U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2021/2022

SISTEMAS HÍBRIDOS DESCENTRALIZADOS DE ÁGUAS PLUVIAIS E CINZENTAS: OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO

ANA SOFIA SILVA FERREIRA

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Adrián Manuel Tavares da Silva (Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Orientador Académico: Professora Doutora Cristina Maria Monteiro dos Santos (Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Coorientador: Professor José Carlos Tentúgal Valente (Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Julho 2022

Ao meu avô Abel

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero prestar os meus sinceros agradecimentos à Professora Doutora Cristina Santos e ao Professor Doutor José Tentúgal Valente, pela oportunidade de realizar uma dissertação num tema que despertava o meu interesse. Obrigada por toda a ajuda incansável, disponibilidade, dedicação e pela partilha de conhecimento, não só durante a elaboração desta dissertação, mas durante o meu percurso académico.

À Ecodepur, na pessoa da Marisa Fernandes, pelos dados facultados.

À Rita Cristóvão, Sofia Maia, Cecília Sousa e Inês Gonçalves, pela partilha e amizade ao longo destes cinco anos.

Um obrigado especial à Oriana Sousa e à Ana Abreu, por todo o apoio e ajuda dada durante esta etapa da minha vida e por terem sempre uma palavra de motivação e conforto.

Aos meus pais, Abel Ferreira e Elisabete Gouveia, ao meu irmão, Daniel Ferreira e à Ana Alves, obrigada pela paciência, compreensão e motivação, sem eles a conclusão desta etapa não seria possível.

Resumo

O exponencial crescimento das populações e a intensificação dos fenómenos climáticos extremos, tem acentuado a problemática da escassez de água, sendo fundamental a implementação de medidas que levem a uma correta e sustentável gestão dos recursos hídricos. Deste modo, para solucionar este problema é fundamental reduzir o consumo de água e implementar alternativas ao abastecimento de água potável.

Os Sistemas Híbridos de Águas Pluviais e Cinzentas incluem o aproveitamento e a reutilização destas águas em edifícios, considerando a sua utilização para usos não potáveis como descargas de autoclismos, utilização em máquinas de lavagem de roupa, sistemas de irrigação, sistemas de climatização e sistemas de combate a incêndio.

A redução do consumo de água potável da rede pública, que resulta numa redução dos custos, e num uso mais sustentável da água, tem incentivado a implementação deste tipo de sistemas, essencialmente numa configuração independente em que se aproveitam águas pluviais ou se reutilizam águas cinzentas de forma isolada. Contudo, apesar das vantagens, estes sistemas acarretam custos que podem inviabilizar o projeto. Para tal é necessário otimizar o seu desempenho, implementando configurações que maximizem os seus benefícios e minimizem os respetivos custos.

No âmbito da presente dissertação, é proposto o estudo dos sistemas híbridos de águas pluviais e cinzentas, com o objetivo de perceber os principais fatores que influenciam o seu desempenho e como podem ser otimizados. Para isso, foi utilizada como ferramenta de cálculo o SAPRA, que permite o dimensionamento de sistemas híbridos e realiza uma análise económica e de desempenho. Para avaliação do desempenho do sistema híbrido foram definidos indicadores, avaliando o sistema sobre duas vertentes: Eficácia e Desempenho.

Foram considerados como casos de estudo, uma moradia, um edifício multifamiliar e o edifício H e B da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Em termos de eficácia relativamente ao “consumo de água não potável”, verificou-se que este valor é condicionado por dois fatores: os usos finais considerados da água não potável e o volume de reserva. Para a maioria dos cenários estudados para os diferentes casos de estudo, obteve-se valores de eficácia superior a 50%.

O melhor desempenho dos sistemas híbridos é alcançado quando o volume de água não potável aproveitada no edifício é maximizado, resultando numa maior poupança de água potável. Além disso, quanto maior a fração de água cinzenta reutilizada, menor o volume de águas residuais produzidas e enviadas diretamente para a rede de saneamento.

Palavras-chave: Sistemas Híbridos, Águas Pluviais, Águas Cinzentas, Desempenho, Eficácia.

Abstract

The exponential growth of populations and the intensification of extreme climatic phenomena has accentuated the problematic of water scarcity, making it essential to implement measures that lead to a correct and sustainable management of water resources. Thus, to solve this problem it is essential to reduce water consumption and implement alternatives to the supply of potable water.

The Hybrid Rainwater-Greywater System includes the utilization and reutilization of this water in buildings, considering their utilization for non-potable uses such as flushing toilets, washing machines, irrigation systems, air conditioning systems and fire-fighting systems.

The reduction in the consumption of potable water from the public network, which results in a cost reduction, and a more sustainable use of water, has encouraged the implementation of this type of systems, essentially in an independent way, where rainwater and greywater are used separately. However, despite the advantages, these systems entail costs that can make the project unfeasible. This requires a performance optimization, by implementing configuration that maximize the benefits and decrease costs.

Within the scope of this dissertation, the study of hybrid rain-greywater systems is proposed, with the aim of understanding the main factors that influence their performance and how can we improve them. For this purpose, SAPRA was used as a calculation tool, which allows the dimensioning of these systems and performs an economic and performance analysis. To evaluate hybrid system performance, indicators were defined, evaluating the system on two fronts: efficacy and performance.

A single family building, a multifamily one and two buildings of the Faculty of Engineering of the University of Porto were considered as case studies.

In terms of efficiency regarding “non-potable water consumption,” it has been verified that this value is conditioned by two factors: the considered end usages of non-potable water and the reserve volume. For most of the scenarios studied for the different case studies, efficacy values greater than 50% were obtained.

The best performance of hybrid systems is achieved when the volume of non-potable water used in the building is maximized, resulting in higher savings in potable water. In addition, the highest the fraction of greywater reusage, the smaller the volume of wastewater produced and sent directly to the sanitation network.

Keywords: Hybrid system, Rainwater, Greywater, Performance, Efficiency

Índice geral

Agradecimentos i

Resumo iii

Abstract v

Índice geral vii

Índice de Figuras ix

Índice de Tabelas xi

Simbologias e Abreviaturas xiii

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento do Tema 1

1.2 Âmbitos e Objetivos 2

1.3 Estrutura da Dissertação 2

2 Estado da Arte 5

2.1 Uso Eficiente da Água 5

2.2 Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais 8

2.3 Sistema de Reutilização de Águas Cinzentas 11

2.4 Sistema Híbrido Águas Pluviais e Cinzentas 13

2.5 Enquadramento Legal e Normativo 17

2.6 Síntese 18

3 Sistemas Híbridos de Águas Pluviais e Cinzentas 21

3.1 Configuração Geral 21

3.1.1 Recolha e Transporte 22

3.1.2 Tratamento 22

3.1.3 Reservatório 24

3.1.4 Distribuição 25

3.2 Qualidade Física e Química da Água 25

4 Metodologia 31

4.1 Ferramenta de cálculo - SAPRA 31

4.2 Casos de Estudo 33

4.2.1 Moradia Unifamiliar (Aveiro) 34

4.2.2 Edifício Multifamiliar (Porto) 35

4.2.3 Edifício de Serviços: Universidade (FEUP) 37

4.2.3.1 Edifício B 37

4.2.3.2 Edifício H 38

4.3 Avaliação do Sistema 39

5 Apresentação e Análise de Resultados 43

5.1 Resultados 43

5.2 Análise dos resultados 45

5.2.1 Moradia 45

5.2.2 Multifamiliar 47

5.2.3 Edifício B da FEUP 48

5.2.4 Edifício H da FEUP 49

6 Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros 51

6.1 Conclusões Gerais 51

6.2 Trabalhos Futuros 52

Bibliografia 55

Anexos 63

A. Dados de Base do SAPRA 65

B. Dados de Precipitação 69

C. Resultados obtidos no SAPRA e outros valores 73

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Projeções das alterações na frequência de secas meteorológicas para o período de 2040-2070 face aos valores de 1981-2010, na Europa, para dois cenários de mudança climática (Adaptado de AEA, 2021). 6
Figura 2.2 - Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para edifícios domésticos. (Adaptado de Bertolo, 2006)....8
Figura 2.3 - Filtro de águas pluviais. 1 – Entrada de águas pluviais a tratar; 2 – Pré Limpeza; 3 - Filtro; 4 – Saída de águas pluviais tratadas; 5 – Saída de Folhas e Detritos (Adaptado de Sturdy Products, 2022)....9
Figura 2.4 - Dispositivo para escoamento das primeiras águas pluviais captadas (Adaptado de Rain Harvesting, 2020). 10
Figura 2.5 - Esquema de um sistema de reutilização de águas cinzentas para edifícios domésticos (Adaptado de EOS Organização e Sistemas Ltda., 2021). 11
Figura 2.6 - Esquema do tratamento de águas cinzentas (Santos et al., 2012) 12
Figura 3.1 - Esquema de um sistema híbrido de águas pluviais e cinzentas para edifício doméstico. (Adaptado Zhang et al., 2021) 21
Figura 3.2 - Esquema de tratamento diferenciado para um sistema híbrido águas pluviais e cinzentas (Adaptado de Leong et al., 2018b). 23
Figura 3.3 - Esquema de tratamento combinado para sistemas híbridos águas-pluviais e cinzentas. (Adaptado de Leong et al., 2018a) 23
Figura 3.4 - Sinal de proibição "Água não potável". 25
Figura 4.1 - Planta do piso térreo da moradia em estudo (Legenda: Rede de águas pluviais – Circuito verde; Rede de águas cinzentas – Circuito azul). 34
Figura 4.2 - Reciclador de águas cinzentas - Ecodepur BIOX (Ecodepur, 2022a). 35
Figura 4.3 - Edifício Multifamiliar – Porto (Google Earth, 2022). 36
Figura 4.4 - Sistema de reutilização de águas cinzentas, ECODEPUR BIOX/SPRAC 11,2 (Ecodepur, 2022b). 36
Figura 4.5 - Faculdade Engenharia Universidade do Porto (FEUP) (Google Earth, 2022). 37
Figura 4.6 - Edifício B da FEUP e localização do reservatório. 38
Figura 4.7 - Edifício H da FEUP e localização do reservatório. 39
Figura B.1 - Comparação entre os dados mensais de precipitação recolhidos no SNIRH, com os satélites TRMM e GPM da NASA para o Porto. 70
Figura B.2 - Comparação entre os dados mensais de precipitação recolhidos no SNIRH, com os satélites TRMM e GPM da NASA para Ovar. 71

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Síntese dos resultados obtidos em estudos anteriores 16
Tabela 3.1 - Resultados da caracterização física e química das águas cinzentas obtida na literatura 27
Tabela 3.2 - Resultados da caracterização física e química das águas pluviais obtida na literatura 28
Tabela 4.1 - Cenário de usos finais da água não potável 34
Tabela 5.1 – Moradia - Resultados dos indicadores 43
Tabela 5.2 – Edifício Multifamiliar - Resultados dos indicadores 43
Tabela 5.3 - Edifício B da FEUP – Resultados dos indicadores 44
Tabela 5.4 - Edifício H da FEUP - Resultados dos indicadores 45
Tabela A.1 - Capitação e distribuição de consumos para edifícios unifamiliares 65
Tabela A.2 - Capitação e distribuição de consumos para edifícios multifamiliares 65
Tabela A.3 - Capitação e distribuição de consumos para edifícios de serviços 65
Tabela A.4 - Tipos de cobertura e coeficientes de escoamento (ANQIP, 2021) 66
Tabela A.5 - Tarifários para o Porto e Ovar 67
Tabela A.6 - Preços unitários de tubagens e acessórios de redes de abastecimento 68
Tabela A.7 - Preços unitários de tubagens e acessórios de redes de drenagem de águas residuais domésticas 68
Tabela A.8 - Preços unitários de tubagens e acessórios de redes de drenagem de águas pluviais 68
Tabela A.9 - Custo da construção do reservatório 68
Tabela C.1- Moradia: Resultados do SAPRA 73
Tabela C.2 - Edifício Multifamiliar: Resultados do SAPRA 73
Tabela C.3 – Edifício B da FEUP: Resultados do SAPRA 74
Tabela C.4 - Edifício H da FEUP: Resultados do SAPRA 74
Tabela C.5 - Outros Resultados para: Moradia, Edifício Multifamiliar, Edifício B da FEUP e Edifício H da FEUP 75

Simbologias e Abreviaturas

V_{AC}	[m^3/ano]	Volume médio de águas cinzentas reutilizadas.
$V_{AC\ Produzidas}$	[m^3/ano]	Volume total de águas cinzentas produzidas no edifício.
$V_{Água\ Pot\ nec}$	[m^3/ano]	Volume de água potável necessária.
V_{AP}	[m^3/ano]	Volume médio de águas pluviais aproveitadas.
$V_{AP\ Produzidas}$	[m^3/ano]	Volume total de águas pluviais produzidas no edifício.
V_{AR}	[m^3/ano]	Volume total de águas residuais produzidas.
V_C	[m^3/ano]	Volume médio de água consumida em usos não potáveis.
V_{Pot}	[m^3/ano]	Volume médio de água potável inserida no sistema
V_r	[m^3]	Volume do reservatório.

AC – Águas Cinzentas.

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida.

AEA – Agência Europeia do Ambiente.

ANP – Água Não Potável.

ANQIP – Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais.

AP – Águas Pluviais.

ApR – Água Para Reutilização.

AR – Águas Residuais.

AVAC - Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado.

CBO_5 – Carência Bioquímica de Oxigénio.

CCV – Custo do Ciclo de Vida.

CO_2 – Dióxido de Carbono.

COT – Carbono Orgânico Total.

CQO – Carência Química de Oxigénio.

EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres.

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos.

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais.

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

INE – Instituto Nacional de Estatística.

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

VBA – *Visual Basic for Applications*.

NASA – *National Aeronautics and Space Administration.*

PE – Polietileno.

PP – Polipropileno.

PR – Período de Retorno.

PSA – Plano de Segurança da Água.

PVC – Policloreto de Vinilo.

RPC 4.1 – *Representative Concentration Pathways* 4.1.

RCP 8.5 – *Representative Concentration Pathways* 8.5.

SAAP – Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais.

SAPRA – Dimensionamento e Análise de Sistemas de Aproveitamento e Reutilização de Águas em Edifícios.

SBR – *Sequencing Batch Reator.*

SHAPC – Sistemas Híbridos de Águas Pluviais e Cinzentas.

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.

SRAC – Sistemas de Reutilização de Águas Cinzentas.

SS – Sólidos Suspensos.

SST – Sólidos Suspensos Totais.

UFC – Unidade Formadora de Colónia.

WHO – *World Heath Organization*

1 Introdução

1.1 Enquadramento do Tema

A água é essencial a todas as formas de vida na terra. O aumento da necessidade de água impulsionado pelo crescimento exponencial da população global, desenvolvimento económico e as alterações climáticas tem contribuído para a crescente problemática da escassez de água urbana, tornando-se uma ameaça ao desenvolvimento sustentável (Falkenmark et al., 2007; Huang et al., 2021).

Portugal, devido às suas características geográficas e climatéricas, encontra-se entre os países europeus mais vulneráveis aos impactos das alterações climáticas. Estudos indicam que Portugal sofrerá com fenómenos meteorológicos extremos como cheias, ondas de calor e seca (Climate Change Knowledge, 2021). De forma a reduzir a extensão dos impactos associados a estes fenómenos, é necessário desenhar uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

A gestão sustentável da água tem como objetivo assegurar as necessidades das gerações atuais, sem comprometer a qualidade e quantidade dos recursos hídricos para as gerações futuras. Para tal, é fundamental reduzir o consumo de água potável através da instalação de equipamentos mais eficientes e da utilização de fontes alternativas (Santos et al., 2011).

A água potável abastecida às populações é água tratada e de qualidade controlada, sendo utilizada para diversas atividades no dia a dia, desde a confeção de alimentos, em duches e banheiras, lavagem de máquinas de roupa e lavatórios, contudo esta é também utilizada para fins menos nobres como descargas de autoclismos e mictórios. A utilização de águas com qualidade inferior neste tipo de usos, de forma segura e regulada, pode resultar numa diminuição significativa do volume de água potável consumida em meio urbano.

A utilização de Água Não Potável (ANP), surge, portanto, como solução para a otimização do uso de água em edifícios, através da sua utilização em atividades que não necessitem de água com elevada qualidade, como sejam descarga de sanitários, utilização em máquinas de lavar roupa e sistemas de irrigação (Chen et al., 2021; Ghisi & Mengotti de Oliveira, 2007). Estas ANP podem ainda ser utilizadas no setor industrial para sistemas de climatização, arrefecimento de telhados, equipamentos e máquinas, bem como em sistemas de combate a incêndio (Melo, 2014).

As Águas Pluviais (AP) e as Águas Cinzentas (AC) são os exemplos mais evidentes de ANP. Podem ser recolhidas, tratadas e transportadas em Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) e/ou Sistemas de Reutilização de Águas Cinzentas (SRAC). Ao nível dos edifícios,

estes sistemas classificam-se como descentralizados e permitem a captação e o tratamento destas águas na fonte, sem necessidade de transporte até longas distâncias, contrariamente aos sistemas centralizados (Leong et al., 2019). Geralmente, o SAAP e SRAC são instalados de forma independente, limitando o potencial de economia que podem proporcionar (Leong et al., 2018b).

Os Sistemas Híbridos de Águas Pluviais e Cinzentas (SHAPC) combinam o aproveitamento de águas pluviais e a reutilização das águas cinzentas. Nestes sistemas, as águas pluviais e cinzentas podem ser armazenadas no mesmo reservatório ou em reservatórios diferenciados, sendo depois sujeitas a um tratamento antes de serem utilizadas para os fins não potáveis pretendidos. Os sistemas híbridos podem ser uma alternativa potencialmente mais eficiente comparando com os sistemas independentes de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas, tirando partido das principais vantagens de cada um.

Surge assim a necessidade de estudar os sistemas híbridos, com o objetivo de otimizar o seu desempenho. Para avaliar as suas vantagens e benefícios face aos sistemas independentes e ao convencional, é necessário aprofundar o estudo dos diferentes aspetos que condicionam o seu desempenho em termos técnicos, económicos e ambientais.

1.2 Âmbitos e Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo contribuir para a melhoria de desempenho de sistemas híbridos descentralizados de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas, através da definição e otimização de indicadores de desempenho.

Para o estudo dos sistemas híbridos serão analisados casos de estudo com base real, nomeadamente uma moradia, um edifício multifamiliar e uma instituição de ensino superior. Para cada caso de estudo definido serão analisados diversos cenários de utilização de água, de forma a avaliar a influência destas alterações no desempenho destes sistemas.

1.3 Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se organizada em seis capítulos.

O primeiro capítulo consiste numa breve introdução e apresentação dos objetivos da dissertação.

O segundo capítulo é o estado da arte. Nesse capítulo são apresentados os sistemas de aproveitamento de águas pluviais, os de reutilização de águas cinzentas e os híbridos, com base em publicações feitas até à data. Realiza uma síntese dos resultados obtidos pelos diversos autores citados e efetua referência à legislação e às normas existentes neste domínio.

No terceiro capítulo procede a caracterização mais detalhada dos sistemas híbridos de águas pluviais e cinzentas e a caracterização física e química destas águas consultada na literatura.

O quarto capítulo apresenta os casos de estudo considerados neste trabalho, a ferramenta de cálculo utilizada e os indicadores de desempenho definidos.

O quinto capítulo consiste na apresentação e discussão de resultados obtidos para os diferentes casos de estudo e a comparação entre os cenários considerados.

O sexto capítulo, e capítulo final, descreve as principais conclusões retiradas na presente dissertação e enumera as recomendações e propostas de estudos futuros.

2 Estado da Arte

2.1 Uso Eficiente da Água

A água apresenta um papel fundamental e imprescindível para todas as formas de vida. Este recurso encontra-se em elevada quantidade no planeta, ainda que distribuída de forma desigual. O crescimento exponencial das populações, a urbanização, o aumento da poluição e os efeitos das alterações climáticas, exercem pressão sobre os recursos hídricos, conduzindo a situações de *stress* hídrico, provocando a deterioração deste recurso em termos de quantidade e qualidade (AEA, 2018).

As ações humanas como a desflorestação, a redução das áreas verdes e a urbanização, levam a um aumento da impermeabilização dos solos e consequentes impactos no ciclo da água. As alterações das características da cobertura natural do solo têm agravado a frequência e magnitude da ocorrência de cheias urbanas. Conduzindo a um aumento da carga poluente nas linhas de água e a descargas de emergência em Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR), agravando a disponibilidade de água para consumo (Padrão, 2016; Santos, 2012).

A ocorrência de cheias urbanas e fenómenos de seca, resultado das alterações climáticas, têm levado a um aumento da escassez de água em algumas regiões. As alterações climáticas são caracterizadas por um aumento da temperatura global e a ocorrência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas, incêndios e cheias (Karatayev et al., 2022). As secas meteorológicas para além de afetar os recursos hídricos e os ecossistemas, afetam o desenvolvimento socioeconómico e as vidas humanas (Yang et al., 2022).

Na Europa, a ocorrência de eventos climáticos extremos tem aumentado em intensidade e frequência, demostrando a vulnerabilidade e a impotência dos seres humanos e de todos os seres vivos aos efeitos das alterações climáticas (APA, 2015).

A Figura 2.1 apresenta as projeções das alterações na frequência de secas meteorológicas para o período de 2041-2070 face aos valores de 1981-2010 na Europa, considerando dois cenários, *Representative Concentration Pathways* 4.5 (RPC 4.5) e *Representative Concentration Pathways* 8.5 (RCP 8.5)[1]. O cenário RCP 4.5 considera um ligeiro aumento das emissões de Dióxido de Carbono (CO_2) até meio do século, seguido de um decréscimo e o cenário RCP 8.5

[1] Os RCP são previsões sobre a evolução das emissões de gases de efeito de estufa adotada pelo IPCC. Foram definidos quatro cenários RCPs (2.6,4.5, 6.0 e 8.5), sendo o RCP 8.5 o cenário mais pessimista e o RCP 4.5, intermédio.

estima, até ao meio do século um aumento das emissões de CO_2 até três vezes mais que o presente (Copernicus Climate Change Service, 2022).

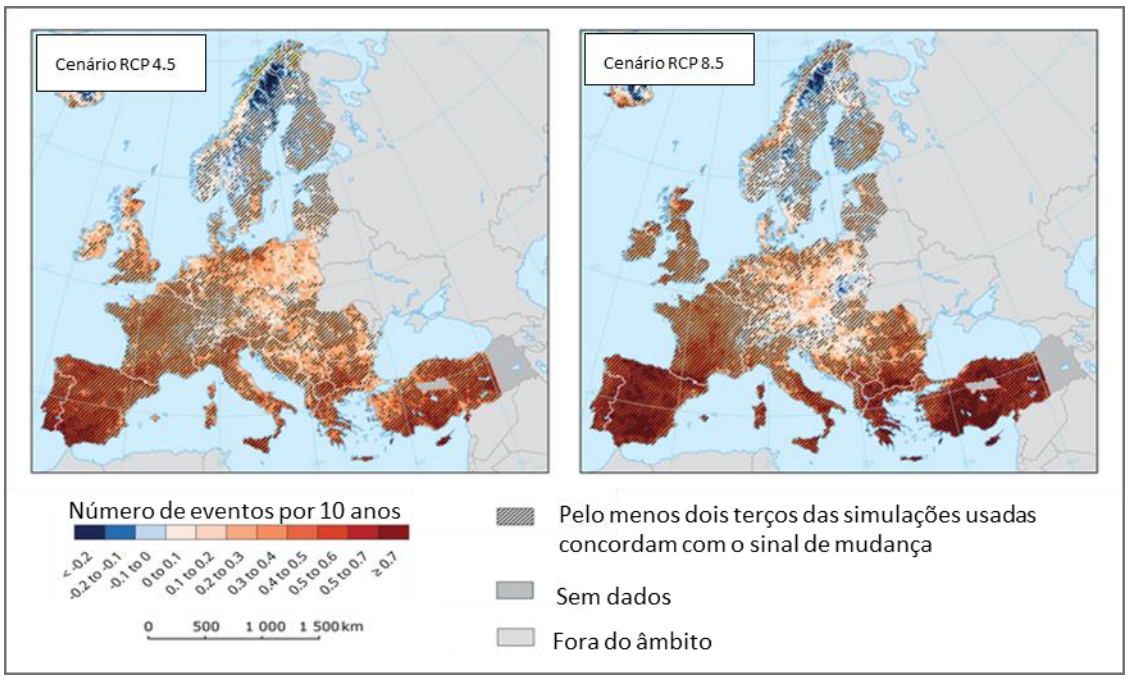


Figura 2.1 – Projeções das alterações na frequência de secas meteorológicas para o período de 2040-2070 face aos valores de 1981-2010, na Europa, para dois cenários de mudança climática (Adaptado de AEA, 2021).

As projeções sugerem um aumento da frequência das secas meteorológicas em toda a Europa, com exceção de áreas no centro-oeste e nordeste. Em ambos os cenários, os países do sul da Europa serão os mais afetados por períodos de seca, potenciando um aumento das situações de *stress* hídrico nessas regiões.

Portugal, sendo um dos países mais vulneráveis a sofrer os efeitos das alterações climáticas, como secas extremas, apresenta também maior vulnerabilidade a potenciais situações de *stress* hídrico, sendo cada vez mais urgente a necessidade de implementar medidas para o uso sustentável dos recursos hídricos. Para tal, é necessário reduzir o consumo de água, através da implementação de equipamentos mais eficientes, bem como procurar alternativas ao abastecimento de água potável.

De acordo com a Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), no ano de 2020 em Portugal, o consumo médio de água por habitante por dia foi de 186 L/(hab.dia), resultado da razão entre a água faturada no sistema em baixa e o número de habitantes com serviço efetivo (ERSAR, 2020). O setor agrícola é responsável por cerca de 75% do total de água utilizada no país, seguido do setor urbano com 20% (Dias & Correia, 2020).

No que diz respeito aos consumos urbanos, estes distribuem-se em consumos domésticos, industriais, de serviços (comércio) e outros (consumo público), sendo os consumos domésticos os maiores consumidores de água. O consumo doméstico em moradias e em edifícios multifamiliares, caracteriza-se por um uso da água no interior e na envolvente das habitações,

para atividades de higiene, preparação de alimentos e ingestão, rega de áreas verdes e lazer. Em edifícios comerciais, o consumo de água está relacionado com atividades de higiene e alimentação, sistema de Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado (AVAC), lavagens e rega (Almeida et al., 2006).

Todas estas atividades do dia a dia, resultam num elevado consumo de água potável. De acordo com a ETA 0701 (ANQIP, 2021), o consumo de água numa habitação para descarga de autoclismos é de 24 L/(habitante.dia) e num edifício de serviços de 12 L/(habitante.dia). Em outras atividades, como a lavagem de roupa, o consumo é de 10 L/(habitante.dia) e para rega de zonas verdes, os valores podem variam entre 1,5 e 7 L/m^2, dependendo do tipo de zona verde.

A água utilizada em algumas destas atividades, como descargas de autoclismos e rega, não necessita de elevada qualidade e pode ser substituída por águas pluviais e cinzentas tratadas, isto é, fontes de água não potável.

A água não potável é definida como a água que não cumpre os parâmetros de qualidade exigidos para consumo humano. As águas pluviais recolhidas nas coberturas e as águas cinzentas produzidas nos edifícios são classificadas como água não potável e podem ser recolhidas, tratadas e transportadas em sistemas descentralizados de aproveitamento e reutilização de águas não potáveis.

As águas pluviais e cinzentas podem ser utilizadas para a descarga em bacias de retrete, sistemas de irrigação, lavagem de pavimento e automóveis e lavagem de máquinas de lavar roupa, bem como no setor industrial para sistemas de climatização, arrefecimento de telhados, equipamentos e máquinas e sistemas de incêndio (Chen et al., 2021; Ghisi & Mengotti de Oliveira, 2007; Melo, 2014).

Em Portugal, de forma a cumprir os objetivos estratégicos de promoção da reutilização de água residual promovido pelo Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas, a CMPEAE – Empresa de Águas e Energia do Município do Porto, EM admite para reutilização as águas pluviais e cinzentas em edifícios prediais, para utilização na rega sem aspersão, combate a incêndio, sistemas de enchimento de autoclismos, sistemas de aquecimento/arrefecimento, lavagem de pavimentos e sistemas de lavagem de veículos (Águas do Porto, 2022a). Por sua vez, a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL), responsável pelo abastecimento de água em Lisboa fornece um guia de recomendações e boas práticas para sistemas de reutilização de água, considerando o aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas para redes de lavagem, sistemas de rega, redes de incêndio, descargas de autoclismos e lavagens de ruas e automóveis (EPAL, 2020).

Os sistemas descentralizados de aproveitamento de águas pluviais, sistema de reutilização de águas cinzentas e os sistemas híbridos, têm sido estudados e implementados em diversos edifícios, permitindo uma diminuição do consumo de água potável. A implementação destes sistemas pode resultar em benefícios ambientais, devido à economia de água potável e a

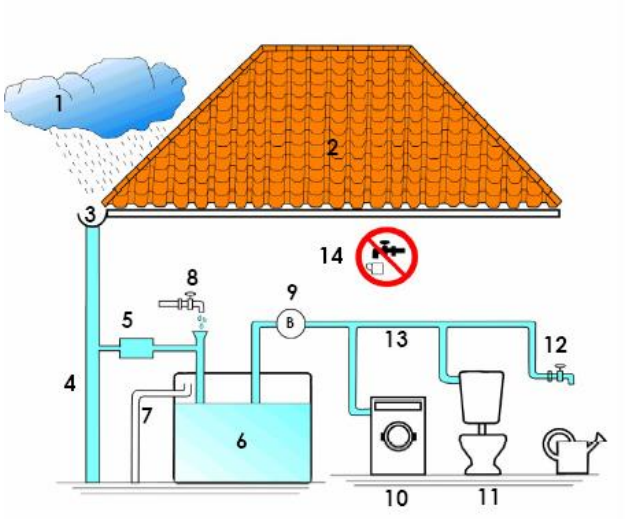
redução da quantidade de Águas Residuais (AR) encaminhadas para tratamento, e económico, refletida na redução na fatura de água.

Para avaliação de desempenho destes sistemas são usualmente utilizados indicadores de desempenho, de entre os quais se destacam: eficácia do sistema e o Período de Retorno (PR). A eficácia do sistema relativa ao consumo de água não potável, é a economia de água da rede para os usos não potáveis, obtida através da razão entre o volume de água não potável aproveitada e o volume de água não potável necessária. O período de retorno resulta da razão entre o investimento inicial e o custo de manutenção do sistema ao longo dos anos, pela poupança anual face ao sistema convencional.

Apesar dos benefícios ambientais e económicos destes sistemas, algum estigma em relação à segurança na utilização de águas cinzentas em edifícios, questões económicas e de viabilidade, apresentam-se como obstáculos à implementação generalizada destes sistemas (Santos et al., 2011). Deste modo, é necessário aprofundar o estudo neste domínio, analisando as vantagens ambientais e económicas, e quais os fatores que podem condicionar a viabilidade do projeto, procurando obter o melhor desempenho destes sistemas.

2.2 Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais

A água pluvial de escorrência é a água precipitada que não foi objeto de qualquer utilização suscetível de contaminação, recolhida nas coberturas dos edifícios (ANQIP, 2021). O sistema de aproveitamento de águas pluviais para edifícios domésticos encontra-se representado de forma simplificada na Figura 2.2. O SAAP possui como principais etapas: recolha de água, condução e tratamento, armazenamento e fornecimento para os usos finais (Rodrigues, 2010).



Legenda:

1 – Precipitação
2 – Superfície de recolha
3 – Caleiras
4 – Tubos de Queda
5 – Equipamento de autolimpeza
6 – Reservatório de armazenamento de águas pluviais
7 – Descarga de superfície
8 – Entrada de água potável
9 – Equipamento de bombagem
10 – Máquina de lavar roupa
11 – Descarga de autoclismo de bacia de retrete
12 – Torneira de utilização restrita para rega de jardim
13 – Tubo de distribuição de águas pluviais
14 – Sinalização de aviso de ANP

Figura 2.2 - Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para edifícios domésticos. (Adaptado de Bertolo, 2006)

A recolha das águas pluviais é efetuada nos telhados e terraços, sendo de evitar a recolha em vias de comunicação e locais sem restrição de acesso aos utilizadores, de modo a minimizar os riscos de contaminação. A quantidade de água recolhida depende da área de captação do

edifício e das características das superfícies em que se desenvolve o escoamento. Quanto maior for a área de captação, maior o volume de água recolhido, sendo que o coeficiente de escoamento (razão entre o volume de água escoada e o volume de água precipitada), depende das características das superfícies de recolha, quanto maior este valor maior o volume de água recolhido (Magalhães, 2013).

A qualidade das águas pluviais é, habitualmente, superior à qualidade da água subterrânea e superficial, uma vez que não entra em contacto direto com o solo ou com rochas (Santos, 2012). Contudo a sua qualidade está dependente dos materiais usados na construção do edifício e os resíduos que se vão depositando ao longo do tempo (Rodrigues, 2010), bem como da qualidade do ar atmosférico.

O tratamento de águas pluviais depende das características do local de captação ou dos usos finais pretendidos, sendo o objetivo principal a remoção de material grosseiro tal como folhas e detritos de aves (Valente Neves et al., 2006). Em Portugal, a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP) elaborou uma especificação técnica sobre sistemas de águas pluviais, definindo como tratamento a filtração destas águas antes do armazenamento e sedimentação e flutuação no reservatório. A instalação de filtros, como o apresentado na Figura 2.3, tem como objetivo remover os sedimentos e detritos de pequenas dimensões, evitando condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos e algas nos reservatórios (Rodrigues, 2010).



Figura 2.3 - Filtro de águas pluviais. 1 – Entrada de águas pluviais a tratar; 2 – Pré Limpeza; 3 - Filtro; 4 – Saída de águas pluviais tratadas; 5 – Saída de Folhas e Detritos (Adaptado de Sturdy Products, 2022)

O desvio das primeiras águas é recomendado, devendo para esse fim ser instalado um dispositivo para escoamento das primeiras águas pluviais captadas, apresentando na Figura 2.4 um exemplo deste dispositivo. Devem considerar-se tratamentos adicionais, como floculação e/ou desinfeção, quando a área de captação integra uma zona poluída (ANQIP, 2021).

Os SAAP, para além de reduzir o consumo de água potável, apresentam também um papel importante na minimização dos impactes das cheias urbanas. Contudo, a economia de água é limitada pelas áreas de cobertura e pela dependência das condições climáticas (Leong et al., 2018b).

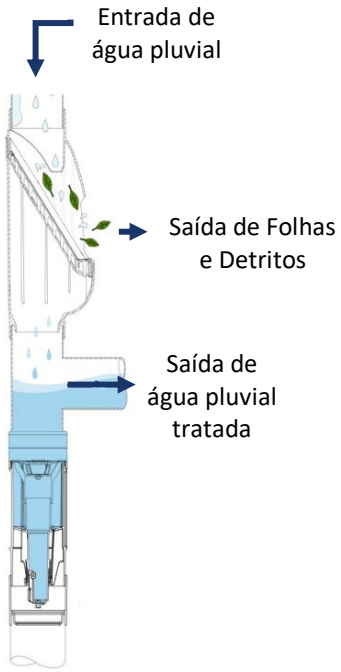


Figura 2.4 - Dispositivo para escoamento das primeiras águas pluviais captadas (Adaptado de Rain Harvesting, 2020).

Leong et al., (2018b) estudou o aproveitamento de águas pluviais em edifícios domésticos e comerciais na Malásia, caracterizado por um clima tropical com períodos de pluviosidade elevados durante todo o ano. Estes sistemas em edifícios domésticos fornecem mais de 90% da água não potável necessária para descargas de autoclismos, lavagem de roupa e irrigação e em edifícios comerciais fornecem menos de 43% da necessidade de água não potável para descarga de autoclismos e irrigação. Bertolo, (2006) estudou um SAAP num edifício doméstico unifamiliar de quatro pessoas em Portugal, obtendo uma eficácia relativa ao consumo de ANP de 86%, para os usos: descarga de autoclismos, máquina de lavagem de roupa e no tanque de lavar roupa.

Santos et al., (2011) propôs o estudo de dois casos em Portugal: uma moradia e um edifício comercial. Obteve para a moradia uma eficácia relativa ao consumo de água não potável de 49,9% para abastecimento a descargas de autoclismos, máquina de lavagem de roupa e rega dos jardins. No entanto o Período de Retorno (PR) tornava inviável a implementação deste sistema na moradia. Relativamente ao edifício comercial considerando o abastecimento de ANP para torres de arrefecimento, obteve uma eficácia de 10% e um período de retorno de 5 anos. O baixo valor de eficácia obtido para o edifício comercial é justificada pela pequena área da cobertura face aos elevados consumos de água. Os volumes de água necessários são de tal ordem que mesmo considerando toda a cobertura do edifício, não conseguem abastecer as necessidades dos consumos não potáveis.

Os valores de eficácia obtidos em estudos anteriores são favoráveis à implementação destes sistemas, contudo outros fatores têm de ser analisados como custo de investimento inicial e o período de retorno, para avaliar a viabilidade económica deste sistema. Nomeadamente, em edifícios domésticos, o baixo consumo de água não potável e o elevado custo de investimento,

pode levar à inviabilidade do projeto, assim para cada caso, para além da análise da eficácia do sistema e também necessário uma análise económica.

2.3 Sistema de Reutilização de Águas Cinzentas

As águas cinzentas são definidas como águas residuais domésticas que não contenham as águas negras, ou seja, são as águas provenientes de banheiras, chuveiros, lavatórios, lavagem de roupa e cozinhas. As águas cinzentas podem ser divididas em águas cinzentas-claras, proveniente de banheiras, chuveiros e lavatórios, e as águas cinzentas-escuras da lavagem de roupa e lavatórios de cozinha. As águas cinzentas-claras por apresentarem menor concentração de poluente são mais frequentemente consideradas para reutilização (ANQIP, 2011).

Os sistemas de reutilização de águas cinzentas, SRAC, promovem o tratamento destas águas e a sua reentrada no ciclo predial (Neves & Afonso, 2010). Na Figura 2.5 encontra-se representado de forma esquemática um exemplo de um SRAC para um edifício doméstico.

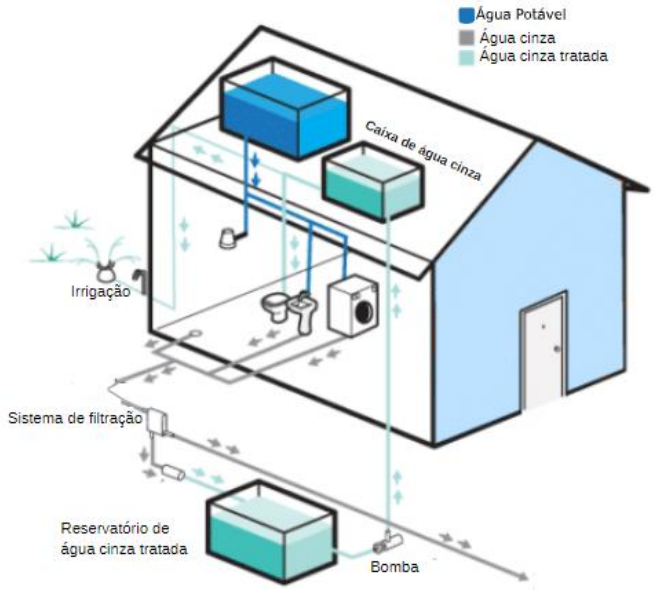


Figura 2.5 - Esquema de um sistema de reutilização de águas cinzentas para edifícios domésticos (Adaptado de EOS Organização e Sistemas Ltda., 2021).

Um SRAC, tal como um SAAP possui como etapas a recolha de água, condução e tratamento, armazenamento e fornecimento para os usos finais.

As águas cinzentas contrariamente às águas pluviais são geradas de forma consistente, mas estas apresentam qualidade inferior. Os principais elementos poluentes das águas cinzentas são os sabões, champôs, pasta dos dentes, cabelos, pele, e agentes de limpeza (Santos, 2012).

Diversos sistemas de tratamentos das águas cinzentas têm sido estudados recentemente. (Li et al., 2009) propõe para o tratamento de águas cinzentas-claras, um tratamento químico por coagulação e troca iónica, seguida de uma filtração por membrana ou filtração de areia para usos com requisitos menos rigorosos. No entanto, a coagulação tem como consequência o encargo com os reagentes a fornecer aos sistemas e a formação de lamas químicas.

Foi também proposto por Santos et al., (2012) o tratamento de águas cinzentas através de um sistema de filtração e desinfeção por UV (Figura 2.6). Através de uma análise experimental, concluíram que esta unidade de tratamento permite alcançar bons resultados no tratamento das águas cinzentas, contudo, verificaram uma menor redução de Sólidos Suspensos (SS) e Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO). Assim, é recomendado a adição de coagulantes no tanque de armazenamento para remoção da CBO dissolvida e coloidal.

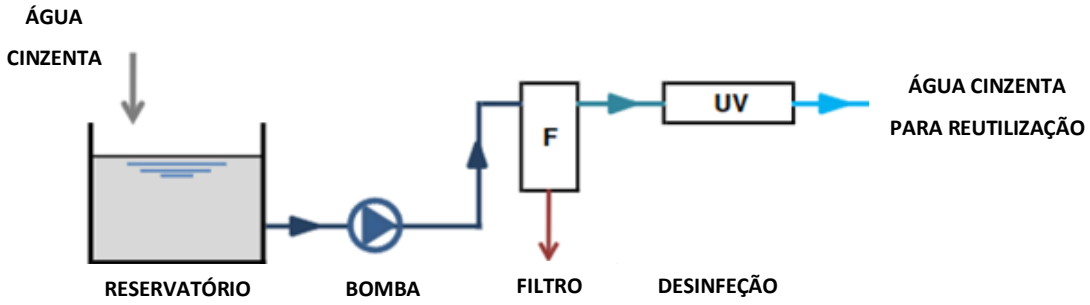


Figura 2.6 - Esquema do tratamento de águas cinzentas (Santos et al., 2012)

Ghisi & Mengotti de Oliveira, (2007) obtiveram uma eficácia relativa ao consumo de água não potável entre 25,6-30,4% em edifícios domésticos para descargas de autoclismos e lavagem em máquinas de roupa. Santos et al., (2011) obteve para um edifício doméstico multifamiliar uma eficácia de 100% para descargas de autoclismos e lavagem dos espaços comuns, contudo o período de retorno foi de 40 anos, devido ao elevado custo para o tratamento das águas cinzentas.

No estudo realizado por Leong et al., (2018b) verificaram que as águas cinzentas recolhidas no edifício permitiam um abastecimento de 36,2% do total de água potável em edifícios comerciais e 92,1% em edifícios habitacionais, considerando o consumo para irrigação e descarga de autoclismos. Os resultados indicam que a reutilização de águas cinzentas em edifícios é benéfica em termos de economia de água potável, sendo mais pronunciada em edifícios domésticos, pois as águas cinzentas geradas nestes provém de lavatórios, chuveiros e/ou banheiras e máquinas de lavar, enquanto que em edifícios comerciais geralmente apenas são utilizadas as águas provenientes dos lavatórios. Assim, quanto maior a quantidade de águas cinzentas recolhida maior a economia de água no edifício.

Os SRAC geram de forma consistente águas cinzentas durante todo o ano e são independentes do clima, sendo a economia de água dependente da ocupação do edifício e dos hábitos dos consumidores. Contudo, a implementação destes sistemas em larga escala é condicionada pela má perceção pública, em relação à qualidade das águas cinzentas. A reutilização de águas cinzentas, para além de reduzir o consumo de água potável, permite ainda uma redução significativa do volume de efluente a descarregar na rede pública de saneamento (Leong et al., 2018a).

2.4 Sistema Híbrido Águas Pluviais e Cinzentas

Os Sistemas Híbridos de Águas Pluviais e Cinzentas (SHAPC) incluem o aproveitamento de águas pluviais e a reutilização de águas cinzentas, de forma integrada, num edifício. Em SHAPC a água não potável é gerada de forma consistente, permitindo obter maiores quantidades de água que SAAP e SRAC separadamente, pois contam com duas fontes distintas (Verdade, 2008). Além disso, estes sistemas permitem reduzir a dependência da economia de água não potável, da ocupação dos edifícios, da área de telhado e das condições climáticas (Leong et al., 2018b).

A economia de água obtida através da implementação de um sistema híbrido irá depender da tipologia do edifício, da necessidade de água não potável, da área da cobertura e das condições climáticas. A implementação destes sistemas em edifícios permitirá normalizar as variações na quantidade de águas pluviais recolhidas e melhorar a qualidade das águas cinzentas (Leong et al., 2018b).

A configuração de um sistema híbrido pode ser diversa, tendo em conta a localização do tratamento em relação ao(s) reservatório(s) e ao facto do armazenamento poder ser conjunto ou individual para cada tipo de água.

Nos últimos anos diversos autores tem estudado os sistemas híbridos em comparação com os sistemas de aproveitamento de águas pluviais e os sistemas de reutilização de águas cinzentas, de forma a avaliar a sua eficácia, bem como estudar os benefícios económicos e ambientais.

Ghisi & Mengotti de Oliveira, (2007) propuseram o estudo de um sistema de reutilização de águas cinzentas e aproveitamento de águas pluviais em edifícios residenciais no Brasil, considerando a utilização da água para descargas de autoclismos e máquinas de lavagem de roupa. Obtiveram uma economia de água potável entre 33,8 e 36,4% com um sistema híbrido, sendo estes valores ligeiramente superiores aos obtidos para o sistema de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas, nomeadamente 30,4 e 33,8% para SAAP e 33,6 e 35,5% para o SRAC.

Leong et al., (2018b) recorrendo a um modelo contínuo de balanço de massa da água para o sistema de águas cinzentas e ao RainTANK para o sistema de águas pluviais, modelo em Excel que simula o potencial de economia de água, estimaram o potencial de economia de água da rede de um sistema híbrido num edifício comercial. Verificaram que as águas pluviais e cinzentas recolhidas no edifício permitiam um abastecimento de 24,4 a 25,1% do total de água potável. As águas pluviais corresponderam a 3,5 a 4,0% do consumo total de água potável e as águas cinzentas 21,1%. Assim, em edifícios comerciais, os autores concluíram que deve ser priorizado a reutilização de águas cinzentas, colmatando posteriormente com as águas pluviais.

No estudo realizado por Santos et al., (2011) analisou-se a implementação de um sistema híbrido em duas tipologias de edifícios: um hotel e um edifício comercial. Para o caso do Hotel, considerando o abastecimento de ANP para descargas de autoclismos e para o sistema de rega, o período de retorno obtido foi de 14 anos, e uma eficácia de 43,7% do consumo dos usos não

potáveis, sendo 66% proveniente da reutilização de águas cinzentas e 34% do aproveitamento de águas pluviais. Relativamente ao edifício comercial, para os mesmos usos finais da água potável, a eficácia obtida foi de 45,7% e o período de retorno de 23 anos.

Chen et al., (2022) propôs o estudo de SAAP, SRAC e SHAPC em edifícios no Japão com consumos diários de água não potável estáveis e sazonais, através de um método de parâmetros adimensionais. Na configuração do sistema híbrido, as águas pluviais e cinzentas eram sujeitas a um tratamento diferenciado e armazenadas em reservatórios distintos. As águas cinzentas apenas eram consideradas para o abastecimento de água não potável para descargas de autoclismos, de forma a cumprir os requisitos de qualidade, e as restantes necessidades de ANP eram supridas com as águas pluviais recolhidas. Os autores concluíram que os sistemas híbridos tem uma forte adaptabilidade às variações sazonais de água no Japão, adaptando-se aos dois cenários de consumo de água não potável, estável e sazonal.

Outros estudos têm focado nos impactes ambientais e económicos destes sistemas. Leong et al., (2019) analisaram um sistema com abastecimento com água da rede, um sistema descentralizado de aproveitamento de águas pluviais, um sistema descentralizado de reutilização de águas cinzentas e um sistema híbrido de águas pluviais e cinzentas, de forma a avaliar e comparar os impactes ambientais e económicos em diferentes cenários de abastecimento de água para edifícios comerciais e domésticos. Nesta análise a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV) foram as ferramentas de apoio à tomada de decisão. Concluíram que para edifícios comerciais a melhor opção, que minimiza os impactes do ACV e maximiza o CCV, é um sistema híbrido de águas pluviais e cinzentas, obtendo uma eficácia relativa ao consumo de ANP de 55,3%, para descargas de autoclismos e rega. Para edifícios domésticos, no estudo, o SHAPC obteve eficácias de 100% considerando os mesmos usos finais que o edifício comercial. Contudo, a opção mais vantajosa, que apresenta menores impactes ambientais, é um sistema de aproveitamento de águas pluviais, obtendo uma eficácia de 95,3%.

Marinoski & Ghisi, (2019) avaliaram o desempenho de um sistema híbrido águas pluviais e cinzentas num edifício doméstico unifamiliar no Brasil através também da ACV, considerando o abastecimento de água não potável a descarga de autoclismos, rega, lavagem de máquinas de roupa e lavagem de piso. A eficácia relativa ao consumo de água não potável obtida foi de 41,9%. O potencial de redução da quantidade de água residual em sistemas híbridos foi de cerca de 40% comparando com o sistema convencional, e taxa de redução de utilização de energia de 36,1%. Relativamente à ACV, concluíram que para habitações domésticas, o sistema convencional apresenta mais impactes quando comparando com o sistema híbrido.

Estudos sobre sistemas híbridos são ainda limitados a edifícios domésticos e comerciais, focando sobretudo na economia de água potável e nos impactes ambientais. Alargando a aplicação destes sistemas a outras tipologias de edifícios, Ghafourian et al., (2022) propuseram a implementação deste sistema numa instalação ecoturística na Grécia, e avaliaram a viabilidade económica do projeto através do preço de sombra do custo-benefício do ciclo de vida. Esta ferramenta permite complementar o CCV avaliando o projeto não só numa vertente económica,

mas também ambiental e social. Considerados apenas os benefícios económicos, os autores verificaram que, a implementação do sistema híbrido não é economicamente viável, contudo quando considerado os benefícios ambientais e sociais do projeto, obtiveram um PR de cerca de 10 anos e valor atual líquido do projeto superior a 1, viabilizando, nesta perspetiva, a implementação do sistema.

Chen et al., (2021) estudaram um sistema híbrido num campus no Japão, que irá fornecer água não potável para abastecimento das torres de arrefecimento, irrigação, suplementos de reservatórios de água para arrefecimento e aquecimento, reservatórios de água contra incêndios e o abastecimento de água para sistemas de energia. Os resultados demonstraram uma variação do desempenho do sistema ao longo do ano, obtendo uma eficácia relativa ao consumo de ANP de 74,1% [variando entre 47,66% e 100%] e uma redução do consumo de eletricidade de cerca de 22%. Em termos económicos, os elevados custos de manutenção e o desperdício do excesso de água recuperada, são razões para a inviabilidade económica do sistema híbrido, não alcançando benefícios económicos dentro de um ciclo de vida de 15 anos. Este sistema apresentaria benefícios económicos elevados em regiões com tarifas de água elevadas, contudo, a redução dos custos de manutenção seria a melhor opção para melhor a viabilidade económica do sistema híbrido em edifícios públicos.

Na Tabela 2.1 apresenta-se um quadro síntese dos resultados obtidos nos estudos consultados, indicando a tipologia do edifício estudado, os usos finais da água não potável, o tratamento, o número de reservatórios e os indicadores de desempenho mais estudados.

Com base nos estudos indicados, os valores de eficácia relativa ao consumo de água não potável obtida através do sistema híbrido foram concordantes entre autores, rondado valores entre 35-45%, verificando, de uma forma geral, eficácias mais elevadas para edifícios comerciais comparativamente com edifícios domésticos. Relativamente ao período de retorno, os resultados obtidos nos estudos consultados são razoáveis, com exceção do resultado obtido para o edifício unifamiliar de 92 anos.

Tabela 2.1 - Síntese dos resultados obtidos em estudos anteriores

Autor	Tipo de edifício[2]	Usos Finais ANP	Tratamento		Reservatórios	Indicadores de desempenho	
			Águas Pluviais	Águas cinzentas		Eficácia do sistema relativa ao consumo de água não potável [3] (%)	Período de retorno (anos)
Ghisi & Mengotti de Oliveira (2007)	D [4]	Descargas de autoclismos, lavandaria	Filtro e sistemas naturais de tratamento		2 reservatórios de AP 2 reservatórios de AC	33,8 – 36,4 %	28 – 92 anos
Leong et al. (2018b)	C	Descargas de autoclismos, irrigação, lavandaria	*First Flush* [5]	Filtro multimédia, filtro de carvão ativado e etapa de desinfeção	2 reservatórios separados para AP e AC 1 reservatório para AP e AC após tratamento	24,4 – 25,1% [6]	-
Santos et al (2011)	S	Descargas autoclismo, irrigação	Sistema filtração e desinfeção	Sistema compacto	1 reservatório para AP antes do tratamento 1 reservatório para AP e AC após tratamento	43,7%	14 anos
	C	Descarga de autoclismo e urinóis, irrigação			1 reservatório para AP e AC após tratamento	45,7%	23 anos
Leong et al (2019)	C	Descargas de autoclismos, irrigação	Filtro areia, Filtro de carvão ativado e desinfeção com ozono		1 reservatório para as águas cinzentas antes do tratamento	55,3%	-
	D					100%	-
Marinoski & Ghisi (2019)	D [4]	Irrigação, lavagem de piso e veículos, lavandaria	*Fisrt flush* Desinfeção	Sistemas naturais de tratamento e desinfeção	2 reservatórios para AP e AC	41,9%	-
Ghafouriana et al (2022)	S	Descarga de autoclismo, irrigação	-	Sistemas naturais de tratamento e desinfeção com UV	2 tanques AP 2 tanques para AC, antes e depois do tratamento	-	10 anos [7]
Chen et al (2021)	S	Irrigação, rede de incêndio, torres de arrefecimento …	Filtro	Filtro, reator de membrana, injeção de ozono e de desinfeção	2 tanques antes e depois do tratamento para AP e AC	74,1%	-

[2] D – Doméstico; C – Comercial; S – Serviços

[3] Quociente entre o volume de água potável aproveitada e as necessidades de água não potável para os usos finais considerados

[4] Doméstico unifamiliar

[5] Dispositivo para escoamento das primeiras águas pluviais captadas

[6] Eficácia relativa à necessidade total de água potável

[7] Período de retorno considerando benefícios económicos, ambientais e sociais.

2.5 Enquadramento Legal e Normativo

A utilização de água não potável, de acordo como Decreto Regulamentar nº 23/95, artigo 86.˚, é permitida pela entidade gestora do serviço de distribuição, exclusivamente para lavagem de pavimentos, rega, combate a incêndios e fins industriais não alimentares, tendo sempre a salvaguarda da defesa da saúde pública. Segundo informações recolhidas junto da equipa que está a elaborar a revisão do regulamento geral dos sistemas prediais de distribuição de água e de drenagem, que alterará o atual Decreto Regulamentar nº23/95, os usos finais de água não potável em edifícios poderão ser alargados, com possibilidade de utilização destas águas, para além dos já referidos, em bacias de retrete e lavagens de máquinas de lavar roupa.

No novo regulamento serão definidas as condições de utilização de águas pluviais e de reutilização de águas cinzentas. Relativamente à utilização de águas pluviais, salienta-se que não devem ser consideradas superfícies de recolha que estejam em contacto periódico com fontes poluidoras, e que a rede de águas pluviais devem ser claramente identificadas e distinta das redes de abastecimento de água potável. A água tem de cumprir os valores recomendáveis para o uso final e na utilização de águas pluviais na lavagem de roupa, sem tratamento específico, devem ser utilizadas máquinas de lavagem apropriadas. Os sistemas prediais de aproveitamento devem obter uma certificação técnico-sanitária realizada pela entidade gestora ou por uma entidade independente com competência estatuária para o efeito.

Na reutilização de águas cinzentas serão considerados sistemas prediais de curto tempo de retenção e longo tempo de retenção. Os sistemas de curto tempo de retenção correspondem à utilização direta da água recolhida dos lavatórios para o enchimento do autoclismo da sanita, enquanto os sistemas de longo tempo de retenção, as águas cinzentas recolhidas são sujeita a um tratamento para posteriores utilizações. Assim, à semelhança dos sistemas de águas pluviais, as águas cinzentas devem cumprir os requisitos definidos para o uso final pretendido, devendo a rede ser claramente identificada, sendo também obrigatório uma certificação técnico-sanitária.

Atualmente, Portugal não dispõe de legislação específica sobre a qualidade da água para o aproveitamento de águas pluviais e/ou reutilização de águas cinzentas. O Decreto-Lei nº119/2019 é o documento legal onde se encontra estabelecido o regime jurídico de produção de Água Para Reutilização (ApR) resultantes de tratamentos de águas residuais, bem como a sua utilização. Este Decreto inclui as águas pluviais contaminadas nas águas residuais urbanas admitindo-as como ApR. Considerando que, as águas pluviais recolhidas nas coberturas dos edifícios apresentam um grau de contaminação menor, pode-se admitir como referência as disposições definidas neste documento. Relativamente às águas cinzentas, uma vez que estas são águas residuais, a legislação é aplicável no que aos sistemas descentralizados diz respeito.

No Decreto-Lei nº119/2019 são definidas as normas de qualidade da água conforme o uso final, nomeadamente rega, usos urbanos e paisagísticos e usos industriais. As normas de qualidade podem ser avaliadas pela Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5), Sólidos Suspensos

Totais (SST), Turvação (NTU), pH, azoto amoniacal, azoto total, fosforo total e parâmetro microbiológicos.

Para garantir a qualidade e segurança da ANP para os usos finais pretendidos, esta deve ser submetida a monitorização periódica de forma a garantir o cumprimento dos padrões estabelecidos pelas normas de qualidade. O Plano de Segurança da Água (PSA) permite verificar, acompanhar, monitorizar e propor medidas de controlo e ações corretivas para garantir que a água não potável abastecida cumpre os valores definidos pela legislação aplicável (WHO, 2021).

Em Portugal, a ANQIP desenvolveu as especificações técnicas ETA 0701 e ETA 0702 referentes a sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios, e as ETA 0905 e ETA 0906 para sistemas de reutilização de águas cinzentas. As ETA 0701 e ETA 0905 estabelecem os requisitos técnicos para a correta execução destes sistemas, definindo métodos de dimensionamento, bem como os tratamentos necessários para cada sistema. As ETA 0702 e ETA 0906 estabelecem as condições para a certificação dos sistemas, executados de acordo com a ETA 0701 e ETA 0905, respetivamente.

A nível europeu, foram concebidas duas normas, a EN 16941-1, referente a sistemas de utilização de águas pluviais e a EN 16941-2 para sistemas de reutilização de águas cinzentas.

A norma europeia para sistemas de utilização de águas pluviais específica os requisitos e recomendação para o projeto, dimensionamento, instalação e manutenção. Nessa norma são especificados os detalhes do projeto, desde a captação de água pluvial, o tratamento, o armazenamento, estabelecendo um método para a determinação do reservatório em função da economia de água, bem como o sistema de abastecimento de água potável suplementar (EN 16941-1, 2018).

A EN 16941-2:2021 para sistemas de reutilização de águas cinzentas específica os requisitos de projeto, dimensionamento, instalação manutenção do sistema com o objetivo de reutilização de águas cinzentas no local. Aplica-se preferencialmente às águas cinzentas para descargas de autoclismos, rega de jardins, lavandaria e fins de limpeza (EN 16941-2, 2021).

Estas normas europeias fornecem orientações para a implementação de sistemas descentralizado de aproveitamento de água pluvial e reutilização de águas cinzentas. Apesar de ainda não ter sido desenvolvida uma norma europeia para sistemas híbridos de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas, na norma europeia para sistemas de reutilização de águas cinzentas (EN 16941-2) no armazenamento é considerada a hipótese de armazenamento de águas cinzentas em conjunto com as águas pluviais. Assim, com base nas duas normas é possível obter as diretrizes para a implementação de sistemas híbridos.

2.6 Síntese

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas têm sido amplamente estudados na literatura, de forma a alcançar uma solução, que seja eficaz e economicamente atrativa, numa perspetiva de maior sustentabilidade.

Como já referido anteriormente, em termos de eficácia, os SAAP são condicionados pelas condições climáticas e pelas pequenas áreas da cobertura, e os SRAC essencialmente pelo tipo de ocupação do edifício. Os sistemas híbridos de águas pluviais e cinzentas beneficiam das vantagens de cada sistema, obtendo percentagens de economia de água para os usos não potáveis superiores aos SAAP e SRAC.

Na avaliação dos sistemas híbridos é recorrente a utilização de indicadores de desempenho que permitem de uma forma fácil e direta, avaliar a eficiência e a eficácia do sistema, permitindo a comparação entre diferentes sistemas e casos de estudo. Os principais indicadores de desempenho utilizados pelos diferentes autores foram: eficácia relativa ao consumo de água não potável, impactes ambientais, período de retorno e investimento inicial.

Em termos de eficácia relativa ao consumo de água não potável, para edifícios domésticos, nos artigos consultados obteve-se valores entre 33,8-100% e para edifícios comerciais entre 24,4-55,3%. Importa salientar que este resultado além de ser influenciado pelas condições climáticas da área em estudo, irá também depender dos usos finais de água não potável considerados.

Os estudos anteriores focam-se numa tipologia de edifício, usualmente doméstico ou comercial, e avaliam a economia de água para situações específicas. Contudo, estes valores podem variar conforme os locais de produção de águas cinzentas que são considerados, as áreas de cobertura, os usos finais da água, o tratamento selecionado e as condições climáticas da área em estudo. Além disso, questões sociais relacionadas com o uso das águas cinzentas em edifícios e questões económicas, especialmente para edifícios de menores dimensões como moradias, podem condicionar a implementação destes sistemas. Para garantir a viabilidade dos sistemas híbridos e assim fomentar a sua aplicação a larga escala, é fundamental perceber como o desempenho reportado pode ser melhorado.

Justifica-se, portanto, proceder à avaliação dos principais fatores que influenciam o desempenho dos sistemas híbridos descentralizados de águas pluviais e cinzentas aplicados a edifícios de diferentes tipologias.

De forma a alcançar os objetivos desta dissertação, serão analisados quatro casos de estudo de implementação de um sistema híbrido de águas pluviais e cinzentas, nomeadamente numa moradia unifamiliar em Esmoriz, num edifício multifamiliar no Porto e dois edifícios na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Para cada caso de estudo serão considerados diversos cenários, alterando os usos finais da água não potável e o volume do reservatório, de forma a estudar o impacto desses parâmetros na eficácia destes sistemas, procurando a melhor solução para cada tipologia de edifício em estudo.

3 Sistemas Híbridos de Águas Pluviais e Cinzentas

3.1 Configuração Geral

Os sistemas híbridos de águas pluviais e cinzentas (SHAPC) incluem o aproveitamento de águas pluviais e a reutilização de águas cinzentas, de forma integrada, num edifício. Na Figura 3.1 apresenta-se de forma simplificada o sistema híbrido.

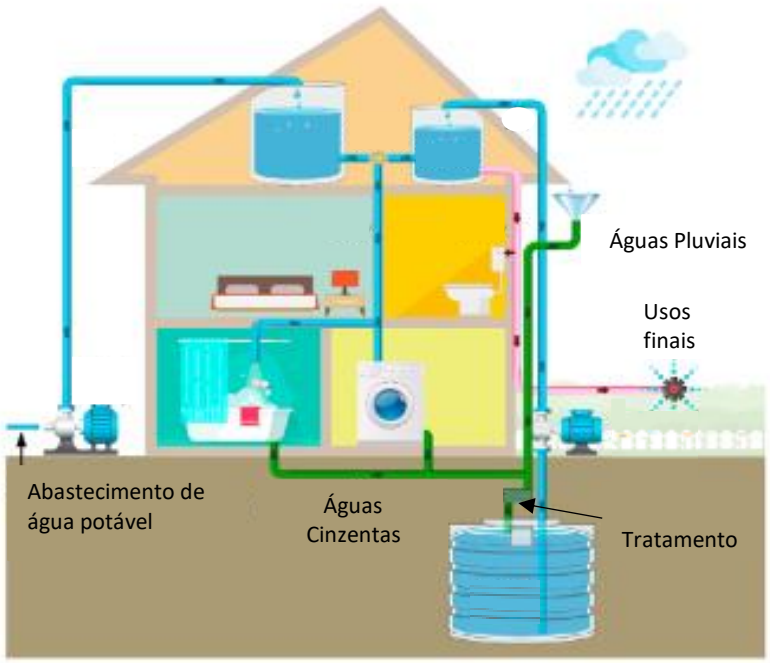


Figura 3.1 - Esquema de um sistema híbrido de águas pluviais e cinzentas para edifício doméstico. (Adaptado Zhang et al., 2021)

Os principais componentes dos sistemas híbridos são os sistemas de recolha e transporte das águas pluviais e cinzentas, o(s) tratamento(s), o(s) reservatório(s) e o sistema de distribuição da água não potável para os usos finais. Os sistemas híbridos usualmente apresentam duas configurações possíveis, as águas cinzentas e pluviais são recolhidas e sujeitas a tratamento diferenciado, antes de armazenadas no(s) reservatório(s) ou estas são recolhidas e tratadas na mesma unidade de tratamento.

3.1.1 Recolha e Transporte

A recolha das águas pluviais e das águas cinzentas nos sistemas híbridos procede-se de forma idêntica aos SAAP e SRAC, respetivamente.

As águas pluviais são recolhidas nos telhados e terraços. O ângulo de inclinação e o material da cobertura são fatores importantes para os sistemas de recolha de águas pluviais. Coberturas lisas e impermeáveis, como telha cerâmica e chapa metálica, apresentam um coeficiente de escoamento maior, permitindo obter um maior volume de água recolhida comparativamente a coberturas planas e ásperas e a coberturas verdes. Para além disso, o tipo de material presente na cobertura pode afetar negativamente a qualidade da água recolhida (EN 16941-1, 2018).

As águas cinzentas utilizadas em sistemas descentralizados são recolhidas em banheiras, chuveiros e lavatórios, também podem ser consideras as águas cinzentas provenientes de lavatórios de cozinha e máquinas de lavagem de roupa, apresentando estas uma carga poluente mais elevada, não sendo usualmente utilizadas neste tipo de sistemas. A tubagem de recolha das águas cinzentas deve ser diferenciada das águas residuais, de forma a evitar a sua contaminação (EN 16941-2, 2021).

As águas pluviais e cinzentas são encaminhadas até ao reservatório através de redes convencionais de drenagem constituídas por caleiras (para águas pluviais), ramais, tubos de queda, coletores e acessórios.

3.1.2 Tratamento

O tratamento em sistemas híbridos pode ser diferenciado para as duas tipologias de água ou em simultâneo na mesma unidade de tratamento. A seleção do tratamento implica uma caracterização física, química e microbiológica da água, de forma a quantificar a carga poluente da água a tratar.

O tratamento tem como principal objetivo garantir o cumprimento dos valores de referência para os usos finais da ANP, de forma a evitar os riscos para a saúde pública e adicionalmente a proteção dos componentes do sistema e redução da manutenção. A tipologia de tratamento selecionada é determinada pelas características do efluente e o uso final pretendido (Shaikh & Ahammed, 2020). Os tratamentos podem envolver processos biológicos, químicos ou físicos, bem como a combinação destes (EN 16941-1, 2018).

Como referido, num sistema híbrido, as águas podem ser submetidas a um tratamento diferenciado (Figura 3.2), ou em conjunto, unindo e armazenando as águas cinzentas e pluviais num reservatório antes do tratamento (Figura 3.3).

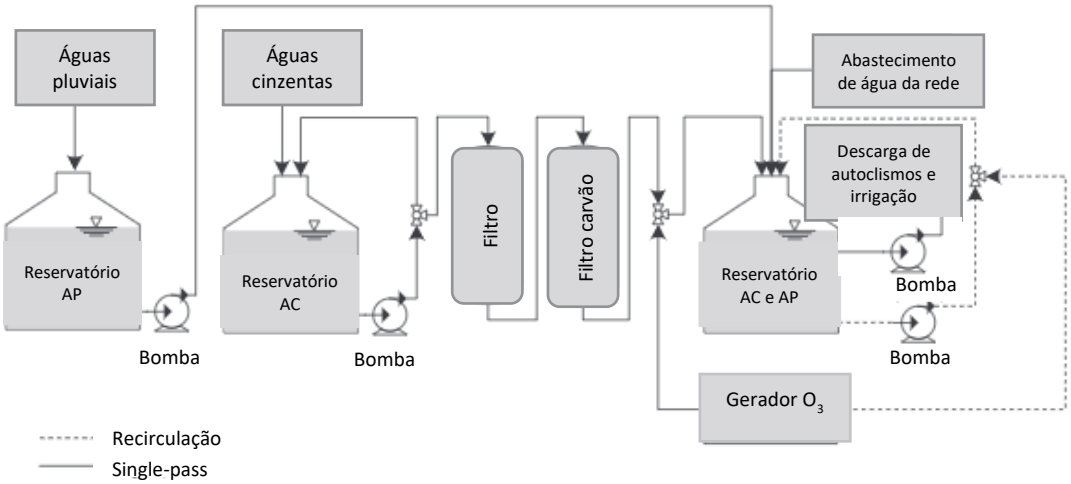


Figura 3.2 - Esquema de tratamento diferenciado para um sistema híbrido águas pluviais e cinzentas (Adaptado de Leong et al., 2018b).

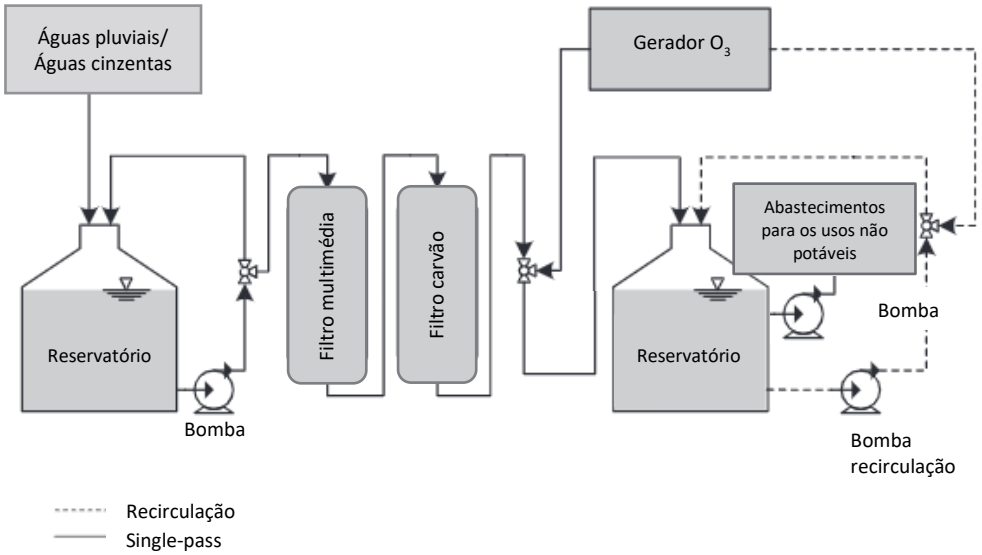


Figura 3.3 - Esquema de tratamento combinado para sistemas híbridos águas-pluviais e cinzentas. (Adaptado de Leong et al., 2018a).

Num sistema com tratamento diferenciado, as águas pluviais são armazenadas num reservatório e as águas cinzentas recolhidas são sujeitas a tratamento. As águas pluviais não tratadas, as águas cinzentas tratadas e a água potável da rede são reunidas num outro reservatório para abastecimento aos usos não potáveis definidos, no qual pode-se adicionar um sistema de desinfeção adicional.

Em contrapartida, num sistema híbrido de tratamento conjunto, as águas pluviais e cinzentas são armazenadas no mesmo reservatório e toda essa água é sujeita a tratamento, que inclui duas etapas de filtração e uma de desinfeção.

Os sistemas híbridos que combinam as águas pluviais e cinzentas num único tanque antes do tratamento devem simultaneamente remover elevadas concentrações de compostos orgânico provenientes das águas cinzentas e outros elementos (por exemplo metais pesados) presentes nas águas pluviais. A principal vantagem da combinação de ambas as águas anteriormente ao tratamento é a neutralização da acidez das águas pluviais pelas águas cinzentas, que reduz as taxas de corrosão. Contudo as elevadas concentrações de patogénicos na combinação destes dois tipos de água pode resultar numa maior necessidade de desinfetante e, consequentemente, maiores custos operacionais (Leong et al., 2017).

Independentemente do tratamento selecionado e se as águas pluviais e cinzentas são tratadas em simultâneo ou através de sistemas discriminados, a água tratada deve cumprir os valores definidos para os usos finais pretendidos, garantindo a segurança do uso da água não potável, em concordância com as especificações legais e normativas em vigor.

3.1.3 Reservatório

O reservatório tem como finalidade o armazenamento da água recolhida, assegurando a qualidade desta e a proteção contra riscos de deterioração. Adicionalmente, o armazenamento das águas pluviais e cinzentas permite a sedimentação e floculação de partículas pequenas. O material utilizado na construção do reservatório não deve provocar efeitos negativos na qualidade da água armazenada, sendo usualmente utilizados como materiais na construção dos reservatórios betão, aço, Policloreto de Vinilo (PVC), Polietileno (PE) e Polipropileno (PP) (EN 16941-1, 2018).

Os reservatórios devem ser resistentes e estanques, e estar protegidos contra geadas, temperaturas extremas e luz solar direta. Estes devem ser situados o mais próximo possível do centro de gravidade dos locais de consumo, a uma cota que assegure o cumprimento das pressões mínimas em toda a rede (Decreto-Lei nº119/2019 da Presidência do Conselho de Ministros, 2019; EN 16941-1, 2018)

Os reservatórios devem dispor de descarga de superfície e de fundo, ativadas quando o reservatório atingir o máximo de água possível de armazenar ou quando for necessário proceder à limpeza do mesmo. Os cantos dos reservatórios devem ser arredondados de forma a facilitar a manutenção e evitar o desenvolvimento de biofilmes, e devem ser instalados no reservatório dispositivos que reduzam a turbulência através da diminuição da velocidade de entrada de água, que deve preferencialmente ser ascendente (ANQIP, 2021).

O dimensionamento do reservatório é um dos fatores críticos nos sistemas de aproveitamento e reutilização de águas não potáveis, sendo geralmente o órgão mais dispendioso do sistema (Santos & Taveira-Pinto, 2013). A eficácia do sistema é tanto maior quando maior for a capacidade do reservatório. No entanto, é de salientar que o volume do reservatório pode ser limitado pela área disponível no edifício para a sua implementação e o investimento inicial para a construção deste (Silva et al., 2015; Valente Neves et al., 2006).

Para além disso, devem ser considerados no dimensionamento dos reservatórios períodos máximos de reserva de água, de forma a evitar a deterioração desta. Para as águas pluviais o período de reserva de água deve ser entre 20 e 30 dias (ANQIP, 2021). Para as águas cinzentas, o período de armazenamento será menor, de forma a evitar a proliferação de bactérias.

O dimensionamento dos reservatórios implica a determinação do volume de reserva e do número de reservatórios. O número de reservatórios necessários irá depender da configuração selecionado para o sistema híbrido.

3.1.4 Distribuição

A rede de distribuição de ANP para o abastecimento aos usos finais pode ser gravítica ou em situações em que o(s) reservatório(s) não estejam colocados a uma altura que permita o abastecimento de ANP dessa forma, deve ser instalado um grupo de bombagem (EN 16941-2, 2021).

Os sistemas descentralizados devem incorporar um sistema de abastecimento de água potável a ativar quando a água não potável não for suficiente, sendo recomendado um sistema que faça a gestão e comutação das fontes de abastecimento, de forma automática e segura (ANQIP, 2021).

As redes de águas não potáveis, bem como os respetivos dispositivos e os pontos de uso, devem ser sinalizados de forma a evitar o consumo acidental ou a conexão cruzada (Decreto-Lei nº 119/2019 da Presidência do Conselho de Ministros, 2019). É recomendado a incorporação de manípulos amovíveis em torneiras e colocação de um sinal de proibição, conforme apresentado na Figura 3.4 ou identificado com as palavras “Água Não Potável”. A diferenciação da rede de transporte de ANP deve ser também realizada, através da marcação com fita adesiva de cor púrpura (ANQIP, 2021; EN 16941-2, 2021).



Figura 3.4 - Sinal de proibição "Água não potável".

3.2 Qualidade Física e Química da Água

Como referido no Capítulo 2.5, as águas não potáveis devem cumprir os valores definidos pela legislação aplicável (Decreto-Lei nº119/2019), de forma a garantir a segurança no seu uso.

A caracterização física e química das águas pluviais e cinzentas em bruto é crucial para a identificação dos componentes presentes nesta, de forma a selecionar o tratamento adequado, bem como avaliar o cumprimento dos requisitos legais. As águas pluviais e cinzentas provêm de duas fontes distintas, sendo a sua composição física e química diferente.

As características físicas e químicas das águas cinzentas variam amplamente conforme o tipo de edifício, dependendo do número, idade e género dos ocupantes, dos costumes e hábitos de vida dos habitantes, bem como dos usos de detergentes domésticos, produtos químicos e produtos de higiene pessoal (Shaikh & Ahammed, 2020). As características das águas pluviais dependem do material e respetivos estado das áreas de cobertura para recolha e pela qualidade do ar atmosférico.

Os valores para os parâmetros físicos e químicos obtidos por diversos autores para águas cinzentas e águas pluviais em bruto apresentam-se, respetivamente nas Tabela 3.1 e Tabela 3.2. Os parâmetros físicos e químicos analisados foram: pH, Turbidez, Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5), Carência Química de Oxigénio (CQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Carbono Orgânico Total (COT), Azoto amoniacal, Azoto total, Fosforo total, Ferro, Manganês e como parâmetros microbiológicos a Escherichia Coli (E. Coli) e Coliformes Totais.

Tabela 3.1 - Resultados da caracterização física e química das águas cinzentas obtida na literatura

Autores	(Santos, 2012)		(Leong et al., 2018a)		(Shaikh & Ahammed, 2020)	(Fountoulakis et al., 2016)		(Bani-Melhem & Smith, 2012)	
Local	Portugal		Malásia		- [8]	Grécia		Egipto	
Locais de produção	Chuveiros		Lavatórios de sanitários, chuveiros e/ou banheiras e descargas de máquinas de roupa		Chuveiros e/ou banheiras, lavatórios	Chuveiros e/ou banheiras, lavatórios e máquinas de roupa		Limpeza do edifício, lavatórios e lavatórios de cozinha	
	Média	Min-Max	Média	Min-Max	Min-Max	Média	Min-Max	Média	Min-Max
pH	6,9	6,6-7,1	6,7	6,2 – 7,2	4,90 – 8,53	7,1	6,2 – 7,8	7,6	5,2 – 10,2
Turbidez (NTU)	-	-	127,7	20,8 - 239,7	13 – 375	162	29 – 559	133	26 - 318
CBO_5 (mg L^{-1})	129	41-296	7,7	1,1 - 13,5	20 - 673	-	-	-	-
CQO (mg L^{-1})	197	167 - 247	27,8	16,0 – 42,5	23 - 1489	466	217 - 1461	463	40 - 1270
SST (mg L^{-1})	58	44-71	98,8	19,0 - 175,0	7 - 793	95	60 – 134	78	18 - 169
COT (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	-	-		
Azoto amoniacal (mg L^{-1})	8,6	5,8 – 13,6	2,6	0,4 - 4,2	-	-	-	11,3	6,6 – 12,8
Azoto total (mg L^{-1})	-	-	-	-	1,3 – 148,0	33	16 – 63	-	-
Fosforo total (mg L^{-1})	1,3	0,9-1,7	-	-	0,1 – 60,0	1,3	0,5 – 3,8	-	-
Ferro (µg L^{-1})	-	-	48,5	1,0 – 130,0	-	-	-		
Manganês (µg L^{-1})	-	-	178,6	5,0 – 320,0	-	-	-		
E.Coli (UFC[9]/100 mL)	-	-	$1,05x10^5$	0 - $6,67x10^5$	-	$3,6x10^5$	$0,6x10^5$ - 81 $x10^5$	-	-
Coliformes totais (UFC/100 mL)	0	0	$2,89x10^5$	0 - $1,87x10^6$		$4,8x10^5$	$0,8x10^5$ - $119x10^5$	$43x10^4$	$23x10^4$ - $90x10^4$

[8] País não identificado

[9] Unidade formadora de colónia (UFC)

Tabela 3.2 - Resultados da caracterização física e química das águas pluviais obtida na literatura

Autores	(Vale, 2011)		(Lee et al., 2017)		(Naddeo et al., 2013)	(Mazurkiewicz et al., 2022)	(Alim et al., 2021)	(Leong et al., 2017)[10]
Local	Portugal		Vietnam		Itália	Polónia	Austrália	
	Média	Min – Máx	Média	Min – Máx	Média	Min – Máx	Média	Min - Máx
pH	7,6	7,3 – 7,9	7,6	7,0 – 8,1	-	4,6 – 7,7	6	3,1 – 11,4
Turbidez (NTU)			1	0,1 – 1,3	25,88	-	2	0,2 – 303,5
CBO (mg L^{-1})	54,2	3 - 186	-	-	-	0,05 – 0,30		0 – 3
CQO (mg L^{-1})	299,7	6 – 950	-	-	4,79	-		8,74 – 23,83
SST (mg L^{-1})	581,7	17 – 3400	-	-	-	-		1 – 153
COT (mg L^{-1})	-	-	-	-	5,952	-	0,8874	0 – 0
Azoto amoniacal (mg L^{-1})	-	-	0,33	0,03-0,86	-	0,037 – 0,089	0,35	0 – 0
Azoto total (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	-		0,45 – 1,92
Fosforo total (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	-	-	0,21 – 50
Ferro (µg L^{-1})	2,7	0,35 - 12	0,05	0,03 – 0,084	-	-		0 – 1390
Manganês (µg L^{-1})	-	-	0,001	0,001-0,021	-	-		0 – 9350
E.Coli (UFC/100 mL)	-	-	8	0 - 3200	328	-		-
Coliformes totais (UFC/100 mL)	-	-	270	10 - 12000	152	5 - 60	-	

[10] Revisão de outros artigos

Para as águas cinzentas, é possível observar que os diversos estudos, obtiveram valores de pH próximos do neutro. Estudos em que as águas cinzentas incluíam águas provenientes máquinas de roupa e lavatórios de cozinha apresentam valores de pH mais elevados, devido aos detergentes utilizados nestas atividades que apresentam um pH alcalino. Quanto às águas pluviais, os diversos estudos consultados obtiveram pH próximos do neutro. Contudo, é de salientar o pH das águas pluviais varia conforme a zona em estudo apresenta maior ou menor grau de poluição.

Relativamente aos valores de CQO e CBO_5, a concentração nas águas cinzentas é superior à das águas pluviais, devido à matéria orgânica resultado de banhos e duches, bem como dos lavatórios. Em termos de SST as águas pluviais apresentam maior concentração comparativamente com as águas cinzentas.

As concentrações de Azoto amoniacal e Azoto total para as águas cinzentas são superiores às obtidas para as águas pluviais. A elevada concentração de azoto amoniacal pode ser explicada pela utilização de produtos de limpeza contendo amoníaco e no caso dos chuveiros pela existência de urina nas águas recolhidas (Santos, 2012). Relativamente ao fósforo, os valores consultados na bibliografia para as águas cinzentas apresentam uma ordem de grandeza relativamente baixa, sendo os valores concordantes entre autores.

Relativamente aos parâmetros microbiológicos, as águas cinzentas apresentam maiores quantidades de E. Coli e coliformes totais, relativamente às águas pluviais. Estes dois parâmetros são indicadores de contaminação fecal de animais e humanos, sendo expectável uma maior presença destas bactérias nas águas cinzentas como é confirmado pelos estudos consultados.

Com base nos resultados obtidos através da revisão bibliográfica, conclui-se que as águas cinzentas apresentam concentrações elevadas para diversos parâmetros analisados comparativamente com as águas pluviais. As águas cinzentas provêm das atividades diárias e encontram-se mais expostas a mais fontes de contaminação, apresentando por isso uma maior carga poluente que as águas pluviais.

4 Metodologia

De forma a alcançar os objetivos propostos nesta dissertação, foi, numa primeira fase realizado um estudo e atualização dos dados de base do programa de cálculo – SAPRA. De seguida, procedeu-se à seleção de casos de estudo. Para tal, escolheu-se um conjunto variado de casos reais de edifícios, procedendo-se à sua caracterização e à construção das redes de drenagem de águas pluviais e de águas cinzentas, e a rede de abastecimento da água não potável em Autocad. Por fim, foram definidos os indicadores de desempenho a utilizar para a avaliação de desempenho dos sistemas híbrido.

A descrição mais pormenorizada de cada etapa é apresentada nos subcapítulos seguintes.

4.1 Ferramenta de cálculo - SAPRA

A ferramenta de cálculo que será utilizada nesta dissertação é denominada por SAPRA – Dimensionamento e Análise de Sistemas de Aproveitamento e Reutilização de Águas em Edifícios, desenvolvida por Santos, (2012) no âmbito de uma tese de doutoramento. A ferramenta foi desenvolvida em *Microsoft Office Excel 2007* e programada em *Microsoft Visual Basic for Applications* (VBA). Para manter a utilização do SAPRA foi necessário atualizar a programação VBA para a versão atual do *Microsoft Office Excel*, bem como atualizar os dados de base utilizados.

O SAPRA permite dimensionar o volume do reservatório para o armazenamento das águas pluviais e cinzentas do edifício em estudo e realiza uma análise do desempenho do sistema. Para além disso, esta ferramenta faz um estudo económico, estimando o período de retorno do investimento. A ferramenta encontra-se dividida em três partes: Introdução de dados, Dados de base e Resultados.

Na folha de *Introdução de dados* são fornecidos ao programa as características do sistema em estudo, definindo o tipo de edifício (unifamiliar, multifamiliar, serviços e comércio), a localização do edifício, o número de ocupantes, os equipamentos a abastecer com água não potável, as características do sistema a implementar e os custos de instalação.

A ferramenta considera, de forma simultânea ou individual, os seguintes equipamentos a abastecer com água não potável: AVAC/torres de arrefecimento, autoclismos, urinóis, rega e torneiras de lavagem. É ainda possível introduzir outros usos para a água não potável manualmente, sendo nesse caso necessário indicar o consumo diário, número de dispositivos e o caudal a abastecer.

Na segunda folha, *Dados de Base*, o SAPRA contém diversos dados necessários para os cálculos, que são selecionados de forma automática. Nessa folha apresenta-se a capitação e a distribuição dos consumos para as diversas tipologias de edifícios em estudo, a distribuição espacial das zonas, os tipos de cobertura e as necessidades de rega, os custos de tratamento, os tarifários, custos de materiais e equipamentos e os registos de precipitação e evaporação.

No âmbito da presente dissertação, foram atualizados diversos dados de base da ferramenta desenvolvida por Santos, (2012), nomeadamente os tipos de cobertura, os tarifários, os custos de materiais e equipamentos e os registos de precipitação. No Anexo A apresentam-se os valores alterados, face aos dados iniciais, bem como os valores de capitação e distribuição de consumo admitidos para as tipologias de edifícios em estudo.

Relativamente aos registos de precipitação, os dados iniciais no SAPRA compreendiam o período de 1997 a 2007, pelo que foi necessário atualizar os dados de precipitação diária em 10 anos para anos mais recentes. Para tal, foram consultados os dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) (APA, 2022) para as estações meteorológicas nas proximidades das áreas em estudo. Para a zona do Porto foram consultadas as estações meteorológicas de Ermesinde e de Leça da Palmeira e para a região de Esmoriz as estações de Espargo (Feira) e a Barragem de Castelo Burgães.

As falhas nos dados recolhidos no SNIRH, devido a avarias técnicas, foram colmatadas com dados recolhidos por satélites da NASA (*National Aeronautics and Space Administration)*, nomeadamente pelo satélite *Global Precipitation Measurement* (GPM) *IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM) - Final Precipitation L3* (IRI, 2021) e *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) *3 Products* (IRI, 2019).

O satélite GPM combina informação de todos os satélites que estejam em funcionamento em volta da Terra num determinado momento e estima a precipitação na superfície da Terra. Este dispõe de dados desde junho de 2000 até setembro de 2021, com uma resolução de (0,1°X0,1°) (NASA, 2022a). O satélite TRMM disponibiliza dados de precipitação diária desde março de 2000 até outubro de 2016 das regiões tropicais e subtropicais, com uma resolução de (0,25°X0,25°) (NASA, 2022b).

Os dados recolhidos pelo SNIRH foram comparados com as duas bases de dados da NASA, de forma a selecionar a que se aproximava mais dos resultados obtidos pelo SNIRH. Para tal, para a região do Porto e Ovar, foi calculado o valor total de precipitação mensal para as três bases de dados, obtendo os resultados presentes no Anexo B.

Com base nessa análise, os dados do SNIRH para a região do Porto foram colmatados com os dados do satélite TRMM e para a região de Ovar com o satélite GPM. Uma vez que o satélite TRMM terminou o seu funcionamento em 2016, foram recolhidos para as duas regiões os valores de precipitação diária para o período compreendido entre 2005 e 2015.

Por fim, na última folha do SAPRA, *Resultados*, é apresentado o valor do volume do reservatório, a análise de desempenho e a análise económica do sistema.

O volume de reserva para sistemas híbridos recomendado pelo programa é o volume máximo diário consumido nos usos não potáveis, contudo este pode ser alterado pelo utilizador para um outro volume que pretenda implementar no local. Este valor é limitado pelo volume mínimo e máximo definido para cada tipologia de edifício.

O cálculo do volume de água não potável necessária é obtido através da capitação e dos usos selecionados. O volume de águas pluviais recolhidas diariamente é obtido de acordo com os dados de precipitação do concelho em estudo, a área de captação disponível e o coeficiente de escoamento da cobertura. O volume de águas cinzentas diário é introduzido pelo utilizador de acordo com o caudal do tratamento selecionado.

Na análise de desempenho do sistema é calculado o volume médio de água consumida nos usos não potáveis, expressa em m^3/ano, o volume de águas pluviais aproveitadas e de águas cinzentas reutilizadas (m^3/ano), bem como o volume médio de água potável inserida no sistema (m^3/ano). A partir destes valores é determinada a eficácia do sistema, obtido pela razão entre o volume de água não potável (águas pluviais e cinzentas) aproveitada e o volume de água não potável necessária para os usos finais considerados.

O SAPRA realiza também um estudo económico, através do cálculo do período de retorno estimado, obtido pelo quociente entre o custo de instalação inicial e o custo de manutenção ao longo dos anos, pela poupança anual.

Na estimativa dos custos de investimento são considerados todos os custos implicados na execução do projeto. O custo de manutenção é estimado através da atribuição de uma percentagem de manutenção face ao custo de investimento. A poupança anual estimada resulta da soma da poupança média em cada mês, sendo esta obtida pela redução do consumo de água potável face ao sistema convencional. A poupança mensal é calculada pela diferença de custos do consumo de água do edifício sem sistema e com sistema híbrido, conforme as tarifas do concelho em estudo.

4.2 Casos de Estudo

A descrição dos diferentes casos de estudo e os dados utilizados são apresentados nos subcapítulos seguintes. Para cada caso de estudo são considerados diferentes cenários, alterando os usos finais da água não potável, de forma a avaliar a influência deste parâmetro no desempenho do sistema.

Na Tabela 4.1 apresentam-se seis cenários considerando diferentes usos finais da água não potável. Para a moradia foram estudados os cenários 1, 2, 3, 4 e 5, para o edifício multifamiliar os cenários 1 e 3, e para a universidade os cenários 1, 2 e 6.

Para cada caso de estudo foram estimadas as dimensões da rede de drenagem de águas pluviais e de águas cinzentas, bem como a rede de abastecimento de água não potável, para estimativa dos custos de investimento associado à implementação do sistema híbrido.

Tabela 4.1 - Cenário de usos finais da água não potável

Usos finais ANP	Autoclismos/ Urinóis (Br)	Rega (R)	Lavagem máquina de roupa (Mr)	Lavagem – Torneiras (Lav)
Cenário 1	✓			
Cenário 2	✓	✓		
Cenário 3	✓		✓	
Cenário 4	✓	✓	✓	
Cenário 5	✓	✓	✓	✓
Cenário 6		✓		

4.2.1 Moradia Unifamiliar (Aveiro)

Um dos casos analisados foi uma moradia unifamiliar situada na cidade de Esmoriz. Nesta moradia recentemente construída, estudou-se a implementação de um sistema híbrido de aproveitamento de águas pluviais e de reutilização de águas cinzentas considerando como possíveis usos finais da água não potável: o abastecimento aos autoclismos (3), à máquina de lavagem de roupa, às torneiras do jardim e ao sistema de rega do jardim, com uma área total de 212 m^2 (Figura 4.1). O jardim será composto por relva e a rega será por aspersão. Para a moradia serão estudos cenários 1, 2, 3, 4 e 5 (Tabela 4.1).

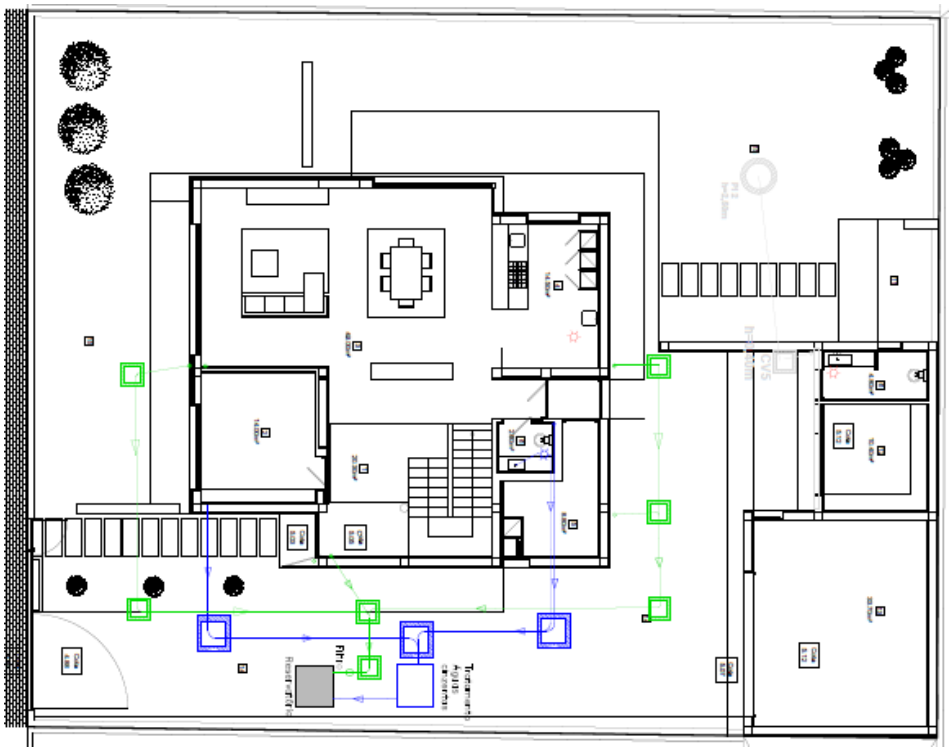


Figura 4.1 - Planta do piso térreo da moradia em estudo (Legenda: Rede de águas pluviais – Circuito verde; Rede de águas cinzentas – Circuito azul).

A moradia é de tipologia T3, prevendo-se uma ocupação de 4 habitantes. As águas cinzentas consideras no estudo serão recolhidas dos 5 lavatórios, 2 duches/banheiras e 2 bidés e as águas pluviais recolhidas na cobertura da moradia, com uma área de 158 m^2.

As águas cinzentas e as águas pluviais serão sujeitas a um tratamento diferenciado, sendo posteriormente armazenadas no mesmo reservatório. O tratamento das águas pluviais consistirá num filtro de águas pluviais (Figura 2.3) e para as águas cinzentas será instalado um sistema de reaproveitamento de águas cinzentas, similar ao apresentado pela ECODEPUR® BIOX/SPRAC, Figura 4.2.

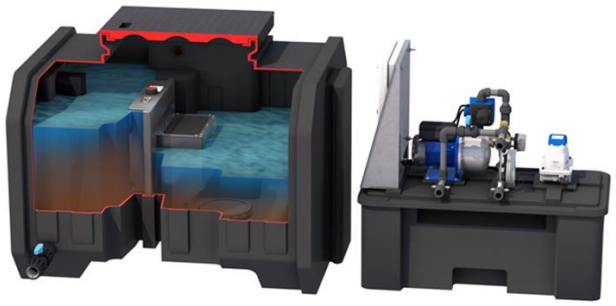


Figura 4.2 - Reciclador de águas cinzentas - Ecodepur BIOX (Ecodepur, 2022a).

No reciclador de águas cinzentas, as águas recolhidas passam inicialmente por um processo de gradagem, para remoção de sólidos grosseiros. De seguida, o efluente é encaminhado para o reator biológico do tipo *Sequencing Batch Reator* (SBR), para remoção da matéria orgânica. Na última etapa do tratamento, o efluente é bombado para o módulo de Filtração/Desinfeção, onde é adicionado uma solução desinfetante de hipoclorito de sódio ao efluente, para eliminação dos microrganismos patogénicos.

Após os tratamentos, as águas pluviais e cinzentas serão reunidas no mesmo reservatório. Este será equipado com um sistema de desinfeção com hipoclorito de sódio, para garantia do abastecimento de água não potável de acordo com os limites definidos pela legislação.

4.2.2 Edifício Multifamiliar (Porto)

Um edifício multifamiliar situado na cidade do Porto foi também analisado no âmbito desta dissertação. Trata-se de um edifício multifamiliar constituído por 2 blocos de apartamentos (Figura 4.3). O primeiro bloco (lado esquerdo Figura) com R/C + 7 andares e um outro (lado direito da Figura) com R/C + 10 andares. O edifício conta também com um piso enterrado de estacionamento e arrumos. O R/C do edifício é constituído por 12 lojas, cada uma com um sanitário e lavatório. Pretende-se estudar o abastecimento de água não potável para descargas de autoclismos (176) e lavagem em máquina da roupa (65), estudando o cenário 1 e 3.



Figura 4.3 - Edifício Multifamiliar – Porto (Google Earth, 2022).

O edifício dispõe de um total de 65 frações habitacionais, estimando uma ocupação por 301 habitantes. As águas pluviais serão recolhidas do telhado do edifício, correspondendo a uma área de recolha de 3 088 m^2 e as águas cinzentas reutilizadas serão recolhidas dos 176 lavatórios, 164 duches/banheiras e 113 bidés.

Relativamente ao tratamento a preconizar, será idêntico ao considerado na moradia. Para as águas pluviais será instalado um filtro à entrada do reservatório e para as águas cinzentas um sistema de reutilização de águas cinzentas, similar ao apresentado pela ECODEPUR® BIOX/SPRAC para um caudal de 11,2 m^3/dia (Figura 4.4).

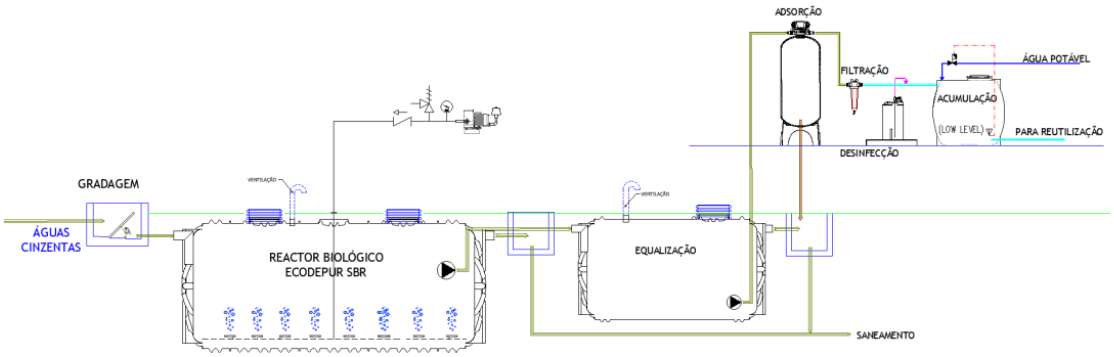


Figura 4.4 - Sistema de reutilização de águas cinzentas, ECODEPUR BIOX/SPRAC 11,2 (Ecodepur, 2022b).

Estes sistemas incorporam uma etapa adicional de equalização após o reator SBR, de forma a diminuir o caudal de ponta bombeado para a filtração. O tratamento terciário consiste numa etapa de filtração, através de um filtro de carvão ativado e conclui com uma etapa de desinfeção com hipoclorito de sódio.

Após os tratamentos, as águas não potáveis serão reunidas no reservatório, equipado com um sistema de desinfeção com hipoclorito de sódio.

4.2.3 Edifício de Serviços: Universidade (FEUP)

Foi também analisado o caso da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) (Figura 4.5). A FEUP é constituída por um edifício administrativo, um edifício de aulas, a biblioteca e cinco departamentos, departamento de Química, Minas e Metalurgia, Civil, Eletrotecnia e Mecânica. É uma das maiores instituições de ensino superior da região Norte, com cerca de 7 500 estudantes inscritos e 1 260 funcionários, entre docentes, investigadores, bolseiros, técnicos e dirigentes (FEUP, 2021).



Figura 4.5 - Faculdade Engenharia Universidade do Porto (FEUP) (Google Earth, 2022).

Este complexo de edifícios apresenta um alto potencial de aproveitamento de águas pluviais, devido às elevadas áreas de cobertura, bem como de reutilização de águas cinzentas. Pretende-se, assim, estudar a implementação de um SHAPC na FEUP, de forma a avaliar a eficácia do sistema, bem como os respetivos benefícios ambientais e económicos.

Devido às elevadas dimensões do *campus* FEUP, foram estudados dois edifícios de forma independente: o edifício B de aulas e o edifício H do Departamento de Civil. O edifício B é o edifício da faculdade com maior produção de águas cinzentas, enquanto o edifício H, devido à menor frequência de estudantes, apresenta menores quantidades de águas cinzentas produzidas. Pretende-se com estes dois casos de estudo, avaliar o desempenho do sistema híbrido, considerando duas utilizações diferentes.

De seguida, apresenta-se uma descrição mais exaustiva de cada caso de estudo.

4.2.3.1 Edifício B

O edifício B é o mais frequentado pelos estudantes (Figura 4.6), obtendo uma maior produção de águas cinzentas. Além disso, dispõe de uma elevada área de cobertura que permite o aproveitamento de águas pluviais.



Figura 4.6 - Edifício B da FEUP e localização do reservatório.

Estimou-se uma ocupação de 3 127 estudantes, considerando que, do total de estudantes que diariamente frequentam a FEUP, apenas cerca de 40% utilizam a casa de banho. As águas cinzentas consideradas do estudo serão recolhidas dos 66 lavatórios e as águas pluviais recolhidas na cobertura do edifício, dispondo de uma área de 5 900 m^2.

No edifício, a rede de drenagem das águas cinzentas é separada da rede de drenagem de águas residuais, sendo assim possível utilizar essa rede, construindo apenas a ligação ao reservatório. Para as águas pluviais, o edifício dispõe também de uma rede de drenagem que será intersetada e encaminhará as águas para o reservatório. O tratamento será idêntico ao descrito anteriormente para o edifício multifamiliar. Para o tratamento das águas cinzentas será instalado um sistema de reutilização de águas cinzentas, ECODEPUR® BIOX/SPRAC para um caudal de 11,2 m^3/dia (Figura 4.4).

Pretende-se estudar o abastecimento de água não potável para descargas de autoclismos (48) e urinóis (60) no edifício e abastecimento ao sistema de rega, com uma área de 10 270 m^2. Foram assim considerados os cenários 1, 2 e 6 para o estudo do SHAPC.

4.2.3.2 Edifício H

O edifício H pertence ao Departamento de Civil (Figura 4.7) e contrariamente ao edifício B, a frequência de alunos é menor, estimando-se uma ocupação por 79 pessoas em exercícios de funções diárias. As águas cinzentas serão recolhidas em 19 lavatórios e para a recolha das águas pluviais, o edifício dispõe de uma área total de 3 074 m^2.

O tratamento a implementar será igual ao considerado para os restantes edifícios em estudo. Assim, como o edifício B, também o edifício H dispõe de redes de drenagem de águas cinzentas, sendo apenas necessário a ligação destas ao reservatório. Relativamente à recolha das águas pluviais, apenas a cobertura de menor dimensão apresenta rede de drenagem de águas pluviais. Assim, para o aproveitamento de águas pluviais de todo o edifício será necessário a construção da rede de drenagem de águas pluviais para a cobertura de maior dimensão.



Figura 4.7 - Edifício H da FEUP e localização do reservatório.

Os cenários a estudar serão idênticos ao analisados para o edifício B, o cenário 1, 2 e 6. Considera-se o abastecimento de água não potável para descarga de autoclismos (31) e urinóis (12) e para a rega do jardim com uma área de 10 270 m^2.

4.3 Avaliação do Sistema

Para a avaliação do sistema foram definidos indicadores de desempenho, permitindo a avaliação do sistema, bem como a comparação entre diferentes sistemas e casos de estudo. O SAPRA, para cada sistema em estudo, determina o volume do reservatório (V_R), o volume médio de águas consumida em usos não potáveis (V_C), o volume médio de águas pluviais aproveitadas (V_{AP}), o volume médio de águas cinzentas reutilizadas (V_{AC}) e o volume médio de água potável inserida no sistema (V_{pot}). Além disso, calcula o custo de instalação do sistema, o custo de manutenção do sistema, a poupança relativa ao volume de água não potável consumida e determina o período de retorno (PR).

Para o cálculo do período de retorno, no ano inicial, o SAPRA considera o custo de instalação como despesa e que ainda não há poupança. A partir do ano 1 é adicionado à despesa o custo de manutenção anual do sistema e considerada a poupança anual acumulada. O resultado do período de retorno é obtido quando a poupança é maior que a despesa.

A partir dos valores calculados pelo SAPRA é possível definir outros indicadores de desempenho. Para o estudo dos sistemas híbridos, serão avaliadas duas vertentes: Eficácia e Desempenho.

Em termos de eficácia dos sistemas híbridos, os sistemas serão avaliados relativamente ao consumo de água não potável no edifício e à sua produção.

A eficácia relativa ao consumo de água não potável é obtida através da razão entre o volume de água não potável aproveitada no edifício e o volume de água não potável necessária (Equação 4.1).

$$\text{Eficácia}_{\text{consumo ANP}}(\%) = \frac{V_{AP}(m^3/\text{ano}) + V_{AC}(m^3/\text{ano})}{V_C(m^3/\text{ano})} \quad (4.1)$$

A eficácia relativa à produção de água não potável é calculada pela Equação 4.2 e resulta do quociente entre o volume de água não potável aproveitada no edifício e o volume total de águas pluviais produzidas ($V_{AP\ Produzidas}$) e volume total de águas cinzentas produzidas ($V_{AC\ Produzidas}$).

$$\text{Eficácia}_{\text{produção ANP}}(\%) = \frac{V_{AP}(m^3/\text{ano}) + V_{AC}(m^3/\text{ano})}{V_{AP\ produzidas}(m^3/\text{ano}) + V_{AC\ produzidas}(m^3/\text{ano})} \quad (4.2)$$

Este indicador permite avaliar a quantidade de água não potável que está a ser aproveitada face ao potencial de produção de ANP no edifício. De forma similar, pode ser determinada a eficácia relativa à produção de águas pluviais (Equação 4.3) e relativa à produção de águas cinzentas (Equação 4.4).

$$\text{Eficácia}_{\text{produção AP}}(\%) = \frac{V_{AP}(m^3/\text{ano})}{V_{AP\ produzidas}(m^3/\text{ano})} \quad (4.3)$$

$$\text{Eficácia}_{\text{produção AC}}(\%) = \frac{V_{AC}(m^3/\text{ano})}{V_{AC\ produzidas}(m^3/\text{ano})} \quad (4.4)$$

O volume total de águas pluviais produzidas ($V_{AP\ Produzidas}$) foi calculado considerando o volume total de águas pluviais possíveis de aproveitar, a área de cobertura do edifício e o coeficiente de escoamento do mesmo. O volume total de águas cinzentas produzidas ($V_{AC\ Produzidas}$) resulta do caudal anual de tratamento das águas cinzentas considerado.

Em termos de desempenho do sistema, serão definidos como indicadores: a água potável poupada, a redução do volume de água residual e a redução de custos na fatura da água.

O volume de água potável poupada é obtido através da Equação 4.5, e resulta do quociente entre volume de águas pluviais e águas cinzentas aproveitadas e o volume de água potável necessário ($V_{Água\ Pot\ nec}$) (Equação 4.5).

$$\text{Água potável poupada}(\%) = \frac{V_{AP}(m^3/\text{ano}) + V_{AC}(m^3/\text{ano})}{V_{\text{água pot nec}}(m^3/\text{ano})} \quad (4.5)$$

O volume de água potável necessária foi obtido pela soma dos valores de capitação diária para uma semana-tipo, multiplicado pelo número de semanas num ano (52 semanas) e pelo número de ocupantes no edifício.

A redução do volume de Águas Residuais (AR) é obtida através da razão entre volume de águas cinzentas reutilizadas (V_{AC}) e o volume total de águas residuais produzidas (V_{AR}) (Equação 4.6).

$$\text{Redução volume de AR}(\%) = \frac{V_{AC}(m^3/\text{ano})}{V_{AR}(m^3/\text{ano})} \quad (4.6)$$

O volume de águas residuais produzidas foi obtido considerando 80% do volume de água potável consumida no edifício.

A redução nos custos da fatura da água é calculada pela Equação 4.7. O custo do consumo da água com e sem sistemas são resultados diretos do SAPRA.

$$\text{Redução na fatura da água}(\%) = \frac{\text{custo}_{\text{cons água sem sistema}}(€) - \text{custo}_{\text{cons água com sistema}}(€)}{\text{custo}_{\text{cons água sem sistema}}(€)} \quad (4.7)$$

5 Apresentação e Análise de Resultados

5.1 Resultados

Através da ferramenta SAPRA, foi calculado, para cada caso de estudo, i) o volume do reservatório (V_R), ii) o volume médio de águas consumida em usos não potáveis (V_C), iii) o volume médio de águas pluviais aproveitadas (V_{AP}), iv) o volume médio de águas cinzentas reutilizadas (V_{AC}), v) o volume médio de água potável inserida no sistema (V_{pot}). Além disso, foi determinado vi) o custo de instalação do sistema, vii) a poupança relativa ao volume de água não potável consumida e viii) o período de retorno. Os resultados obtidos no SAPRA e outros valores necessários para o cálculo dos indicadores de desempenho, apresentam-se no Anexo C.

Neste capítulo apresentam-se os resultados dos indicadores de eficácia, desempenho e económico, obtidos para os quatro casos de estudo, sendo os relativos à "Poupança média anual" e ao "Período de Retorno" constituem resultados diretos do SAPRA.

Nas Tabela 5.1 a Tabela 5.4 apresentam os resultados dos indicadores obtidos para os casos de estudo e os respetivos cenários analisado.

Tabela 5.1 – Moradia - Resultados dos indicadores

Indicadores		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
		Br	Br, R	Br, Mr	Br, R, Mr	Br, R, Mr, Lav
Eficácia	Eficácia relativa ao consumo ANP (%)	100,0%	67,2%	99,8%	68,7%	69,3%
	Eficácia relativa à produção ANP (%)	14,8%	19,7%	20,0%	23,7%	25,8%
	Eficácia relativa à produção AP (%)	0%	3,6%	0,3%	4,2%	5,2%
	Eficácia relativa à produção AC (%)	66,7%	76,0%	88,7%	91,9%	97,8%
Desempenho	Água potável poupada (%)	28,1%	37,3%	37,8%	44,9%	48,8%
	Redução do volume de água residual (%)	35,1%	40,0%	46,7%	48,4%	51,5%
	Redução do custo na fatura da água (%)	32,7%	43,1%	44,1%	51,8%	56,3%
Económico	Poupança média anual (€/ano)	76	100	102	120	130
	Período de Retorno (anos)	227	176	160	143	133

Br – Autoclismos/Urinóis; **R** – Rega; **Mr** – Lavagem máquina de roupa; **Lav** – Lavagem: Torneiras.

Tabela 5.2 – Edifício Multifamiliar - Resultados dos indicadores

Indicadores		Cenário 1	Cenário 3
		Br	Br, Mr
Eficácia	Eficácia relativa ao consumo ANP (%)	100,0%	8,0%
	Eficácia relativa à produção ANP (%)	44,5%	95,6%
	Eficácia relativa à produção AP (%)	0%	88,0%
	Eficácia relativa à produção AC (%)	70,4%	100,0%
Desempenho	Água potável poupada (%)	30,1%	64,7%
	Redução do volume de água residual (%)	37,6%	53,4%
	Redução do custo na fatura da água (%)	30,5%	65,8%
Económico	Poupança média anual (€/ano)	13 359	28 816
	Período de Retorno (anos)	5	3

Br – Autoclismos/Urinóis; **Mr** – Lavagem máquina de roupa.

Tabela 5.3 - Edifício B da FEUP – Resultados dos indicadores

Indicadores		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 6
		Br	Br, R	R
Eficácia	Eficácia relativa ao consumo ANP (%)	50,1%	42,8%	65,6%
	Eficácia relativa à produção ANP (%)	57,8%	59,8%	16,0%
	Eficácia relativa à produção AP (%)	31,5%	34,7%	1,8%
	Eficácia relativa à produção AC (%)	98,8%	99,1%	38,2%
Desempenho	Água potável poupada (%)	19,9%	20,7%	5,5%
	Redução do volume de água residual (%)	16,7%	16,7%	6,4%
	Redução do custo na fatura da água (%)	19,9%	20,6%	5,5%
Económico	Poupança média anual (€/ano)	19 814	20 531	5 494
	Período de Retorno (anos)	4	4	12

Br – Autoclismos/Urinóis; **R** – Rega.

Tabela 5.4 - Edifício H da FEUP - Resultados dos indicadores

Indicadores		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 6
		Br	Br, R	R
Eficácia	Eficácia relativa ao consumo ANP (%)	93,6%	17,5%	12,9%
	Eficácia relativa à produção ANP (%)	6,9%	12,0%	7,9%
	Eficácia relativa à produção AP (%)	4,9%	9,3%	6,5%
	Eficácia relativa à produção AC (%)	94,4%	96,1%	52,0%
Desempenho	Água potável poupada (%)	37,3%	65,4%	42,9%
	Redução do volume de água residual (%)	20,1%	20,5%	11,1%
	Redução do custo na fatura da água (%)	37,2%	60,8%	38,3%
Económico	Poupança média anual (€/ano)	936	1 530	964
	Período de Retorno (anos)	78	50	71

Br – Autoclismos/Urinóis; **R** – Rega.

5.2 Análise dos resultados

Nos subcapítulos seguintes, realiza-se a análise dos resultados descritos para os casos de estudo.

5.2.1 Moradia

Para o exemplo da moradia, os cinco cenários estudados conduziram a valores de **eficácia** relativamente ao "consumo de água não potável", entre 67,2-100%, ou seja, de entre os usos finais de água não potável considerados no cenário, cerca de 67% são supridos pelo cenário 2, subindo para a totalidade o seu abastecimento no cenário 1. Estes valores são essencialmente influenciados por dois parâmetros: os usos finais da água não potável considerados e o volume de reserva. Mais pormenorizadamente, verificou-se que:

- Os cenários 1 e 3 apresentam os valores de eficácia relativa ao consumo mais elevados, cobrindo todas as necessidades de água não potável dos usos finais definidos.
- Nos cenários 2, 4 e 5, obtiveram-se eficácias relativas ao consumo de, 67,2%, 68,7% e 69,3%, respetivamente.

O cenário 2, 4 e 5 tem em comum o abastecimento de água não potável à rede de rega, apresentando por isso, nos meses de verão, necessidades de ANP superiores. Contudo, nesses

meses, o potencial de aproveitamento de águas pluviais é menor, devido à baixa pluviosidade, e sendo as águas cinzentas produzidas de forma constante, o potencial de aproveitamento de água não potável será menor, daí eficácias de consumo menores.

Verifica-se também que, o potencial de "aproveitamento de águas pluviais e cinzentas" é limitado pelo volume de reserva. Assim, para os cenários 2, 4 e 5, aumentando o volume de reserva, obter-se-ia valores de eficácias relativas ao consumo de ANP mais elevados, permitindo atenuar o impacto das variações sazonais na produção de água não potável.

Comparando os resultados obtidos para a eficácia relativa ao consumo, com os consultados da bibliografia, o presente estudo obteve eficácias superiores:

- Ghisi & Mengotti de Oliveira (2007) obtiveram para uma análise semelhante ao Cenário 3 uma eficácia de 33,8-36,4%, enquanto, para o mesmo cenário obteve-se, no presente estudo, uma eficácia de 99,8%;
- Marinoski & Ghisi (2019) estudaram um cenário semelhante ao cenário 5, considerando o abastecimento para irrigação, lavagem de pisos e veículos e utilização para lavagem em máquinas de roupa, obtendo uma eficácia de 41,9%, enquanto, para o cenário 5 (irrigação, lavagem em máquinas de roupa, lavagem de pisos e descargas de autoclismos), no presente estudo, obteve-se uma eficácia de 69,3%.

Relativamente à eficácia referente à "produção de água não potável", conclui-se:

- Será tanto quanto maior for o aproveitamento de águas pluviais e cinzentas. Para os cenários em estudo no caso da moradia obteve-se valores entre 14,8-25,8%, resultado da baixa necessidade de ANP no edifício face ao elevado potencial de aproveitamento de ANP;
- A eficácia relativa à produção de águas cinzentas apresenta valores mais elevados que as águas pluviais, porque, o SAPRA considera primeiro a reutilização de águas cinzentas, e como a moradia apresenta baixas necessidade de ANP, estas são quase todas colmatadas com as águas cinzentas.

Em relação aos **indicadores de desempenho**, verificou-se que:

- Quanto maior o volume de água potável poupada, maior a redução nos custos da fatura da água e maior a redução da água residual encaminhada para tratamento na ETAR;
- Estes indicadores dependem do volume de água não potável aproveitada, sendo que quanto maior esse valor, melhor o desempenho do sistema.

Em termos de **viabilidade técnica**, a implementação de um sistema híbrido na moradia, para os cinco cenários em estudo é praticável, sendo o volume dos reservatórios executáveis, bem como a construção das redes de drenagem e abastecimento, e os tratamentos selecionados.

Do ponto de vista **económico**, os resultados não são muito favoráveis. Os elevados investimentos para a construção do sistema híbrido face ao baixo consumo de água não potável,

resulta em períodos de retorno muito elevados, na ordem dos 150 anos (Tabela 5.1). Os elevados custos resultam essencialmente do tratamento de águas cinzentas da construção das redes de drenagem e abastecimento, bem como o custo do reservatório.

Relativamente ao custo das redes de drenagem e de abastecimento, este irá depender dos materiais utilizados e da configuração selecionada. A construção de uma rede conjunta para a drenagem de águas pluviais e cinzenta, diminuirá o custo associado a estas, contudo será necessário implementar um tratamento combinado para as duas águas, como o apresentado anteriormente no subcapítulo 3.1.2.

Além dos resultados económicos pouco favoráveis, questões de cariz **social** podem ser um entrave à implementação destes sistemas. Algum estigma sobre a qualidade das águas cinzentas e a falta de exemplos reais da construção destes sistemas, pode constituir um obstáculo à implementação dos sistemas híbridos (Domènech & Saurí, 2010).

Em termos **ambientais**, o principal benefício resultante da implementação de um sistema híbrido é a redução do consumo de água potável e a diminuição das águas residuais produzidas e enviadas para as redes de saneamento. Para a moradia, a implementação de um sistema híbrido obteve reduções no consumo de água potável entre 28,1-48,8%, e uma redução da água residual encaminhada para tratamento em ETAR entre 35,1-51,5%.

5.2.2 Multifamiliar

Para o edifício multifamiliar, em termos de **eficácia** relativa ao "consumo de água não potável", os resultados obtidos para os dois cenários foram muito díspares:

- Para o cenário 1, considerando apenas o abastecimento aos autoclismos, o sistema obteve uma eficácia de 100%, somente através da reutilização de águas cinzentas;
- O cenário 3, considerando o abastecimento a autoclismos e a utilização em máquinas de lavagem de roupa, obteve-se uma eficácia de 8,0%. O baixo valor de economia de água para o cenário 3, resulta da elevada necessidade de água não potável face a volumes limitados de águas cinzentas e pluviais possíveis de aproveitar no edifício.

Em termos de eficácia relativa à "produção de água não potável" o panorama inverte-se, obtendo o cenário 3 uma maior percentagem que o cenário 1:

- Apesar da baixa eficácia relativa aos consumos do cenário 3, este sistema apresenta um elevado aproveitamento das águas não potáveis produzidas no edifício, de 95,6%, resultado da totalidade das águas cinzentas e 88% das águas pluviais;
- O cenário 1 apresenta uma eficácia relativa à produção de ANP de 44,5%, resultado apenas da reutilização de águas cinzentas.

Relativamente aos **indicadores de desempenho**, assim como para a moradia, todos eles dependem do volume de água não potável aproveitada, quando maior este valor melhor o desempenho do sistema. Mais detalhadamente, verificou-se que:

- Em termos de água potável poupada, o cenário 1 obteve uma redução de 30,1% e o cenário 3 de 64,7%, resultando em reduções no custo da água de 30,5% e 65,7%, respetivamente;
- O sistema híbrido a implementar no edifício multifamiliar, permitiria uma redução da AR encaminhada para ETAR de 37,6% para o cenário 1 e 53,4% para o cenário 3.

Em termos **económicos**, apesar do elevado investimento para a implementação do sistema híbrido, ambos os cenários obtiveram períodos de retorno baixos, 5 anos para o cenário 1 e 3 anos para o cenário 3. O baixo período de retorno torna rentável o investimento, mesmo para o cenário 3 que obteve baixas eficácias relativa ao consumo de ANP, permitindo obter lucros logo após a implementação do sistema.

Contudo, em termos de **viabilidade técnica**, para o cenário 3, a construção de um reservatório com um volume com 215 m^3 não é praticável, podendo conduzir à inviabilidade do projeto. Para além disso, visto que o edifício já existe, para a implementação de um sistema híbrido, é necessário a aprovação de todos os habitantes, podendo condicionar a execução do projeto.

Relativamente aos benefícios **ambientais**, a implementação do sistema híbrido permite alcançar poupanças de água potável face ao sistema convencional de 30,1% para o cenário 1 e 64,7% para o cenário 3 e redução do volume de águas residuais de produzidas e enviadas para as redes de saneamento de 37,6% para o cenário 1 e 53,4% para o cenário 3.

5.2.3 Edifício B da FEUP

O edifício B obteve valores de **eficácia** relativa ao "consumo de água não potável" entre 42,8-65,6%. Da análise é possível destacar os seguintes aspetos:

- Quando considerando o abastecimento para descargas de autoclismos e urinóis obteve-se eficácias de 50,1%, e adicionando como uso final o abastecimento ao sistema de rega a eficácia baixou para 42,8%. Tal deve-se ao facto de o período de funcionamento do sistema de rega ser entre abril e setembro, correspondendo ao período com menor produção de águas pluviais, devido à baixa precipitação, resultando em baixas eficácias de consumo;
- Para o cenário considerado apenas o abastecimento de ANP ao sistema de rega, obteve-se uma eficácia relativa ao consumo de 65,6%, superior ao alcançado nos restantes cenários estudados. Isto porque, quando apenas considerado o uso para abastecimento ao sistema de rega, o volume de água não potável necessária é menor, e apesar do baixo aproveitamento de águas pluviais nos meses de verão, existe um elevado potencial de reutilização de águas cinzentas, resultando em eficácias mais elevadas.

Em termos de **eficácia** relativa à "produção de água não potável", este valor é superior para o cenário 2, aproveitando 59,8% do total de ANP produzidas no edifício. Este valor para além de

depender do volume de águas não potáveis aproveitadas no edifício, é também influenciado pela necessidade de ANP. Assim, para o cenário 6, obteve-se uma eficácia relativa à produção de 16,0%, devido aos baixos consumos de ANP para os usos considerados.

Relativamente aos **indicadores de desempenho**, verifica-se que o desempenho do sistema depende do volume de água não potável aproveitada, quanto maior for esse valor, melhor é o desempenho do sistema, em termos poupança de água potável, e maior é a redução da AR encaminhada para ETAR e a redução dos custos na fatura da água;

Sobre o ponto de vista de **viabilidade técnica**, a implementação de um sistema híbrido numa faculdade é exequível. O edifício B da FEUP tem ainda a vantagem em relação aos outros casos de estudo anteriormente referidos, de dispor de rede de drenagem de águas cinzentas e de águas pluviais diferenciadas, simplificando a construção do projeto.

Em termos **económicos**, apesar dos elevados custos de investimento, a elevada poupança de água permite obter períodos de retorno baixos, rentabilizando rapidamente o investimento. Os cenários 1 e 2, obtiveram períodos de retorno de 4 anos e o cenário 6, um PR de 12 anos, devido as menores necessidades de água não potável. Relativamente aos benefícios **ambientais**, estes sistemas permitem uma redução significativa no consumo de água potável, bem como uma redução na quantidade de águas residuais produzidas.

Aliados aos benefícios económicos e ambientais, a implementação deste tipo de sistema numa instituição de ensino superior como a FEUP, transmite para a sociedade e para os s*takeholders* uma mensagem de preocupação com o ambiente e responsabilidade na gestão sustentável dos recursos hídricos.

5.2.4 Edifício H da FEUP

Por fim, relativamente aos resultados obtidos para o edifício H da FEUP em termos de **eficácia** relativa aos "consumos de água não potável", é possível destacar os seguintes aspetos:

- O cenário 1 obteve valores de eficácia de 93,6%;
- Os restantes cenários obtiveram eficácias de 12,9% e 17,5%. Os baixos valores de eficácia para os cenários 2 e 6, resulta dos baixos volumes de água não potável aproveitada face as necessidades, devido ao abastecimento ao sistema de rega.

O edifício H tem um elevado potencial de aproveitamento de água não potável, principalmente de águas pluviais, devido à elevada área de captação. Nos cenários estudados, relativamente a **eficácia** referente à "produção de água não potável", a análise permite descrever os seguintes aspetos:

- Obteve-se valores baixos, entre 6,9-12%, o que significa que existe ainda um elevado potencial de ANP a ser aproveitado;
- O potencial de aproveitamento de águas pluviais é superior ao das águas cinzentas, verificando-se que para todos os cenários analisados, que o volume de águas pluviais

aproveitadas foi superior à reutilização de águas cinzentas, pois no edifício H a produção de água cinzenta é condicionada pela baixa ocupação.

Em termos de **indicadores de desempenho**, obteve-se uma redução da água potável entre 37,3-65,4%, aumentando conforme o volume de água não potável aproveitada. A redução da quantidade de AR encaminhada para tratamento em ETAR e a redução na fatura da água, é proporcional ao volume de água não potável aproveitada, assim quanto maior este volume, melhor o desempenho do sistema.

Em termos **técnico**, a implementação deste sistema no edifício H da FEUP é viável. Este apresenta também a vantagem das redes de drenagem de águas cinzentas e águas pluviais serem diferenciadas numa fração do edifício, sendo apenas necessária a construção da rede de drenagem de águas pluviais numa cobertura.

Do ponto de vista de **viabilidade económica**, obteve-se elevados períodos de retorno, entre 50-78 anos, resultados dos elevados custos de investimento face a baixas poupanças de água. Os elevados investimentos, resultam sobretudo do tratamento de águas cinzentas, do custo do reservatório e da construção da rede de drenagem de águas pluviais.

A viabilidade da implementação de um sistema híbrido num edifício como o edifício H da FEUP, irá depender dos usos finais pretendidos. Se os consumos de água não potável forem elevados, o edifício não consegue fornecer água suficiente, pois a produção de águas cinzentas é condicionada pela baixa frequência de pessoas e o aproveitamento de águas pluviais é condicionada pelas áreas de recolha e pelas condições climáticas, resultando em baixas eficácias e elevados períodos de retorno.

Relativamente aos benefícios **ambientais**, estes sistemas permitem reduzir o consumo de água potável até 65,4% (cenário 2) e produção de águas residuais entre 11,1-20,5%. Além dos benefícios ambientais, assim como para o edifício B, questões de preocupação ambiental e de responsabilidade na gestão dos recursos hídricos, podem ser o incentivo para a implementação de um sistema híbrido no edifício.

6 Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões Gerais

Na presente dissertação procedeu-se ao estudo de sistemas híbridos descentralizados de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas, definindo e otimizando os indicadores de desempenho, de forma a obter o melhor desempenho destes sistemas. Para tal foram analisados quatros casos de estudo reais: uma moradia, um edifício multifamiliar e dois edifícios da FEUP.

Verificou-se que na maioria das situações estudadas nos diversos casos de estudo, obtiveram-se eficácias relativamente ao "consumo de água não potável" superior a 50%, com exceção de alguns cenários em que o consumo de água não potável era de tal ordem de grandeza que o aproveitamento máximo de águas pluviais e cinzentas não era suficiente para colmatar as necessidades de água não potável. A análise realizada permite descrever os seguintes aspetos:

- Para edifícios domésticos, como moradias e edifícios multifamiliares, a produção de água não potável no edifício permite colmatar todas as necessidades de água para o abastecimento a descargas de autoclismos, alcançando eficácias de consumo de 100%;
- O valor de eficácia relativa ao consumo de ANP é condicionada por dois fatores: os usos finais considerados da água não potável e o volume de reserva;
- Quando considerado como uso final da água não potável o abastecimento ao sistema de rega, a eficácia relativa ao consumo diminui, devido às elevadas necessidades de água durante os meses de verão.

Em relação à eficácia relativa à "produção de água não potável", as principais conclusões retiradas foram:

- Obteve-se nos cenários estudados para os diferentes casos de estudo, valores de eficácia baixa, o que significa que existe um elevado potencial de ANP a ser aproveitada.
- A eficácia relativa à "produção de ANP" é condicionado pela necessidade de água não potável no edifício e pela produção de água não potável no edifício;
- Em todos os casos estudados, a reutilização de águas cinzentas foi superior ao aproveitamento de águas pluviais, com exceção do edifício H da FEUP.

Relativamente à poupança de água potável, este valor será maior quanto maior for o volume de água não potável utilizada no edifício. Contudo, este depende do volume de reserva selecionado e da disponibilidade de águas pluviais e cinzentas no edifício. Consequente,

verificou-se também, que a redução do custo da fatura da água depende do volume de água potável poupada, pelo que este será maior quanto maior for a poupança de água potável.

A redução do volume de águas residuais produzidas, será maior quanto maior a fração de águas cinzentas aproveitadas no edifício. Para a moradia e para o edifício multifamiliar, obtiveram-se reduções no volume de água residual entre 35,1-53,4%, resultado da reutilização das águas cinzentas produzidas nos lavatórios, chuveiros e bidés. Para os dois edifícios da FEUP em estudo, obtiveram reduções entre 6,4-20,5%, resultado inferior ao obtido nos edifícios domésticos, pois apenas são consideradas para reutilização as águas cinzentas provenientes dos lavatórios.

Deste modo, o melhor desempenho dos sistemas híbridos é alcançado quando o volume de água não potável aproveitada no edifício é maximizado, representado num maior volume de água potável poupada e na redução de custos na fatura da água. Para tal, devem ser consideradas todas as áreas de recolha de águas pluviais e todos os equipamentos produtores de águas cinzentas no edifício. Além disso, quanto maior a fração de água cinzenta reutilizada, menor o volume de águas residuais produzidas e enviadas diretamente para a rede de saneamento.

Em termos ambientais, a principal vantagem destes sistemas resulta na redução do consumo de água potável e a redução do volume de água residual produzida, permitindo uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

Contudo, apesar dos bons resultados em termos de eficácia e desempenho do sistema, e dos benefícios ambientais, questões sociais, nomeadamente sobre a qualidade das águas cinzentas, e questões económicas podem condicionar a implementação de sistemas híbridos.

A implementação dos sistemas híbridos permite obter no caso da moradia uma poupança média anual relativa ao volume de água não potável consumida entre 76 – 130 €, variando entre cenários e no caso do edifício multifamiliar uma poupança anual de 13 359 € para o cenário 1, considerando o abastecimento de água não potável a autoclismos e 28 816 € no cenário 3, considerando o abastecimento a autoclismos e máquinas de lavagem de roupa. Para o caso dos dois edifícios em estudo na FEUP, as poupanças anual variam entre 5 494 – 20 531 € no edifício B e 936 – 1 530 € no edifício H.

Do ponto de vista económico, verificou-se que a implementação destes sistemas em edifícios de maiores dimensões é mais rentável, alcançando elevadas poupanças a nível económico que rapidamente compensam o investimento inicial. Para a moradia, os baixos consumos de água não potável e o elevado investimento, resulta em períodos de retorno muito elevados, e que pode levar à inviabilidade de implementação do sistema.

6.2 Trabalhos Futuros

O estudo de cenários considerando diferentes usos finais da água não potável para os casos de estudo analisados, permitiu tirar conclusões sobre a forma como este fator condicionava o

desempenho do sistema. Considera-se também importante o estudo da influência de outras variáveis no desempenho do sistema, como o número de ocupantes, a área de cobertura para recolha de águas pluviais e os locais e número de equipamento de produção de águas cinzentas. Além disso, seria também pertinente o estudo da influência do tipo de cobertura no desempenho do sistema.

Sugere-se também um estudo económico de diferentes configurações da rede de drenagem de águas pluviais e cinzentas. A construção da rede de drenagem de águas pluviais e cinzentas constituí um dos componentes mais dispendiosos do sistema, assim, sugere-se um estudo de viabilidade técnica e económica para diferentes configurações do sistema, com reserva comum ou independente, e com variações na extensão da rede que podem abastecer/drenar um diferente número de dispositivos.

Por fim, seria importante o estudo dos sistemas híbridos sobre o Nexus energia-água, avaliando o potencial de poupança de energia e água potável resultado da implementação dos sistemas híbridos. Adicionalmente, seria também pertinente a determinação das emissões de CO_2 evitadas, resultado da redução na energia consumida para captação, tratamento, armazenamento e transporte da água potável.

Bibliografia

ADRA. (2022). *Tarifário 2022*. Águas da Região de Aveiro. www.adra.pt

AEA. (2018). *Sinais 2018: Água é vida.* Agência Europeia do Ambiente. https://www.eea.europa.eu/pt/publications/aea-sinais-2018-agua-e-vida

AEA. (2021). *Water resources across Europe: confronting water stress: an updated assessment*. Agência Europeia do Ambiente. https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe-confronting

Águas do Porto. (2022a). *Reutilização de Água [REUSE]*. Águas do Porto.

Águas do Porto. (2022b). *Tarifário 2022*. www.aguasdoporto.pt

Alim, M. A., Ashraf, A. F. M. A., Rahman, A., Tao, Z., Roy, R., Khan, M. M., & Shirin, S. (2021). Experimental investigation of an integrated rainwater harvesting unit for drinking water production at the household level. *Journal of Water Process Engineering*, *44*. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102318

Almeida, M. do C., Vieira, P., & Ribeiro, R. (2006). *Uso eficiente da água no sector urbano*.

ANQIP. (2011). *ETA 0905 - Sistemas Prediais de Reutilização e Reciclagem de Águas Cinzentas (SPRAC) - Versão 2*. Associação Nacional Para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP). https://www.anqip.pt/images/stories/eta%200905%20v.2.pdf

ANQIP. (2021). *ETA 0701 - Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP) - Versão 10*. Associação Nacional Para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP). https://anqip.pt/images/stories/comissoes/0701/eta%200701%20v.10%20site%20anqip2.pdf

APA. (2015). *Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC 2020).* Agência Portuguesa do Ambiente (APA). https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ECidadania/Educacao_Ambiental/documentos/enaac_consulta_publica.pdf

APA. (2022). *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídrico (SNIRH)*. Agência Portuguesa do Ambiente. https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1&objCover=920123704&objSite=920685506

Bani-Melhem, K., & Smith, E. (2012). Grey water treatment by a continuous process of an electrocoagulation unit and a submerged membrane bioreactor system. *Chemical Engineering Journal*, *198–199*, 201–210. https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.05.065

Bertolo, E. J. P. (2006). *Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações* [Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto]. https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60529/2/Texto%20integral.pdf

Chen, W., Gao, W., Jiang, J., Wei, X., & Wang, R. (2021). Feasibility analysis of decentralized hybrid rainwater-graywater systems in a public building in Japan. *Sustainable Cities and Society*, *69*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102870

Chen, W., Gao, W., Wei, X., Jiang, J., Wang, R., & Fang, X. (2022). Dimensionless parameter method for evaluating decentralized water reuse systems in buildings. *Sustainable Cities and Society*, *76*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103391

Climate Change Knowledge. (2021). *Country Portugal*. https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/portugal

Copernicus Climate Change Service. (2022). *How to use different RCPs?*

Decreto-Lei nº119/2019 da Presidência do Conselho de Ministros, (2019). https://files.dre.pt/1s/2019/08/15900/0002100044.pdf

Dias, F., & Correia, C. (2020). *O uso da água em Portugal: olhar, compreender e actuar com os protagonistas chave*. https://gulbenkian.pt/publication/o-uso-da-agua-em-portugal/

Domènech, L., Saurí, D. (2010). *Social-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona*. *Resources, Conservation and Recycling, 55, 53-62*. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.07.001

Ecodepur. (2022a). *Reciclador de Águas Cinzentas | Ecodepur BIOX*. https://www.ecodepur.pt/detalhe-de-produto/reciclador-de-aguas-cinzentas-ecodepurr-biox

Ecodepur. (2022b). *Sistemas de reutilização e reciclagem de águas cinzentas | Ecodepur BIOX/SPRAC*.

EN 16941-1. (2018). On-site non-potable water systems-Part 1: Systems for the use of rainwater. In *Norma Europeia*.

EN 16941-2. (2021). On-site non-potable water systems - Part 2: Systems for the use of treated greywater. In *Norma Europeia*.

EOS Organização e Sistemas Ltda. (2021). *Saiba mais sobre água cinza e suas formas de reutilização*. https://www.eosconsultores.com.br/agua-cinza-reutilizacao/

EPAL. (2020). *Manual de redes prediais. Edição 7*. Empresa Portuguesa das Águas Livres - Grupo Águas de Portugal. https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/clientes/novos-abastecimentos/manual-de-redes-prediais.pdf?sfvrsn=18

ERSAR. (2020). *Factos e Números*. Entidade Reguladora Dos Serviços de Água e Resíduos. https://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros

Falkenmark, M., Jägerskog, A., Bank, W., Lundqvist, J., & Tropp, H. (2007). On the Verge of a New Water Scarcity: A Call for Good Governance and Human Ingenuity regrads. *SIWI Policy Brief*. www.siwi.org.

FEUP. (2021). *FEUP em números - 2020*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. https://sigarra.up.pt/feup/pt/web_base.gera_pagina?p_pagina=feup%20em%20n%c3%bameros%20-%202020

Fountoulakis, M. S., Markakis, N., Petousi, I., & Manios, T. (2016). Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. *Science of the Total Environment*, *551–552*, 706–711. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.057

Ghafourian, M., Nika, C.-E., Mousavi, A., Mino, E., Al-Salehi, M., & Katsou, E. (2022). Economic impact assessment indicators of circular economy in a decentralised circular water system — Case of eco-touristic facility. *Science of The Total Environment*, *822*, 153602. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153602

Ghisi, E., & Mengotti de Oliveira, S. (2007). Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment*, *42*(4), 1731–1742. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.001

Google Earth. (2022). *Google Earth*. https://earth.google.com/web/@41.1772628,-8.59636675,114.50637961a,771.65562254d,35y,0h,0t,0r

Huang, Z., Liu, X., Sun, S., Tang, Y., Yuan, X., & Tang, Q. (2021). Global assessment of future sectoral water scarcity under adaptive inner-basin water allocation measures. *Science of the Total Environment*, *783*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146973

INE. (2022). *Instituto Nacional de Estatística*. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0009758&contexto=bd&selTab=tab2&xlang=pt

IRI. (2019). *NASA GES-DAAC TRMM_L3 TRMM_3B42RT v7*. http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GES-DAAC/.TRMM_L3/.TRMM_3B42RT/.v7/

IRI. (2021). *NASA GES_DISC GPM_L3 v06 IMERG_Final daily precipitationCal: Daily accumulated precipitation (combined microwave-IR) estimate data*.

http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GES_DISC/.GPM_L3/.v06/.IMERG_Final/.daily/.precipitationCal/

Karatayev, M., Clarke, M., Salnikov, V., Bekseitova, R., & Nizamova, M. (2022). Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: the case study of Kazakhstan. *Heliyon*, *8*(1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08660

Lee, M., Kim, M., Kim, Y., & Han, M. (2017). Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of Environmental Management*, *200*, 400–406. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.072

Leong, J. Y. C., Balan, P., Chong, M. N., & Poh, P. E. (2019). Life-cycle assessment and life-cycle cost analysis of decentralised rainwater harvesting, greywater recycling and hybrid rainwater-greywater systems. *Journal of Cleaner Production*, *229*, 1211–1224. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.046

Leong, J. Y. C., Chong, M. N., & Poh, P. E. (2018a). Assessment of greywater quality and performance of a pilot-scale decentralised hybrid rainwater-greywater system. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 81–91. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.172

Leong, J. Y. C., Chong, M. N., Poh, P. E., Vieritz, A., Talei, A., & Chow, M. F. (2018b). Quantification of mains water savings from decentralised rainwater, greywater, and hybrid rainwater-greywater systems in tropical climatic conditions. *Journal of Cleaner Production*, *176*, 946–958. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.020

Leong, J. Y. C., Oh, K. S., Poh, P. E., & Chong, M. N. (2017). Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralized system for water recycling and reuse: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 142, pp. 3014–3027). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.167

Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. In *Science of the Total Environment* (Vol. 407, Issue 11, pp. 3439–3449). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004

Magalhães, J. F. S. (2013). *Aproveitamento de Águas Pluviais: Aplicação de um sistema de aproveitamento a um hospital* [Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)]. https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/67854/2/26447.pdf

Marinoski, A. K., & Ghisi, E. (2019). Environmental performance of hybrid rainwater-greywater systems in residential buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, *144*, 100–114. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.035

Mazurkiewicz, K., Jeż-Walkowiak, J., & Michałkiewicz, M. (2022). Physicochemical and microbiological quality of rainwater harvested in underground retention tanks. *Science of the Total Environment*, *814*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152701

Melo, F. D. M. (2014). *Aproveitamento de Águas Pluviais para Rega* [Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL)]. https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4355/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf

Naddeo, V., Scannapieco, D., & Belgiorno, V. (2013). Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of Hydrology*, *498*, 287–291. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.012

NASA. (2022a). *The Global Precipitation Measurement Mission (GPM)*. National Aeronautics and Space Administration. https://gpm.nasa.gov/missions/GPM#imerg:twodecadesofglobalprecipitationdata

NASA. (2022b). *The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*. National Aeronautics and Space Administration. https://gpm.nasa.gov/missions/trmm

Neves, M. V., & Afonso, A. da S. (2010). Especificações técnicas para o aproveitamento da água das chuvas e das águas cinzentas nos edifícios. *5ª Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*. https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_5as/12_MVNeves_Especifica%C3%A7%C3%B5esT%C3%A9cnicas.pdf

Padrão, V. M. B. do R. (2016). *Redes de Drenagem de Águas Pluviais - A integração e o desenvolvimento de órgãos acessórios* [Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)]. https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/82755/2/119160.pdf

Rain Harvesting. (2020). *Total Rain: First Flush Diverters*. https://rainharvesting.com.au/products/first-flush-diverters/total-rain/

Rodrigues, J. C. M. R. (2010). *Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais - Dimensionamento e Aspetos Construtivos* [Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP)]. https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59906/1/000143449.pdf

Santos, C. M. M. (2012). *Otimização Ambiental do Uso de Água em Edifícios* [Tese de Doutoramento]. Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto (FEUP).

Santos, C., & Taveira-Pinto, F. (2013). Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling*, *71*, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.11.004

Santos, C., Taveira-Pinto, F., Cheng, C. Y., & Leite, D. (2012). Development of an experimental system for greywater reuse. *Desalination*, *285*, 301–305. https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.017

Santos, C., Taveira-Pinto, F., & Cheng, C.-Y. (2011). Otimização do consumo de água em edifícios. Implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas. *6º Jornadas de Hidráulica, Recursos Híbridos e Ambiente [FEUP]*. https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_6as/8_CSantos_Optimiza%C3%A7%C3%A3oDoConsumo.pdf

Shaikh, I. N., & Ahammed, M. M. (2020). Quantity and quality characteristics of greywater: A review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 261). Academic Press. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110266

Silva, C. M., Sousa, V., & Carvalho, N. V. (2015). Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. *Resources, Conservation and Recycling*, *94*, 21–34. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.004

Sturdy Products. (2022). *RainWater Filter*. https://www.sturdyproducts.com/products/water-tanks-types/rainwater-harvesting-system/rainwater-harvesting-component-parts/rainwater-filter/

Vale, A. B. M. H. (2011). *Qualidade de águas pluviais em meio urbano: Caso de estudo do parque de estacionamento do Instituto Superior Técnico* [Tese de Mestrado]. Instituto Superior Tecnico - Universidade Técnica de Lisboa.

Valente Neves, M., Bertolo, E., & Rossa, S. (2006). Aproveitamento e Reutilização da Água para Usos Domésticos. *1ª Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*. https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_1as/RevistaHRHA6_AproveitamentoReutilizacao_VERFINAL.pdf

Verdade, J. H. de O. (2008). *Aproveitamento de Água das Chuvas e Reutilização de Águas Cinzentas* [Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)]. https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57595/2/Texto%20integral.pdf

WHO. (2021). *Guidelines for Drinking-water Quality* (pp. 45–76). World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

Yang, X., Li, Y. P., Huang, G. H., Li, Y. F., Liu, Y. R., & Zhou, X. (2022). Development of a multi-GCMs Bayesian copula method for assessing multivariate drought risk under climate change: A case study of the Aral Sea basin. *Catena*, *212*. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106048

Zhang, L., Njepu, A., & Xia, X. (2021). Minimum cost solution to residential energy-water nexus through rainwater harvesting and greywater recycling. *Journal of Cleaner Production*, *298*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126742

Anexos

A. Dados de Base do SAPRA

Os valores de capitação utilizados em estudos de sistemas de aproveitamos de águas pluviais e/ou reutilização de águas cinzentas, devem, sempre que possível, ser os valores reais de consumo do edifício. Para o estudo realizado no âmbito desta dissertação, consideram-se para valores de capitação diária semanal e a distribuição dos consumos para edifícios unifamiliares, multifamiliares e serviços presentes nas Tabela A.1, Tabela A.2 e Tabela A.3.

Tabela A.1 - Capitação e distribuição de consumos para edifícios unifamiliares

Capitação (L/hab/dia)		**Distribuição de consumos**			
Edif. Unifamiliar		Potável		Não Potável	
Seg	83	Chuveiros/Banheiras	31,0%	Autoclismos	28,0%
Ter	85	Lavatórios	10,0%	Lavagens	5,0%
Qua	84	Bidés	1,0%	Rega	7,0%
Qui	106	Lava-loiças	5,0%	Maq. Roupa	8,0%
Sex	102	Maq. Loiça	2,0%		
Sab	138				
Dom	114				

Fonte: Santos, 2012

Tabela A.2 - Capitação e distribuição de consumos para edifícios multifamiliares

Capitação (L/hab/dia)		**Distribuição de consumos**			
Edif. Multifamiliar		Potável		Não Potável	
Seg	83	Chuveiros/Banheiras	36,0%	Autoclismos	30,0%
Ter	79	Lavatórios	9,0%	Maq. Roupa	9,0%
Qua	81	Bidés	1,0%	Lavagens	2,0%
Qui	83	Lava-loiças	4,0%		
Sex	79	Maq. Loiça	2,0%		
Sab	95				
Dom	88				

Fonte: Santos, 2012

Tabela A.3 - Capitação e distribuição de consumos para edifícios de serviços

Capitação (L/hab/dia)		**Distribuição de consumos**			
Edif. Serviços		Potável		Não Potável	
Seg	33	Lavatórios e Chuveiros	17,0%	AVAC e Torres	31,0%
Ter	36,5	Cantinas	5,7%	Sanitas	27,1%
Qua	37,6			Urinóis	12,6%
Qui	37,4			Rega	6,0%
Sex	34			Lavagens	0,6%
Sab	4				
Dom	3,9				

Fonte: Santos, 2012

Na Tabela A.4 apresentam-se os coeficientes de escoamento utilizados e publicados na ETA 0701 (ANQIP, 2021).

Tabela A.4 - Tipos de cobertura e coeficientes de escoamento (ANQIP, 2021)

Tipo de cobertura	**Coef. De escoamento**
Impermeável	0,9
Plana com gravilha	0,7
Verde extensiva	0,5
Verde intensiva	0,3

Relativamente aos tarifários, na Tabela A.5 apresenta-se os valores para os dois concelhos em estudo: Porto e Ovar (ADRA, 2022; Águas do Porto, 2022b).

Relativamente aos custos de materiais e equipamentos, os valores utilizados por Santos, 2012) foram atualizados considerando uma inflação 5,7% face aos valores de 2011. Este valor corresponde ao índice de custo de construção de habitação nova (Taxa de variação média anual – Base 2015), consultado no Instituto Nacional de Estatística (INE) (INE, 2022). Na Tabela A.6, Tabela A.7 e Tabela A.8 apresentam-se os custos unitários para os materiais mais utilizados nas redes de abastecimento, drenagem de águas residuais domésticas e drenagem de pluviais, respetivamente.

Tabela A.5 - Tarifários para o Porto e Ovar

		Porto			Ovar		
		Águas do Porto E.M., 2022			AdRA, 2022		
ABASTECIMENTO	Tipo de cálculo	Escalões		€/m³	Escalões		€/m³
	Moradia / Edifício Multifamiliar	1	5	0,5096	1	5	0,61
		6	15	0,9945	6	15	0,952
		16	20	1,8198	16	25	1,6337
		21	>	3,0937	26	>	1,9837
	Tipo de cálculo	Tarifa única		€/m³	Tarifa única		€/m³
	Comércio			1,8198			1,8204
	Tipo de cálculo	Tarifa única		€/m³	Tarifa única		€/m³
	Serviços			1,8198			1,8204
SANEAMENTO	Tipo de cálculo	Escalões		€/m³	% sobre tarifa de abastec		%
	Moradias / Edifícios Multifamiliares	1	5	0,2623			90
		6	15	0,4972			
		16	20	0,9099			
		21	>	1,5468			
	Tipo de cálculo	Tarifa única		€/m³	% sobre tarifa de abastec		%
	Comércio			1,4559			90
	Tipo de cálculo	Tarifa única		€/m³	% sobre tarifa de abastec		%
	Serviços			1,4559			90
RESÍDUOS	Tipo de cálculo	Nd			Nd		
	Moradias / Edifícios Multifamiliares			0			0
	Tipo de cálculo	Nd			Nd		
	Comércio			0			0
	Tipo de cálculo	Nd			Nd		
	Serviços			0			0

Tabela A.6 - Preços unitários de tubagens e acessórios de redes de abastecimento

Tubagem	Unifamiliar		Multifamiliar		Comercio		Serviços	
	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios
PEAD	10,37 €	70%	19,03 €	74%	17,97 €	46%	15,36 €	105%
Tricomposto	14,69 €	70%	17,12 €	74%	7,10 €	46%	21,92 €	105%
PER (Tubo Flex)	9,38 €	70%	7,40 €	74%	7,40 €	46%	8,46 €	105%
PVC	15,32 €	70%	18,86 €	74%	18,86 €	46%	18,86 €	105%
PP-R	15,35 €	70%	15,73 €	74%	16,40 €	46%	16,05 €	105%
Aço-Inox	19,78 €	70%	43,42 €	74%	36,76 €	46%	37,16 €	105%

Tabela A.7 - Preços unitários de tubagens e acessórios de redes de drenagem de águas residuais domésticas

Tubagem	Unifamiliar		Multifamiliar		Comercio		Serviços	
	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios
PP	17,27 €	115%	15,91 €	61%	47,93 €	74%	20,52 €	102%
PVC	19,76 €	115%	18,09 €	61%	25,24 €	74%	20,64 €	102%
FF	68,94 €	115%	68,94 €	61%	65,48 €	74%	64,51 €	102%

Tabela A.8 - Preços unitários de tubagens e acessórios de redes de drenagem de águas pluviais

Tubagem	Unifamiliar		Multifamiliar		Comercio		Serviços	
	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios	€/m	Acessórios
PP	20,73 €	74%	24,99 €	46%	69,74 €	38%	26,66 €	98%
PVC	27,44 €	74%	26,93 €	46%	38,99 €	38%	32,45 €	98%
Ferro galvanizado	59,10 €	74%	42,28 €	46%	42,28 €	38%	35,41 €	98%
Aço Inox	51,90 €	74%	12,76 €	46%	12,76 €	38%	12,76 €	98%
FF	68,79 €	74%	75,16 €	46%	71,78 €	38%	68,79 €	98%
PEAD	14,01 €	74%	14,01 €	46%	13,78 €	38%	14,01 €	98%
Pluvia	26,53 €	74%	26,53 €	46%	42,79 €	38%	26,53 €	98%

O custo da construção do reservatório foi também atualizado considerando a mesma taxa de inflação, Tabela A.9.

Tabela A.9 - Custo da construção do reservatório

Custo unitário	
Betão armado	317,1 €/m^3
Movimento de terras	15,86 €/m^3

B. Dados de Precipitação

Os dados do SNIRH para o Porto apresentavam falhas nos anos 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013 e os dados de Ovar em 2013, 2014 e 2015. Na Figura B.1 apresenta-se a comparação entre os dados de precipitação mensal recolhida pelo SNIRH, para o período compreendido entre 2005 e 2016, com os satélites TRMM e GPM da NASA para a região do Porto, e na Figura B.2 para Ovar.

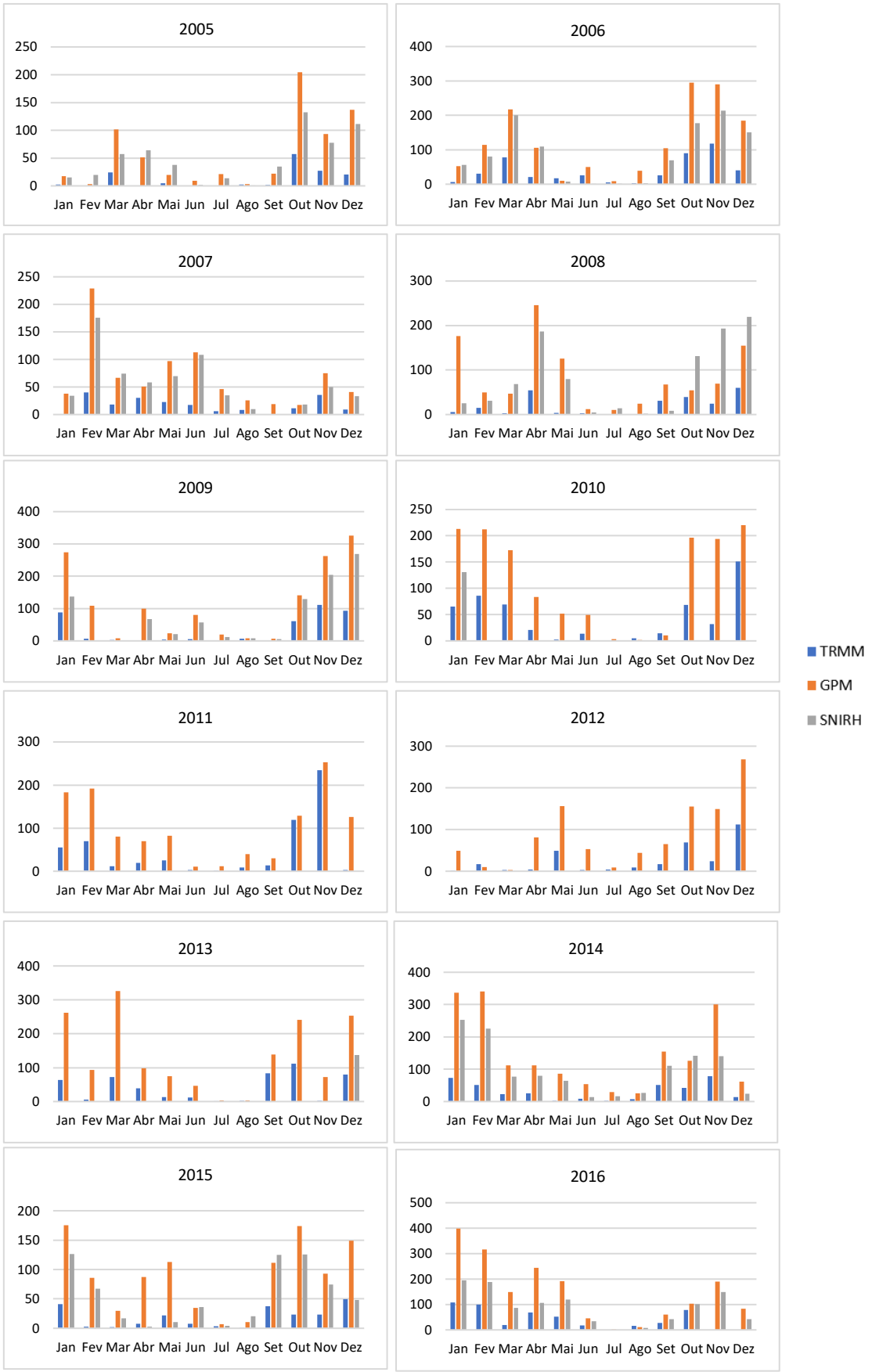


Figura B.1 - Comparação entre os dados mensais de precipitação recolhidos no SNIRH, com os satélites TRMM e GPM da NASA para o Porto.



Figura B.2 - Comparação entre os dados mensais de precipitação recolhidos no SNIRH, com os satélites TRMM e GPM da NASA para Ovar.

C. Resultados obtidos no SAPRA e outros valores

Nas Tabela C.1, Tabela C.2, Tabela C.3 e Tabela C.4 apresentam-se os resultados obtidos no SAPRA para a moradia, edifício multifamiliar, edifício B da FEUP e edifício H da FEUP, respetivamente.

Tabela C.1- Moradia: Resultados do SAPRA

Resultados SAPRA	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**	**Cenário 4**	**Cenário 5**
	Br	Br, R	Br, Mr	Br, R, Mr	Br, R, Mr, Lav
V_R (m^3)	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0
V_C (m^3/ano)	41,9	82,9	56,5	97,5	105,0
V_{AP} (m^3/ano)	0	8,0	0,7	9,3	11,4
V_{AC} (m^3/ano)	41,9	47,7	55,7	57,7	61,4
V_{Pot} (m^3/ano)	0	27,2	0	30,4	32,1
Custo de instalação (€)	14 054	14 957	14 146	15 042	15 311
Poupança média anual (€/ano)	76	100	102	120	130
Período de retorno (ano)	227	176	160	143	133

Tabela C.2 - Edifício Multifamiliar: Resultados do SAPRA

Resultados SAPRA	**Cenário 1**	**Cenário 3**
	Br	Br, Mr
V_R (m^3)	10,0	215,0
V_C (m^3/ano)	2 878,9	77 138,1
V_{AP} (m^3/ano)	0,0	2 100,1
V_{AC} (m^3/ano)	2 878,9	4 088,0
V_{Pot} (m^3/ano)	0	70 928,5
Custo de instalação (€)	67 251	100 458
Poupança média anual (€/ano)	13 359	28 816
Período de retorno (ano)	5	3

Tabela C.3 – Edifício B da FEUP: Resultados do SAPRA

Resultados SAPRA	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 6**
	Br	Br, R	R
V_R (m^3)	50,0	75,0	30,0
V_C (m^3/ano)	12 066,2	14 621,9	2 555,7
V_{AP} (m^3/ano)	2 005,8	2 208,6	116,4
V_{AC} (m^3/ano)	4 038,0	4 051,6	1 560,7
V_{Pot} (m^3/ano)	6 017,5	8 354,2	878,6
Custo de instalação (€)	93 643	97 751	68 158
Poupança média anual (€/ano)	19 814	20 531	5 494
Período de retorno (ano)	4	4	12

Tabela C.4 - Edifício H da FEUP: Resultados do SAPRA

Resultados SAPRA	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 6**
	Br	Br, R	R
V_R (m^3)	10,0	30,0	30,0
V_C (m^3/ano)	304,8	2 860,5	2 555,7
V_{AP} (m^3/ano)	161,9	375,2	260,7
V_{AC} (m^3/ano)	123,4	125,6	68,0
V_{Pot} (m^3/ano)	19,0	2 356,7	2 224,0
Custo de instalação (€)	63 462	69 762	60 487
Poupança média anual (€/ano)	936	1 530	964
Período de retorno (ano)	78	50	71

Na Tabela C.5 apresentam-se os resultados obtidos para o volume de águas pluviais produzidas ($V_{AP\ Produzidas}$), volume de águas cinzentas produzidas ($V_{\ AC\ Produzidas}$), o volume de água potável necessária ($V_{Água\ pot\ nec}$) e o volume de águas residuais (V_{AR}).

Tabela C.5 - Outros Resultados para: Moradia, Edifício Multifamiliar, Edifício B da FEUP e Edifício H da FEUP

Tipo de edifício	Moradia	Edifício Multifamiliar	Edifício B da FEUP	Edifício H da FEUP
$V_{AP\ Produzidas}$ (m^3/ano)	219	2 386	6 373	4 032
$V_{AC\ Produzidas}$ (m^3/ano)	63	4 088	4 088	131
$V_{Água\ Pot\ nec}$ (m^3/ano)	149	9 570	30 309	766
V_{AR} (m^3/ano)	119	7 656	24 248	613