que os sistemas de CV continuam a ser lucrativos do ponto de vista social e ambiental, especialmente quando considerados os benefícios que proporcionam. Assim, esses benefícios, ligados à eficiência hídrica e à sustentabilidade urbana, reforçam a viabilidade e a importância da implementação de CV, mesmo diante dos desafios iniciais relacionados ao custo e ao tempo de retorno do investimento.

Se considerarmos a urgência de promover uma economia mais eficiente e sustentável, a opção mais viável para este caso é o Cenário 1, aplicável a ambos os centros escolares quando se leva em conta o período sem rega.

No Centro Escolar de Santa Maria, este cenário possibilita uma poupança significativa de 653,45 m<sup>3</sup> de água, o que representa 30,19% do consumo total estimado. Em termos financeiros, a redução anual é de 3.678,91 € + IVA, equivalente a 29,72% do consumo estimado por ano, o que reforça a sua viabilidade econômica. Além disso, destaca-se pelo tempo de retorno do investimento ser relativamente baixo, de apenas 1 ano. Para o Centro Escolar da Sé, a poupança de água é de 656,69 m<sup>3</sup>, correspondendo a 29,05% do volume total previsto de consumo. No aspecto financeiro, a redução anual é de 3.697,15 € + IVA, equivalente a 28,61% da previsão anual do consumo total. Assim como no caso anterior, o tempo de retorno também é de 1 ano, evidenciando sua atratividade econômica.

Por conseguinte, podemos concluir que o Cenário 1, no contexto da urgência de economia, é uma escolha estratégica tanto pela facilidade de implementação e contribuição à sustentabilidade, quanto por ser economicamente atrativa.

Em uma perspectiva de longo prazo, em ambos centros escolares, observa-se que os demais cenários demonstram potencial significativo no período sem rega. Quando o sistema é analisado de forma isolada, ou seja, considerando apenas o SAAP aplicado na CC ou na CV, nota-se que as porcentagens de eficiência e economia são satisfatórias. No entanto, quando

essas soluções são implementadas em conjunto com o Cenário 1 (substituição das torneiras), os valores praticamente dobram, como evidenciado pelos Cenários 3, 5, 8 e 9.

Sendo assim, com base na análise dos custos de investimento iniciais e do tempo de retorno do investimento, a opção mais viável é a do Cenário 3. No Centro Escolar de Santa Maria, esse cenário representa uma poupança de água de 1.273,14 m<sup>3</sup> (58,83%) e uma economia anual de 7.167,77 € + IVA (57,91%), com um tempo de retorno do investimento de 8 anos. Já no Centro Escolar da Sé, a poupança de água é de 1.372,69 m<sup>3</sup> (60,73%), resultando em uma redução da fatura de água anual de 7.728,24 € + IVA (59,81%), com um tempo de retorno do investimento de 7 anos.

É importante ressaltar que os demais cenários não devem ser negligenciados, uma vez que todos apresentam reduções significativas no volume de água consumida e economias financeiras consideráveis. Caso seja implementado inicialmente apenas o SAAP e, posteriormente, seja realizado o investimento na CV, ainda é possível obter resultados eficientes, desde que sejam conduzidos planejamentos detalhados e adaptações técnicas para assegurar que o sistema opere de maneira eficaz em ambas as configurações.

Para tanto, é fundamental que seja realizado uma análise estrutural adequada, considerando as novas cargas geradas pela CV na edificação bem como desenvolver o sistema de drenagem do SAAP de forma adaptável, ou seja, que seja compatível tanto com a CV quanto com a convencional, garantindo eficiência em ambos os cenários. No que diz respeito ao reservatório do SAAP, também pode-se avaliar a viabilidade da implementação de um reservatório adicional exclusivamente destinado à coleta de água pluvial proveniente da CV. Conforme destacado por Lázaro (2020), a CV pode impactar na qualidade da água de precipitação após a percolação pelos elementos constituintes do telhado. No entanto, ainda são necessárias avaliações mais precisas para garantir a segurança do uso dessa água em outros usos, reforçando a importância de estudos complementares para embasar decisões técnicas e operacionais.

Também é necessário garantir que os componentes do sistema, como calhas, filtros e tubulações, estejam em pleno funcionamento no momento da implementação da CV, evitando falhas operacionais ou custos adicionais. Por fim, deve-se considerar as variações de custos do mercado no ano de aplicação da CV, uma vez que fatores como a disponibilidade de materiais,

mão de obra e a saturação da indústria podem impactar diretamente no orçamento final do sistema.

Em suma, embora a análise tenha focado no fator econômico, é importante destacar que, em todos os cenários apresentados, há benefícios significativos que vão além da economia financeira. Cada cenário apresenta vantagens sociais e ambientais relevantes, como a redução do consumo de água, a diminuição da demanda por recursos naturais e a criação de oportunidades educacionais relacionadas à sustentabilidade, que contribuem para uma conscientização ambiental do local, servindo como exemplo educativo aos alunos, professores e familiares.

# Capítulo 5

## 5.1. Conclusões

A urbanização acelerada tem-se intensificado nas últimas décadas em escala global, acompanhada por um rápido crescimento demográfico. Esse fenômeno tem gerado diversos impactos sociais e ambientais, como a escassez dos recursos hídricos, a degradação de ecossistemas e o aumento da demanda por infraestrutura urbana (Leitão, 2022). Diante desse cenário, torna-se urgente uma mudança de hábitos e práticas, especialmente por parte dos grandes consumidores de água, como indústrias, escolas, hospitais e hotéis (Igino, 2017 apud Wierzbicki & Toppel, 2022). Ademais, por conta das mudanças climáticas, o valor da água aumentará de forma significativa e imprevisível ao longo do tempo (Silva et al., 2023), o que reforça cada vez mais estratégias que assegurem não só o bem social e ambiental, mas também o econômico. Nesse sentido, o SAAP e as CV se consolidam como meios essenciais no que se refere à diminuição dos impactos ocasionados pela urbanização e da mitigação e da adaptação das mudanças climáticas.

Diante disso, o presente trabalho teve como proposta avaliar o impacto na poupança de água conforme as medidas de eficiência hídrica propostas, totalizando nove cenários, em especial por meio do desempenho do SAAP de forma isolada ou em conjunto com a CV, em dois centros escolares localizados na cidade de Bragança, Portugal.

O uso de coberturas convencionais para o SAAP mostrou-se mais eficiente em termos de captação de água pluvial, especialmente em períodos de baixa precipitação, como no verão. A CC permitiu uma captação de 93,84% da água da chuva com um reservatório estimado de 60 m<sup>3</sup> no Centro Escolar de Santa Maria e 94,65% com um reservatório estimado de 70 m<sup>3</sup> no Centro Escolar da Sé. A implementação de CV, em ambos centros escolares, reduziu a eficiência de captação, com captações variando entre 70% a 90% dependendo da porcentagem de área verde aplicada. Isso ocorre devido à retenção adicional de água pela vegetação, o qual variou entre 18,8% a 37,5%, que reduz o volume disponível para armazenamento.

Na viabilidade econômica, o Cenário 1, que envolve a substituição das torneiras existentes por outros modelos mais eficientes, mostrou-se a opção mais viável economicamente em menos tempo, com um tempo de retorno do investimento de apenas 1 ano. Este cenário proporcionou uma redução significativa no consumo de água em períodos sem rega (30,19% no Centro

Escolar de Santa Maria e 29,05% no Centro Escolar da Sé) e uma economia anual de 3.678,91 € + IVA e 3.697,15 € + IVA, respectivamente.

O Cenário 3, que combina a substituição das torneiras com a implementação do SAAP em coberturas convencionais, mostrou-se a opção mais eficiente a longo prazo, com uma poupança de água de 58,83% no Centro Escolar de Santa Maria e 60,73% no Centro Escolar da Sé, e um tempo de retorno do investimento de 8 e 7 anos, respectivamente. Nessa ótica, as soluções poderão conduzir a uma redução da fatura anual de 7.167,77 € + IVA no Centro Escolar de Santa Maria e 7.728, 24 € + IVA no Centro Escolar da Sé, além de minimizar os riscos de escassez hídrica da região.

No que concerne ao impacto das CV, embora ofereçam diversos benefícios ambientais, como a redução do escoamento superficial, redução dos níveis de poluição, regulação hídrica e climática, além da promoção da biodiversidade, sua implementação em conjunto com o SAAP mostrou-se menos eficiente em termos de captação de água. Ainda assim, a CV pode ser uma solução interessante em contextos onde a gestão de águas pluviais e a mitigação do efeito de ilhas de calor são prioritárias. Além disso, o uso da aplicação das CV, no que se refere à uma drenagem urbana sustentável, requer informações mais precisas sobre seu funcionamento para a concepção e análise de projetos. Ademais, o uso é limitado pela ausência de um modelo preditivo confiável ou de um consenso claro quanto ao desempenho esperado (Silva et al., 2019).

Assim, pode-se concluir que todos os cenários propostos representam uma estratégia eficaz para uma gestão sustentável dos recursos hídricos em edifícios escolares, o que não apenas promove a redução de custos e o uso eficiente de recursos mas também se alinha com os objetivos de preservação ambiental e gestão responsável, garantindo benefícios a curto e longo prazo. Embora alguns dos cenários demandam investimentos iniciais elevados e um período mais extenso para implementação, é possível iniciar com medidas mais simples e acessíveis, como a substituição das torneiras por modelos mais eficientes. Posteriormente, podem ser incorporadas às outras tecnologias (SAAP e CV), de forma gradual. Essa abordagem progressiva permite que as instituições escolares se adaptem aos poucos, colhendo os benefícios imediatos das primeiras ações enquanto planejam e implementam soluções mais complexas. Dessa forma, os impactos positivos são ampliados, promovendo não apenas a eficiência hídrica, mas também a conscientização e a educação ambiental da comunidade escolar.

Este trabalho reforça a afirmação de Torgal & Granqvist (2020), que destacam que as CV, enquanto soluções baseadas na natureza, oferecem uma ampla gama de benefícios ambientais, sociais e econômicos para o ambiente construído, além de promoverem a resiliência das cidades. Da mesma forma, a adoção de CV em áreas urbanas proporciona diversos serviços ecossistêmicos essenciais para o equilíbrio entre água, energia, materiais, alimentos e ecossistemas. Essa abordagem transforma os edifícios de estruturas estáticas para sistemas dinâmicos, interagindo ativamente com o ambiente e com a comunidade ao seu redor (Calheiros & Stefanakis, 2021).

Além disso, Gaitán & Teixeira (2020) afirmam que o SAAP pode ser implementado em qualquer tipo de edificação, sendo particularmente vantajoso em locais com altos níveis de consumo de água, como comércios e instituições. Esses sistemas não apenas oferecem benefícios econômicos aos usuários, mas também promovem a sustentabilidade, contribuindo para a redução do consumo de água potável e seus impactos ambientais.

Espera-se assim, que de alguma forma, esta dissertação, contribua para a realização de futuras análises, tornando-se um documento útil para avaliação de outras situações similares que visam o aproveitamento de águas pluviais de forma isolada ou integrada às CV.

## **5.2. Proposta para trabalhos futuros**

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se a realização dos seguintes estudos:

- Análise do dimensionamento do SAAP por meio de outros métodos (estatísticos, simulação contínua de balanço de massa e com função de custo, dentre outros);
- Simulação em outros centros escolares ou outras tipologias de edifícios como pavilhões esportivos, hospitais, piscinas, dentre outros;
- Análise da implementação em diversos climas e configurações de CV, como tipos de vegetação, substratos, espessura do meio de cultivo, entre outros;
- Verificação do impacto econômico, social e ambiental com o uso de dois reservatórios: um destinado exclusivamente à coleta de água pluvial proveniente de CV e outro dedicado ao aproveitamento de água pluvial convencional;
- Avaliação da qualidade da água pluvial coletada por meio de CV;
- Estudo da viabilidade técnica da CV voltado ao projeto estrutural da edificação.

## Referências bibliográficas

- Abrantes, S.; Silva, F.; Albuquerque, A. (2018). Recycling of rainwater in a social and cultural center. *Proceedings*, 2(20), 1276.
- Abreu, C.R.S. & Menezes, A.R. (2024). Do brownfields para o brown roof: uma análise preliminar como alternativa ao telhado verde. *Revista PCC – Políticas Públicas e Cidade*, 13 (2), 1-13. ISSN: 2359-1552.
- Agência Portuguesa do Ambiente, <http://www.apambiente.pt/>. Acesso em: 6 abr. 2024.
- Agenda 2030, <https://rumoa2030.pt/a-agenda-2030/>. Acesso em: mai. 2024.
- Almeida, A. P.; Libarelesso, T.; Silva, C. M.; Sousa, V. (2021). Dynamic modelling of rainwater harvesting with green roofs in university buildings. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127655.
- Almeida, A. P., Libarelesso, T., Silva, C. M., & Sousa, V. (2023). Combining green roofs and rainwater harvesting systems in university buildings under different climate conditions. *Science of The Total Environment*, 887, 163719.
- Almeida, M.G. (2020). *Análise de procedimentos de manutenção e manifestações patológicas em telhados verdes* (Dissertação de Mestrado em Construção Civil - Universidade Federal de Minas Gerais).
- Almeida, S.N. (2024). *Manual para implantação de sistema de aproveitamento de água da chuva em escolas municipais de Piúma-ES* (Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Recursos Hídricos) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória).
- Andrade, N. (2020). *Estudo do potencial de eficiência hídrica no Pavilhão Municipal Arnaldo Pereira da Cidade de Bragança: Soluções para reutilização de águas cinzentas e aproveitamento de águas pluviais* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).

- Ângelo, M.B.P. (2017). *Avaliação acústica de componentes que constituem as coberturas verdes* (Dissertação de Mestrado – Universidade de Coimbra).
- Antão-Geraldes, A.M.; Ohara, G.; Afonso, M.J.; Albuquerque, A.; Silva, F. (2024). Towards Sustainable Water Use in Two University Student Residences: A Case Study. *Appl. Sci.*, 14, 7559.
- Antunes, J.; Nascimento, V. S.; Queiroz, Z. F. (2020). Como os estudantes percebem a sustentabilidade na educação superior? Um estudo quali-quantitativo sobre a Universidade Federal do Cariri – CE. *REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, 37(3), 138-161.
- Araújo, D. R. D. (2020). *A captação da água de chuva para regularizar a vazão de irrigação da agricultura familiar* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande).
- Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais. (2009). *Especificação Técnica ANQIP: Certificação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais* (ETA 0702). Aveiro: ANQIP.
- Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais. (2020). *Especificação Técnica ANQIP - Especificações para a atribuição de rótulos de eficiência hídrica ANQIP a autoclismos de bacias de retrete* (ETA 0804.4). Aveiro: ANQIP.
- Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais. (2020). *Especificação Técnica ANQIP - Regulamento do sistema voluntário ANQIP de certificação e rotulagem de eficiência hídrica de produtos* (ETA 0802.7). Aveiro: ANQIP.
- Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais. (2020). *Especificação Técnica ANQIP: Rótulos de eficiência hídrica de produtos - Características e condições de utilização* (ETA 0803.4). Aveiro: ANQIP.
- Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais. (2020). *Especificações para a atribuição de rótulos de eficiência hídrica ANQIP - Torneiras e Fluxómetros de Mictórios* (ETA 0808.4). Aveiro: ANQIP.

- Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais. (2024). *Especificação Técnica ANQIP: Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP) (ETA 0701.11)*. Aveiro: ANQIP.
- Baldo, M.S.; Brenner, B.L.; González, M.A.S.; Kern, A. P. (2020). Comparativo entre o comportamento térmico de uma cobertura verde extensiva e cobertura de fibrocimento no clima da cidade de São Leopoldo, Brasil. *Revista Aidis*. 13(2), 1-16.
- Barcelos, D.A.M.; Jonov, C.M.P.; Silva, A.P.; Filho, E.R.; Barcelos, H.J. (2024). Principais barreiras à adoção de telhados verdes: uma revisão de literatura para evitá-las no Brasil. *Ambiente Construído*, 25, e136793, 1-18. ISSN 1678-8621.
- Bento, F. (2020). *Uso mais eficiente da água em edifícios dos anos 80, 90 e 2000 do Norte de Portugal: aplicação das diretrizes do Programa de Apoio a edifícios mais sustentáveis* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).
- Brandi, T.C. (2021). *Proposta de telhado verde e aproveitamento de águas pluviais no bloco 5 da UNESP, campus de Guaratinguetá* (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista).
- Brito, R. R., Gomes, E. R.; Ludwig, R. (2012). Uso da água na irrigação. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 8 (2).
- Calheiros, C. S. C., & Stefanakis, A. I. (2021). Green roofs towards circular and resilient cities. *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 395- 411.
- Centro Regional de Informação das Nações Unidas (UNRIC), <https://unric.org/pt/populacao-mundial-deve-crescer-em-22-bilhoes-ate-2050/>. Acesso em: abr. 2024.
- Casa do Eirado, <http://www.casadoeirado.com>. Acesso em: abr. 2024.
- Castro, C.N. (2021). *Plano Nacional de Segurança Hídrica, Problemas Complexos e Participação Social* (Tese de Doutorado em Geografia, Universidade de Brasília).

- Castro, T.R.; Souza, C.A.; Tebcherani, S.M. (2022). Análise do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) em uma Empresa de Transporte Coletivo. *XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*. 1-11.
- Câmara Municipal de Bragança, <https://www.cm-braganca.pt/>. Acesso em: out. 2024.
- Costa, D.M. (2023). *Avaliação teórica do comportamento térmico de soluções de coberturas verdes* (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente - Universidade de Coimbra).
- Costa, K.L.P. (2023). *Saneamento e seu impacto na saúde coletiva: um estudo em comunidades rurais no Alto Sertão Paraibano* (Dissertação de Mestrado em Sistemas Agroindustriais – Universidade Federal de Campina Grande).
- Costa, L.M.M. (2010). *Espaços Verdes Sobre Cobertura: Uma Abordagem Estética e Ética* (Dissertação de Mestrado em Arquitectura Paisagista – Universidade Técnica de Lisboa).
- Cordova, M. M. (2009). *Aperfeiçoamento do programa computacional Netuno: análise econômica*. (Relatório de Iniciação Científica - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina).
- Cristiano, E.; Deidda, R.; Viola, F. (2021). The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review. *Science of The Total Environment*, 756, 143876, ISSN 0048-9697.
- Cruz, J.C.P. (2024). *Análise do uso de equipamentos economizadores para redução da demanda de água urbana em um município do Semiárido Cearense* (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil - Universidade Federal do Ceará).
- Dutra, M.R. (2023). *Dimensionamento das instalações hidráulicas de água fria: estudo de caso em dois cenários distintos* (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto).

- El Tugoz, J.; Bertolini, G. R.; Brandalise, L. T. (2017). Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 6(1), 26-39.
- Ecodepur, <https://www.ecodepur.pt/>. Acesso em: jan. 2025.
- Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), <https://www.ersar.pt/>. Acesso em: jan. 2025.
- Erix, [www.erix.pt](http://www.erix.pt). Acesso em: jan. 2025.
- Faria, H. S. (2020). *Uso eficiente de água na Residência Gulbenkian do Instituto Politécnico de Bragança* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).
- Farias, L.G.; Rolim, M.B.; Rodrigues, P.H.S.; Pavanelli, R.L.; Cipriano, S.C.; Silva, W.O.L. (2021). *Conceitos de estrutura sustentável aplicados em obra residencial*. (Trabalho de Conclusão de Curso em Curso Técnico Integrado de Edificações – Etec Professor Massuyuki Kawano).
- Fernandes, C.E.; Sousa, A.R.; Oliveira, R.Q.; Silva, V.A. (2024). Reaproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7 (2), 1-8, ISSN: 2595-573X.
- Ferreira, A.L.; Santos, C.S.N.; Santos, T.M. (2023). *Reutilização de água pluvial em residência unifamiliar: um estudo de caso em Salvador/BA*. (Trabalho de Conclusão de Curso em Curso Técnico Integrado de Edificações – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Bahia).
- Figueiredo, C. S. (2020). *Desenvolvimento de tapetes de vegetação com espécies autóctones com potencial para instalação em coberturas verdes*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrónómica). Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa.
- FLL, <https://www.fll.de/die-fll/>. Acesso em: 15 abr. 2024.
- Florença, G. de. (2019). *A Torre Guinigi, um jardim pensil em Lucca*, <https://guiaflorenca.net/lucca/a-torre-guinigi-de-lucca/>.

- Franco, B.P.; Lacerda, F.C.R. (2020). *A aplicação de métodos sustentáveis na construção civil: um estudo sobre a captação e reaproveitamento de água das chuvas através da cobertura verde* (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Faculdade ALFAUNIPAC – Teófilo Otoni).
- Franco, R.P. (2020). *Captando consciência: uma proposta de um sistema piloto de aproveitamento de água de chuva* (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina).
- Frazão, P.G.G. (2018). *Avaliação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios com cobertura verde* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade de Lisboa).
- Freire, T. E. M. (2021). *Integração de painel solar fotovoltaico à cobertura verde: uma visão geral*. (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência e Tecnologia). Repositório Institucional da UFRSA.
- Gaitán, M.C.P. & Teixeira, B.A.N. (2020). Aproveitamento de água pluvial e sua relação com ações de conservação de água: estudo de caso em hospital universitário - São Carlos. *Eng Sanit Ambient.* 25 (1), 1-12.
- Gnadlinger, J. (2015). Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: aspectos históricos, biofísicos, técnicos, econômicos e sociopolíticos. *Captação, Manejo e Uso da Captação de Água de Chuva.* 3, 1-38.
- Godoy, A. (2020). *Patologias nas instalações hidrossanitárias de prédios residenciais: redes de água fria e água quente* (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul).
- Gomes, F. (2022). *Avaliação da evolução da vegetação nos telhados verdes da ETAR de Alcântara - contribuição para promover a conectividade ecológica em meio urbano*. (Tese de mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental). Repositório da Universidade de Lisboa.

- Gomes, M.A. (2023). *Reaproveitamento de água pluvial: um estudo de caso*. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- Grupo Plaenge, <https://www.grupoplaenge.com.br/esg/curitiba/>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- Guzmán-Sánchez, S.; Jato-Espino, D.; Lombillo, I.; Diaz-Sarachaga, J. M. (2018). Avaliação das contribuições de diferentes tipos de telhados planos para alcançar o desenvolvimento sustentável. *Building and Environment*, 141, 182–192.
- Instituto Cidade Jardim, <https://institutocidadejardim.wordpress.com/2014/08/20/hotel-produz-comida-no-telhado-e-economiza-mais-de-30-mil-dolares-por-ano/>. Acesso em: abr. 2024.
- Instituto Nacional de Estatística (INE), <https://www.ine.pt/>. Acesso em: jan. 2025.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), <https://www.ipma.pt/pt/index.html>. Acesso em: jan. 2025.
- Júnior, A.H.D. (2021). *Sistemas de captação alternativos e aproveitamento de águas pluviais*. (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA).
- Júnior, O. do CS (2022). Benefícios do reuso de água pluvial em edificações residenciais / Benefícios do reuso de água pluvial em edifícios residenciais. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 8 (2), 15435–15456.
- Kakoulas, D. A.; Golfinopoulos, S. K.; Koumparou, D.; Alexakis, D. E. (2022). The effectiveness of rainwater harvesting infrastructure in a Mediterranean island. *Water*, 14(5), 716.
- Kim, D.G.; Grieco, E.; Bombelli, A. et al. (2021). Challenges and opportunities for enhancing food security and greenhouse gas mitigation in smallholder farming in sub-Saharan Africa. A review. *Food Security*. 13, 457–476
- Langemeyer, J.; Wedgwood, D.; McPhearson, T.; Baró, T.; Madsen, A.L.; Narton, D.N. (2020). Creating urban green infrastructure where it is needed – A spatial ecosystem

- service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. *Science of the Total Environment*, 707, p. 135487.
- Latif, S.; Alim, M.A.; Rahman, A.; Haque, M.M. (2023). A Review on Chlorination of Harvested Rainwater. *Water*, 15(15), 2816.
- Lázaro, P.H.B. (2020). *Avaliação de qualidade de água de chuvas de telhados verdes para usos não potáveis* (Dissertação de Mestrado em Tecnologia, na Área de Ambiente – Universidade Estadual de Campinas).
- Li, W. C., & Yeung, K. K. A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 127-134.
- Lima, L.E.A.; Cirqueira, N.V.M.; Oliveira, R.A.P. (2024). O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: uma revisão. *Revista Jurídica do Nordeste Mineiro*, 4, 1-16, ISSN 2675-4312.
- Marini, A. C. (2024). *Análise para o dimensionamento de um sistema de bombeamento para um poço artesiano* (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul).
- Monteiro, M.M.M.; Mortari, L.; Barbosa, R.V.C.; Nolasco, G.C. (2021). Avaliações experimentais de sistemas fotovoltaicos integrados às coberturas vegetadas: breve revisão sistemática da literatura recente. *Congresso Araguaense de Ciências Exata, Tecnológica e Social Aplicada*. 1-15.
- Morais, T. (2019). *Avaliação do potencial de eficiência hídrica num edifício público da cidade de Bragança: o caso do Centro Escolar da Sé* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).
- Nações Unidas. (2014). *Perspectivas de urbanização mundial: A revisão de 2014 (Destaques)*. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. Nova Iorque: Nações Unidas. ISBN 978-92-1-151517-6.

- Nações Unidas. (2019). *World urbanization prospects: The 2018 revision* (ST/ESA/SER.A/420). Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, Divisão de População. Nova Iorque: Nações Unidas. ISBN 978-92-1-148319-2.
- Neto, E.G.C.; Almeida, A.K; Leite, I.R; Guarienti, J.A.; Almeida, I.K.A. (2021). Telhado verde: alternativa sustentável para a drenagem do escoamento superficial. *Mix Sustentável*. 7 (2), 125-136.
- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, <https://ods.pt/>. Acesso em: fev. 2025.
- Oliveira, T.A. F. (2008). *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa).
- Oliveira, W.N.M.; De Rezende, R.G.; Pizzo, H.S. (2021). Telhados verdes e drenagem urbana. *Revistas Artigos.Com*, 25, e6127.
- ONU-Habitat. (2022). *ONU-Habitat: População mundial será 68% urbana até 2050*. Nações Unidas Brasil. <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>. Acesso em: abr. 2024.
- ONU-Habitat. (2024). *World Cities Report 2024*. United Nations Human Settlements Programme. [https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/11/wcr2024\\_-\\_full\\_report.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/11/wcr2024_-_full_report.pdf). Acesso em: abr. 2024.
- Pacheco, G.C.R.; Alves, C.M.A. (2021). Impactos dos critérios de dimensionamento de reservatórios no comportamento dos sistemas de aproveitamento de água pluvial. *XIV Simpósio Nacional de Sistemas Prediais (SISPRED 2021)*. 164-170.
- Parolin, G.M. (2022). *Projeto de captação de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Engenheiro Beltrão – PR* (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

- Patrzyk, A.G. (2023). *Estudo de viabilidade econômica: implantação de sistema de aproveitamento de água da chuva na nova sede do Ministério Público do Espírito Santo* (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Pearlmutter, D.; Theochari, D.; Nehls, T., Pinho, P.; Piro, P.; Korolova, A.; Papaefthimiou, S.; Mateo, M. C. G.; Calheiros, C.; Zluwa, I. (2019). Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: Green building materials, systems and sites. *Blue-Green Systems*, 2(1), 46-72.
- Pimentel-Rodrigues, C., & Silva-Afonso, A. (2019). Contributions of water-related building installations to urban strategies for mitigation and adaptation to face climate change. *Applied Sciences*, 9(17), 3575.
- Pinto, C.A.S. (2018). *Coberturas verdes como biosistemas tecnológicos para espaços urbanos – estudo de caso e estudos à escala laboratorial* (Dissertação de Mestrado em Biologia Molecular, Biotecnologia e Bioempreendedorismo em Plantas – Universidade do Minho).
- Pinto, M. (2022). *Medidas para potenciar o uso eficiente da água em Bragança: o caso do Mercado Municipal* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).
- Poim, M.G.O.M. (2022). *Reutilização de Águas Pluviais em Redes Prediais – Casos de Estudo na Região Autónoma dos Açores* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade de Lisboa).
- Portal Governo de Portugal, <https://www.gov.pt/>. Acesso em: jan. 2025.
- Queiroz, M. T. F. C. (2021). *Reuso de água no contexto da agricultura familiar do Semiárido Brasileiro: Uma revisão bibliográfica* (Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano).
- Raimondi, A.; Quinn, R.; Abhijith, G.R.; Becciu, G.; Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*, 15(8), 1518.

- Ravelo-García, A.; Castañon-Bautista, M.C.; Pitones-Rubio, J.A. (2023). Rainwater Harvesting at Universities. Case study: Valle de las Palmas. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability (REB&S)*, Vol. 5, No. 2,1-11.
- Rodrigues, M. S. (2020). *Water Sensitive Urban Design para a criação de uma Water Sensitive City: Caso de Estudo: Quarteira* (Dissertação de Mestrado, Universidade do Algarve).
- Rosas, D.F.; Faria, A.A.; Oliveira, F.G.; Gondim, F.R. (2024). Análise do potencial de aproveitamento da água de chuva para uso doméstico em sistemas individuais localizados no município de Maricá-RJ. *Revista Caderno Pedagógico*. 21 (4), 01-28. ISSN: 1983-0882.
- Santa Brígida, <https://santabrigida.com.br/responsabilidade-ambiental/>. Acesso em: abr. 2024.
- Santos, P.S.; Sant’ana, D.; Ramos, S.R (2020). Uso racional de água: análise do potencial de redução do consumo em escolas públicas. *Eco Urbano, Fundación. Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles* (EUROelecs 2019), 3.
- Santos, V.C. (2021). *Avaliação de sistema de aproveitamento de águas pluviais de telhado via simulação contínua com dados subdiários*. (Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento – Universidade Federal de Alagoas).
- Schulze, M. (2020). *Avaliação do potencial de eficiência hídrica num pavilhão industrial: soluções de dimensionamento de reservatório para aproveitamento de águas pluviais* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).
- Silva, A. B. C.; Najjar, M. K.; Hammad, A. W. A.; Haddad, A.; Vazquez, E. (2019). Assessing the retention capacity of an experimental green roof prototype. *Water*, 12(1), 90.
- Silva, A.A.B. (2023). *Aproveitamento de águas pluviais: revisão sistemática* (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil - Universidade Federal de Sergipe).

- Silva, A.C.R.S.; Bimbato, A.M.; Balestieri, J.A.P.; Vilanova, M.R.N. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475, ISSN 2210-6707.
- Silva, F.; Calheiros, C.S.C.; Albuquerque, A., Lopes, J.P.; Antão-Geraldes, A.M. (2023). Technical and Financial Feasibility Analysis of Rainwater Harvesting Using Conventional or Green Roofs in an Industrial Building. *Sustainability*, 15, 12430.
- Silva, G. A.; Farias, H. M. (2020). *Análise de viabilidade econômica em projetos de construção civil* (Trabalho de Conclusão de Curso, Pontifícia Universidade Católica de Goiás).
- Silva, L. S.; Nascimento, I. A. S.; Carvalho, M. R.; Silva Neto, J. V.; Silva, E. A. (2021). A importância da água de reuso na agricultura e as considerações da vigilância sanitária sobre a prática sustentável. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 7(1), 13.
- Silva, M.B.M.; Lima, D.F.; Ribeiro, M.M.R. (2021). Governança de água e planejamento urbano: aproveitamento de água de chuva para construção de cidades mais resilientes. *Revista Gest. Água Am. Lat.*, Porto Alegre, 18, e18, 1-14, ISSN 2359-1919.
- Silva, M.; Najjar, M.K.; Hammad, A.W.; Haddad, A.; Vázquez, E. (2020). Avaliação da capacidade de retenção de um protótipo experimental de telhado verde. *Water*, 12, 90, 1-22.
- Silva, N.T. (2022). *Aproveitamento de água da chuva para utilização na lavagem de veículos no lava a jato da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia* (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia).
- Silva, S.S.; Lima, R.L.S.; Rocha, T.A.L.C.Z; Paiva, M.V.C.; Silva, J.R.L. (2024). Avaliação da literatura sobre as estratégias na captação das águas pluviais para fins não potáveis *Revista Macambira*, Serrinha (BA), 8 (1), e081012, ISSN:2594-4754.
- Smaniotto, V.T. (2022). *A importância da água para a existência da vida: estudo com alunos do 6º ano do ensino fundamental da escola municipal de ensino fundamental Ulisses*

*Guimarães em Riozinho/RS* (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência da Natureza, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

Stora, F.; Doliveira, S. L. D.; Gonzaga, C. A. M.; Massuga, F. (2022). Desafios da sustentabilidade: percepção e participação da comunidade escolar. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 17(3), 36-56.

Tabatabaee, S.; Mahdiyar, A.; Durdyev, S.; Mohandes, S. R.; Ismail, S. (2019). An assessment model of benefits, opportunities, costs, and risks of green roof installation: A multi-criteria decision making approach. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117956.

Torgal, F.P.; Granqvist, C.G. (2023). Adapting the Built Environment for Climate Change: Design Principles for Climate Emergencies. *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*. ISBN: 978-0-323-95337.

União Europeia. (2012). *Regulamento (UE) n° 244/2012 do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de março de 2012, relativo a medidas de execução do Regulamento (UE) n° 525/2013*. EUR-Lex.

Valle, G. (2022). *Influência das coberturas verdes no sistema público de drenagem de águas pluviais de um loteamento urbano* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).

Vale, P. L. (2019). *Estudo de viabilidade de eficiência hídrica no Centro Escolar de Santa Maria da Cidade de Bragança* (Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança).

Valente, J. C.C. (2019). *Telhados Verdes em Portugal – Perceção, Atitudes e Preferências Estéticas* (Dissertação de Mestrado em Arquitetura Paisagista – Universidade do Algarve).

Verdade, J. H. O. (2008). *Aproveitamento de água das chuvas e reutilização de águas cinzentas* (Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto).

Viação Santa Brígida, <https://santabrigida.com.br/>. Acesso em: 18 abr. 2024.

Villes, V. S.; Velho, J. P.; Christofari, L. F.; Lazzari, R. (2019). Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio. *Multitemas*, Campo Grande, v. 24, n. 57, p. 217-231.

Wiki Arquitectura, <https://pt.wikiarquitectura.com/>. Acesso em: 18 abr. 2024.

Xie, H.; Wu, Y.; dos Santos, S.M. (2025). Optimizing green roof rainwater harvesting systems: A modified selfish Herds algorithm approach. *Journal of Hydrology*, Volume 653, 2025, 132732, ISSN 0022-1694.

Zaid, S.; Zaid, L.M.; Esfandiari, M.; Abuhasan, Z.F. (2021). Manutenção de telhados verdes para edifícios não residenciais em clima tropical: estudo de caso de Kuala Lumpur. *Environment, Development and Sustainability*. 24:2471–2496

Zhang, G., & He, B. J. (2021). Towards green roof implementation: Drivers, motivations, barriers and recommendations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 58.

# Anexos

# Anexo I: Fichas técnicas das torneiras

|   |  |
|---|--|
|    | <h2>FICHA TÉCNICA</h2> <p>Torneira temporizada para lavatório Alfa<br/>Referência: ET009</p>  |
|  <p>Poupança Água até 48%</p> <p>DOCOL 5 l/s/m</p>    |  |
| <p><b>CARACTERÍSTICAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Temporização aproximada 6 segundos</li><li>- Perlador embutido que, além de garantir economia de água, é mais resistente ao vandalismo</li><li>- Classe de pressão: 0,2 a 4 bar</li><li>- Temperatura máxima da água: 40°C</li><li>- Acabamento cromado biníquel de alta resistência à corrosão, conservando a beleza do produto por muito mais tempo</li></ul> <p><b>CERTIFICAÇÃO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Classe A em termos de eficiência hídrica, em conformidade com as exigências do organismo ANQIP</li></ul>  |  |
| <p><b>DIMENSÕES (MM)</b></p>    |  |

FT\_ET009\_03.20 PT

A Erix reserva-se o direito de introduzir alterações técnicas que melhorem o desempenho e funcionalidade do produto a qualquer momento e sem aviso prévio.

## **Anexo II: Participações enquanto estudante de Dupla Diplomação IPB-UTFPR**

Chen, S. S. (2025, fevereiro). Conferências de Trás os Montes na Rota da Engenharia, Ordem dos Engenheiros Região Norte. 2025. Bragança. Participação.

Chen, S.S., Jabur, A.S., Antão-Geraldes, A.M. & Silva, F. *Implementação de Medidas de Eficiência Hídrica e Drenagem Sustentável em Edifícios Escolares: Impactos na Conservação dos Ecossistemas Costeiros*. Resumo submetido no XV Encontro da Rede BrasPor – Cultura oceânica – clima, sustentabilidade e gestão de recursos, 22 a 25 de Outubro, Porto (presencial e online).