



Avaliação Técnico-Económica de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edifícios Comerciais

Casos de Estudo da Sonae Sierra

Maria Inês Batista Ponces

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores:

Professora Doutora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva

Professor Doutor Vítor Faria e Sousa

Júri

Presidente: Professor Doutor Augusto Martins Gomes

Orientador: Professora Doutora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva

Vogal: Professora Doutora Cristina Maria Monteiro dos Santos

Outubro de 2015

AGRADECIMENTOS

Creio que passei mais tempo a idealizar esta página do que qualquer outra deste trabalho. Se, ainda assim, me faltar alguém, as minhas mais sinceras desculpas.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professora Cristina Matos Silva e Professor Vítor Faria e Sousa, pela atenção, acompanhamento, material e, sobretudo, pelos desafios. Foram os desafios que me lançaram que ditaram o próximo grande passo da minha vida.

Aos membros da Sonae Sierra que de alguma forma estiveram envolvidos, pela disponibilidade de informação e pelos esclarecimentos prestados ao longo deste desenvolvimento do trabalho.

Agradeço também aos que me acompanharam mais de perto nesta última etapa, nomeadamente ao João Brogueira, por me ajudar a superar problemas com o código, ao Pedro Teixeira, pelo constante apoio e companheirismo, e ao César, pelo interminável apoio, motivação e longas horas de trabalho lado a lado.

Aos meus grandes amigos e amigas, e em especial à Inês, João, Adriana, Ana, Catarina, César, Duarte, Mariana Amorim, Mariana Figueiredo e Sofia, um muitíssimo obrigada, por tudo, do fundo do coração. A vida não seria nem de perto tão divertida (nem tão fantástica) sem qualquer um de vós!

Agradeço também à minha família, que tanto estimo, em especial à comunidade do 5º e do 6ºC (como carinhosamente nos tratamos), pelo constante apoio, atitude positiva, disponibilidade, esperança e força que sempre me deram.

Aos meus pais, o maior dos agradecimentos. Acho que não podia ter tido mais sorte. Um gigantesco obrigada pela dedicação, paciência e amor e por, apesar de todas as minhas falhas, nunca me terem falhado.

RESUMO

A água é um recurso essencial e cada vez mais escasso, devendo ser preservado. A evolução da vida humana tem vindo a contribuir para a diminuição global da disponibilidade de água potável, tornando-se urgente a redução do seu consumo. Os sistemas de aproveitamento de água pluvial surgem como uma possível solução, sendo caracterizados por requererem uma grande área de recolha e consumo em utilizações não potáveis, como bacias de retrete, torres de arrefecimento, rega, fontes, limpezas, entre outros.

A presente dissertação pretende contribuir para a promoção da eficiência hídrica, focando na aplicação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios comerciais. Para tal foi desenvolvida uma ferramenta de avaliação técnica destes sistemas, complementada com a análise financeira comparativa das várias opções alternativas, permitindo seleccionar o investimento mais apelativo.

A ferramenta foi validada por comparação de resultados de poupanças reais no Centro Comercial Colombo, em Lisboa (9,4%), com os estimados pela ferramenta (9,4%) e aplicada na análise de viabilidade técnico-económica a dois centros comerciais da Sonae Sierra. A consideração da maioria da área de cobertura motivou a que no primeiro caso, localizado em Viana do Castelo, Portugal, se aconselhe a instalação de um tanque de 200m³, estimando-se poupanças de água não potável na ordem dos 60%, e um período de retorno de aproximadamente 25 anos. No caso de estudo localizado em São Paulo, no Brasil, sugerem-se tanques entre 100 e 400m³, proporcionando poupanças não potáveis entre 20 e 50% e períodos de retorno inferiores a dois anos.

PALAVRAS-CHAVE

Sistema de aproveitamento de água pluvial; Edifícios comerciais; Viabilidade técnico-económica; Ferramenta de avaliação técnica.

ABSTRACT

Water is an essential and increasingly scarce resource that should be preserved. The evolution of human life has contributed to the global decrease of potable water availability and therefore, the reduction of its consumption is compulsory. Rainwater harvesting systems emerge as a possible solution, being characterized by large collecting areas and water consumption in non-potable uses, such as toilet flushes, cooling towers, irrigation, fountains, cleaning services, among others.

This thesis aims to contribute to the promotion of water efficiency, focusing on the application of rainwater harvesting systems to commercial buildings. A technical evaluation tool has been developed complemented by a comparative financial analysis of the different alternatives in order to select the most adequate investment. The tool validation was performed through the comparison of the real results from Colombo Shopping Centre, in Lisbon (9,4%), with the estimated savings by its application (9,4%), and it was applied to two of Sonae Sierra's shopping centers, considering almost the entire collection area. The installation of a 200m³ is advised for the first case-study, located in Viana do Castelo, Portugal, allowing non-potable water savings of 60% and a payback period of about 25 years. In the case-study located in São Paulo, Brazil, the implementation of a 100 to 400 m³ tank is advised, leading to estimated non-potable savings between 20 and 50% and a payback period under two years.

KEYWORDS

Rainwater harvesting systems; Commercial buildings; Technical-economic feasibility; Technical evaluation tool.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1 Aspetos gerais e enquadramento	1
1.2 Objetivos e metodologia	1
1.3 Organização	2
2. Revisão de Conhecimentos.....	3
2.1 Consumo de Água.....	3
2.1.1 A evolução do consumo	3
2.1.2 Consumos em Portugal e no mundo.....	6
2.2 Utilização de Águas Pluviais.....	10
2.2.1 A quantidade de água pluvial	10
2.2.2 A qualidade da água pluvial	12
2.2.3 Caracterização de um sistema de aproveitamento de água pluvial.....	14
2.2.4 Métodos de dimensionamento.....	17
2.2.5 Implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais	22
3. Metodologia de Cálculo	27
3.1 Avaliação técnica	27
3.2 Ferramenta de avaliação técnica	28
3.3 Viabilidade financeira	33
4. Validação da Ferramenta de Avaliação Técnica.....	35
4.1 Aplicação a edifícios comerciais.....	35
4.2 Caso de estudo: Centro Comercial Colombo	35
4.3 Comparação de resultados.....	36
4.4 Análise paramétrica.....	38
4.4.1 Abordagem.....	38
4.4.2 Formato da série de precipitação.....	39
4.4.3 Posto de precipitação	41
4.4.4 Distribuição temporal do consumo	43
4.4.5 Quantidade de água inicialmente rejeitada.....	44
4.4.6 Fração de precipitação antes do consumo	44
5. Caso de Estudo: Estação Viana Shopping	47
5.1 Apresentação	47
5.2 Avaliação técnica	47
5.3 Viabilidade financeira	52
5.4 Análise de resultados.....	54
6. Caso de Estudo: Boavista Shopping.....	55
6.1 Apresentação	55
6.2 Avaliação técnica	56
6.3 Viabilidade financeira	60
6.4 Análise de resultados.....	61
7. Conclusões	63
Referências Bibliográficas	65
Anexos	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição de água no planeta.	3
Figura 2.2 – Consumo de água em diversos locais.	4
Figura 2.3 – Distribuição do consumo de água por utilizações, por país.	5
Figura 2.4 – Distribuição do consumo de água por sectores, período de 2010-2014, por país.	7
Figura 2.5 – Simbologia dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio.	8
Figura 2.6 – Autossuficiência hídrica em áreas urbanas, em edifícios selecionados.	10
Figura 2.7 – Comparação parcial dos recursos de água pluvial no mundo.	11
Figura 2.8 – Esquematização dos componentes de um SAAP.	14
Figura 2.9 – Poupança de água em função do volume do tanque (prédio de habitação em Coimbra).	15
Figura 2.10 – Poupança de água em função de área de captação e tanque.	16
Figura 2.11 – Fukuoka Dome.	24
Figura 3.1 – Folha de introdução de dados, em MS Excel, do ficheiro de entrada (exemplo).	28
Figura 3.2 – Introdução de dados no programa, por parte do utilizador (exemplo).	29
Figura 3.3 – Fluxograma do funcionamento geral do programa.	30
Figura 3.4 – Fluxograma do funcionamento do tratamento de resultados.	31
Figura 3.5 – Apresentação dos dados no ficheiro de resultados do programa (exemplo).	32
Figura 3.6 – Apresentação dos resultados no ficheiro de resultado do programa (excerto exemplificativo). .	32
Figura 4.1 – Localização do Centro Comercial Colombo.	35
Figura 4.2 – CCC: Consumos médios reais, inseridos na simulação.	36
Figura 4.3 – CCC: Eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%).	39
Figura 4.4 – CCC: Grau de poupança de água não potável (%).	39
Figura 4.5 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função dos dados de precipitação (diários ou médios diários).	40
Figura 4.6 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função dos dados de precipitação.	40
Figura 4.7 – Precipitação mensal utilizando diferentes séries de precipitação.	40
Figura 4.8 – Localização dos postos de precipitação nas proximidades do CCC.	41
Figura 4.9 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função dos postos de precipitação.	42
Figura 4.10 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função dos postos de precipitação.	42
Figura 4.11 – Volume de água armazenada e recolhida em função dos postos de precipitação.	42
Figura 4.12 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função do consumo considerado.	43
Figura 4.13 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função em função do consumo considerado.	43
Figura 4.14 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função da altura do ff.	44
Figura 4.15 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função em função da altura do ff.	44
Figura 4.16 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função da fração de precipitação antes do consumo.	45
Figura 4.17 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função em função da fração de precipitação antes do consumo.	45
Figura 5.1 – Localização do centro comercial Estação Viana Shopping.	47
Figura 5.2 – EVS: Contornos exteriores.	47
Figura 5.3 – EVS: Distribuição do consumo de água em 2013 por utilizações.	48
Figura 5.4 – EVS: Consumo total não potável, por cenário considerado.	49

Figura 5.5 – EVS: Localização dos postos de precipitação próximos do centro comercial.	50
Figura 5.6 – EVS: Precipitação anual em quatro postos de precipitação próximos do centro comercial.	50
Figura 5.7 – EVS: Eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%).	51
Figura 5.8 – EVS: Eficiência de aproveitamento total de AP (%).	51
Figura 5.9 – EVS: Grau de poupança de água não potável (%).	52
Figura 5.10 – EVS: Grau de poupança total de água (%).	52
Figura 5.11 – EVS: Análise de sensibilidade ao PRI em função do aumento das tarifas.	54
Figura 6.1 – Localização do centro comercial Boavista Shopping.	55
Figura 6.2 – BS: Contornos exteriores.	55
Figura 6.3 – BS: Distribuição do consumo de água em 2014 por utilizações.	56
Figura 6.4 – BS: Consumo total e consumo não potável, em 2014.	57
Figura 6.5 – BS: Distribuição do consumo não potável de água em 2014, por utilizações.	57
Figura 6.6 – BS: Localização dos postos de precipitação próximos do centro comercial.	58
Figura 6.7 – BS: Eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%).	59
Figura 6.8 – BS: Eficiência de aproveitamento total de AP (%).	59
Figura 6.9 – BS: Grau de poupança de água não potável (%).	59
Figura 6.10 – BS: Grau de poupança total de água (%).	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Quantidade de água cinzenta produzida em edifícios residenciais face à água potável consumida.	10
Quadro 2.2 – Resumo dos valores de altura de first flush considerados em vários estudos.	13
Quadro 2.3 – Coeficientes de escoamento em função do tipo de telhado.	16
Quadro 2.4 – Métodos de dimensionamento empíricos.	18
Quadro 2.5 – Métodos de dimensionamento analíticos.	18
Quadro 2.6 – Análise comparativa de diversos métodos de dimensionamento.	20
Quadro 2.7 – Resumo dos valores de poupança de água associados a vários estudos abordados.	25
Quadro 3.1 – Forma de introdução dos dados no programa.	29
Quadro 3.2 – Frequência de manutenção dos componentes do SAAP.	33
Quadro 4.1 – CCC: Valores reais de poupança.	36
Quadro 4.2 – CCC: Valores estimados de poupança, calculados pela simulação.	37
Quadro 4.3 – CCC: Comparação dos resultados obtidos.	37
Quadro 4.4 – CCC: Redução do caudal pluvial afluyente à rede pública.	38
Quadro 4.5 – Indicadores hidrológicos quanto ao tipo de dados de precipitação considerados.	39
Quadro 4.6 – CCC: dados relativos aos postos de precipitação abordados na análise paramétrica.	42
Quadro 5.1 – EVS: Percentagem de água não potável em cada cenário considerado.	49
Quadro 5.2 – EVS: Áreas de recolha aproveitáveis mais relevantes.	49
Quadro 5.3 – EVS: Dados relativos aos postos de precipitação considerados na simulação.	51
Quadro 5.4 – EVS: Quadro resumo.	53
Quadro 6.1 – BS: Percentagem não potável assumida, em cada categoria considerada.	57
Quadro 6.2 – BS: Áreas de recolha aproveitáveis mais relevantes.	58
Quadro 6.3 – BS: Dados relativos aos postos de precipitação considerados na simulação.	59
Quadro 6.4 – BS: Quadro resumo.	61

SIGLAS E ACRÓNIMOS

ANQIP – Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais

AP – Água pluvial

CCC – Centro Comercial Colombo

EVS – Estação Viana Shopping

FF – *First flush*

PNUEA – Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água

PRI – Período de Retorno do Investimento

SAAP – Sistema de aproveitamento de águas pluviais

WHO – *World Health Organization* – Organização Mundial de Saúde

1. INTRODUÇÃO

1.1 Aspetos gerais e enquadramento

A água é um recurso essencial que tem contribuído ativamente no desenvolvimento de Vida e na evolução das espécies. No entanto, o aparecimento do ser humano causou um forte impacto no ciclo da água, em particular a água doce, não só ao nível da quantidade disponível (consumo de água potável), mas também ao nível da qualidade (poluição).

Em edifícios habitacionais localizados em países como Austrália, China, Coreia do Sul, Síria, Holanda, Alemanha, Reino Unido e Portugal foram já realizados estudos que estimam que o consumo de água possa variar entre os 120 e os 200 L/habitante.dia (Willis et al. 2008; Lu & Smout 2008; Schuetze & Santiago-Fandiño 2013; Mourad et al. 2011; Parker & Wilby 2012; Matos et al. 2013a), resultando num valor médio de cerca de 150 L/habitante.dia. No entanto, estima-se que cerca de 50% desse consumo seja feito em descargas dos autoclismos e na utilização de máquinas de lavar roupa (Willis et al. 2008; Parker & Wilby 2012; Mourad et al. 2011; Schuetze & Santiago-Fandiño 2013), que não exigem que a água utilizada seja potável.

Além da preocupação existente quanto ao consumo de água, existem também outras preocupações globais a nível ambiental, nomeadamente o consumo de outros recursos e as emissões de poluentes. Este contexto promove o aumento da eficiência e eficácia no consumo, o desenvolvimento e implementação de soluções recorrendo a energias/recursos alternativos, acordos de reduções das emissões de gases prejudiciais ou o estabelecimento de limites para as descargas poluentes. No contexto dos edifícios e no que concerne à água, destacam-se os equipamentos de baixo consumo, os sistemas de reutilização de águas cinzentas e os sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP).

A presente dissertação pretende abordar os sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios, solução que já tem vindo a ser muito implementada em países como a Austrália, o Brasil ou o Japão, proporcionando significativas poupanças de água.

1.2 Objetivos e metodologia

O contexto da presente dissertação incide principalmente na implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios comerciais, pretendendo-se, em concreto:

- identificar e analisar os estudos sobre SAAP, em especial o seu dimensionamento e implementação em edifícios comerciais;
- desenvolver e validar uma ferramenta para avaliação técnica de SAAP;
- aplicar a ferramenta para avaliar a implementação de SAAP em edifícios comerciais em Portugal e no Brasil;
- avaliar a viabilidade financeira de SAAP em edifícios comerciais em Portugal e no Brasil.

A metodologia seguida na presente dissertação consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta informática em Matlab para a avaliação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, seguindo as melhores práticas e incorporando a experiência e conhecimentos a nível nacional e internacional, procedendo-se à sua validação e aplicação a casos de estudo do universo de edifícios comerciais geridos pela Sonae Sierra.

1.3 Organização

No primeiro capítulo procurou-se introduzir o leitor no tema, salientando a questão da escassez da água e a importância de procurar meios de abastecimento alternativos, tais como sistemas de aproveitamento de água pluvial.

No segundo capítulo é feita a revisão de conhecimentos, onde se procura entender a evolução dos padrões de consumo no mundo e em cada sector de atividade e a forma como isso influenciou mudanças no mundo. Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais surgem como uma alternativa, pelo que é feita a caracterização dos recursos disponíveis e do próprio sistema, identificando-se vários métodos de dimensionamento que se podem utilizar, bem como todos os pressupostos que devem ser tidos em conta. Procurou-se ainda fazer o levantamento da implementação dos SAAP em edifícios comerciais presentemente, salientando o potencial que têm já que grande parte do consumo neste tipo de superfícies destina-se a utilizações não potáveis tais como autoclismos, sistemas de arrefecimento e limpezas diversas.

O terceiro capítulo descreve a metodologia de cálculo que foi adotada na avaliação técnica de um sistema sendo feita a descrição da ferramenta de avaliação técnica que foi desenvolvida. É também descrita a metodologia adotada nas análises de viabilidade financeira.

No quarto capítulo é feita a validação da ferramenta desenvolvida, através da comparação entre os resultados reais de poupança obtidos num sistema já implementado no Centro Comercial Colombo, em Lisboa, Portugal, e os resultados estimados pela ferramenta.

O quinto capítulo incide sobre o Centro Comercial Estação Viana Shopping, em Viana do Castelo, Portugal, para o qual é utilizada a ferramenta de modo a avaliar tecnicamente o desempenho de diversos SAAP. É feito o enquadramento do centro e são justificados todos os parâmetros adotados na simulação. A ferramenta permite estimar as poupanças de água associadas a cada hipótese, e o levantamento das tarifas de água atuais permite a determinação da poupança anual associada a cada sistema. É ainda realizada a análise da viabilidade financeira do investimento de modo a que seja possível tomar uma decisão ponderada quanto ao SAAP a implementar.

No sexto capítulo é feita uma abordagem semelhante à anteriormente descrita para o caso de estudo do Centro Comercial Boavista Shopping, localizado em São Paulo, Brasil.

O sétimo e último capítulo consiste numa síntese do trabalho elaborado e na apresentação das conclusões finais, sendo ainda apresentadas recomendações de desenvolvimento quanto a trabalhos a realizar no futuro.

2. REVISÃO DE CONHECIMENTOS

2.1 Consumo de Água

2.1.1 A evolução do consumo

A água é um dos mais antigos e mais importantes recursos do Planeta Terra, estimando-se que ocupe cerca de 71% da superfície terrestre. No entanto, cerca de 97,5% dessa quantidade é água salgada distribuída por mares e oceanos, sendo possível utilizar apenas 2,5% para satisfazer as necessidades humanas sem recorrer a soluções que envolvam a dessalinização. Como se pode observar na Figura 2.1, desses 2,5% disponíveis estima-se que 68,7% se localize em glaciares e massas de gelo, 30,1% sejam águas subterrâneas e apenas 1,2% da água esteja disponível sobre a forma superficial ou outra (Perlman 2013), o que representa então cerca de 0,03% da quantidade total de água disponível.

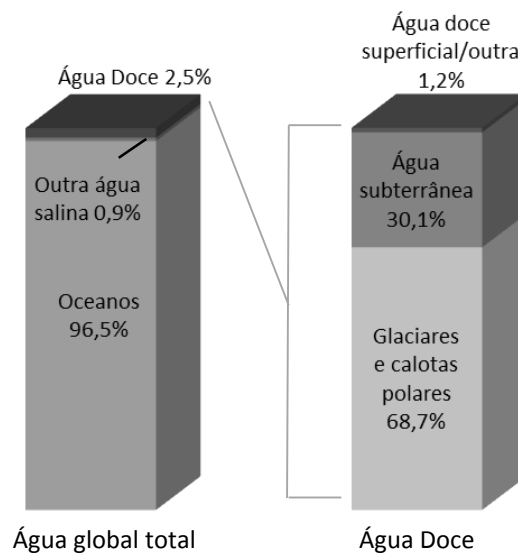


Figura 2.1 – Distribuição de água no planeta.

(Adaptada de: Perlman 2013)

É do conhecimento geral que a água do mar está muito exposta a contaminações de diversos géneros, tais como derrames de petróleo, presença de lixo, incorreto processamento de produtos químicos vindos da indústria, entre outros. Por sua vez, os recursos hídricos existentes no subsolo são mais abundantes do que os disponíveis à superfície da terra, pelo que devem ser preservados (Machado 2014). Os aquíferos existentes estão sujeitos a diversos tipos de contaminação, tendo como possíveis fontes algumas unidades industriais, lixeiras, fossas sépticas e até atividades ligadas à agricultura, quando não são respeitadas as boas práticas agrícolas. É ainda necessário que se mantenha o equilíbrio do aquífero, de forma a assegurar a não contaminação com água salgada (SNIRH n.d.).

Estes tipos de contaminações dos recursos, aliados a consumos cada vez mais elevados de água potável e ao rápido crescimento da população mundial, deverão mais cedo ou mais tarde levar a graves problemas de escassez de água. Só na Austrália, por exemplo, estimou-se que o consumo de água doméstica em quatro das

principais cidades (Sydney, Melbourne, Peth e Brisbane) deverá crescer entre os 33-58%, tendo em conta projeções populacionais para 2031 (Birrell & Smith 2005).

Ao longo do tempo desenvolveram-se conceitos de saneamento, de distribuição de água, de higiene e limpeza, e todas essas utilizações associadas a países mais desenvolvidos fizeram com que o consumo de água disparasse. Atualmente a água é utilizada tanto para consumo direto (por ingestão) como em banheiras/duches, lavatórios, bidés, máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar loiça e descargas de autoclismo. A Figura 2.2, que resulta da compilação de valores obtidos por estudos realizados em diversos países (respetivamente indicados mais abaixo) e de dados do Quênia, Nigéria e Angola referentes ao ano de 2014 retirados do *website* Data360 (Data 360 n.d.), permite analisar graficamente a quantidade de água consumida em cada local.

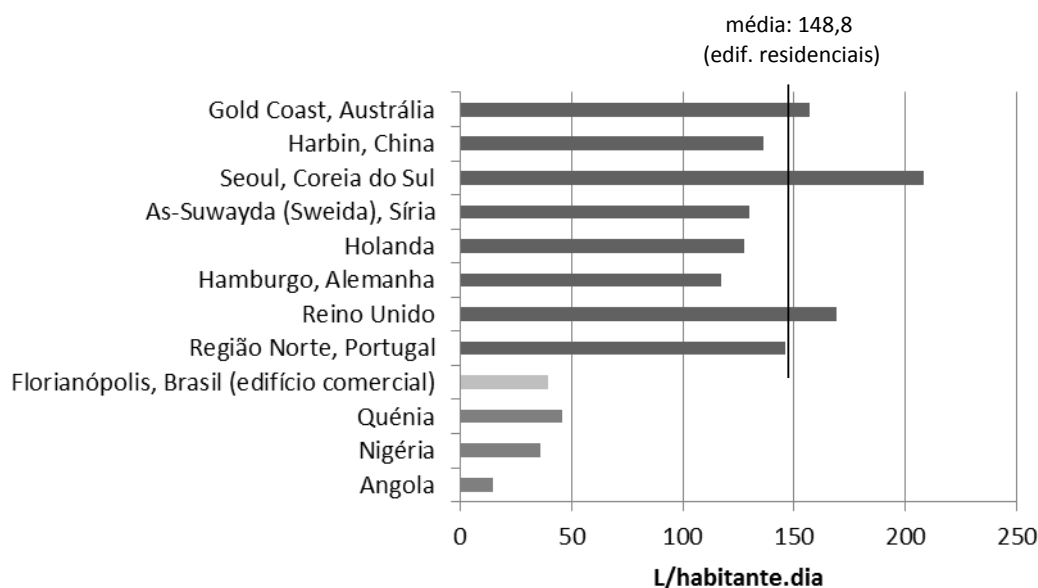


Figura 2.2 – Consumo de água em diversos locais.

(Fontes: Willis et al. 2008; Lu & Smout 2010; Schuetze & Santiago-Fandiño 2013; Mourad et al. 2011; Parker & Wilby 2012; Matos et al. 2013a; Proença & Ghisi 2010; Data 360 n.d.)

É possível observar que a média registada para os edifícios habitacionais dos estudos em questão é bastante superior aos valores referentes a países como o Quênia, a Nigéria e Angola, que além de serem países com menor precipitação são também classificados como países em desenvolvimento, existindo uma possibilidade muito inferior de acesso à água. É ainda possível observar que a capitação referente ao edifício comercial estudado no Brasil (Proença & Ghisi 2010) é muito inferior à média dos edifícios residenciais dos estudos, mas que se assemelha à capitação prevista para edifícios comerciais em Portugal, que corresponde a 50 L/habitante.dia, segundo o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 Agosto.

No entanto, nem todas as utilizações da água exigem que esta tenha que ser potável (apesar de geralmente ainda se proceder dessa forma), o que constitui um desperdício de água potável significativo, já que grande parte do consumo é feito pelas descargas dos autoclismos e pela utilização de máquinas de lavar roupa (lavandaria).

Estudos realizados estimam que no Reino Unido, por exemplo, cerca de 30% da água potável para fins domésticos era usada na descarga do autoclismo e transporte de águas residuais (Fewkes 1999), valor que se manteve relativamente constante ao longo do tempo, contabilizando em 2012 uma percentagem de 32,4% (Parker & Wilby 2012). Na Suécia, por exemplo, estimou-se que esse valor seria de 20% (Brånvall et al. 1999). Na Holanda, em Hamburgo e em Seoul, mais recentemente, estimou-se que a água gasta em autoclismos represente cerca de 30% do total de água consumida nos edifícios de habitação estudados (Schuetze & Santiago-Fandiño 2013), e no Brasil concluiu-se, através da análise de dez edifícios de escritórios, que essa parcela era de 52-84% do total de água consumida (Proença & Ghisi 2010). Estes valores são muito significativos, representando uma parcela significativa do consumo de água potável que acaba por ser utilizada para fins não potáveis, tal como se pode verificar na Figura 2.3.

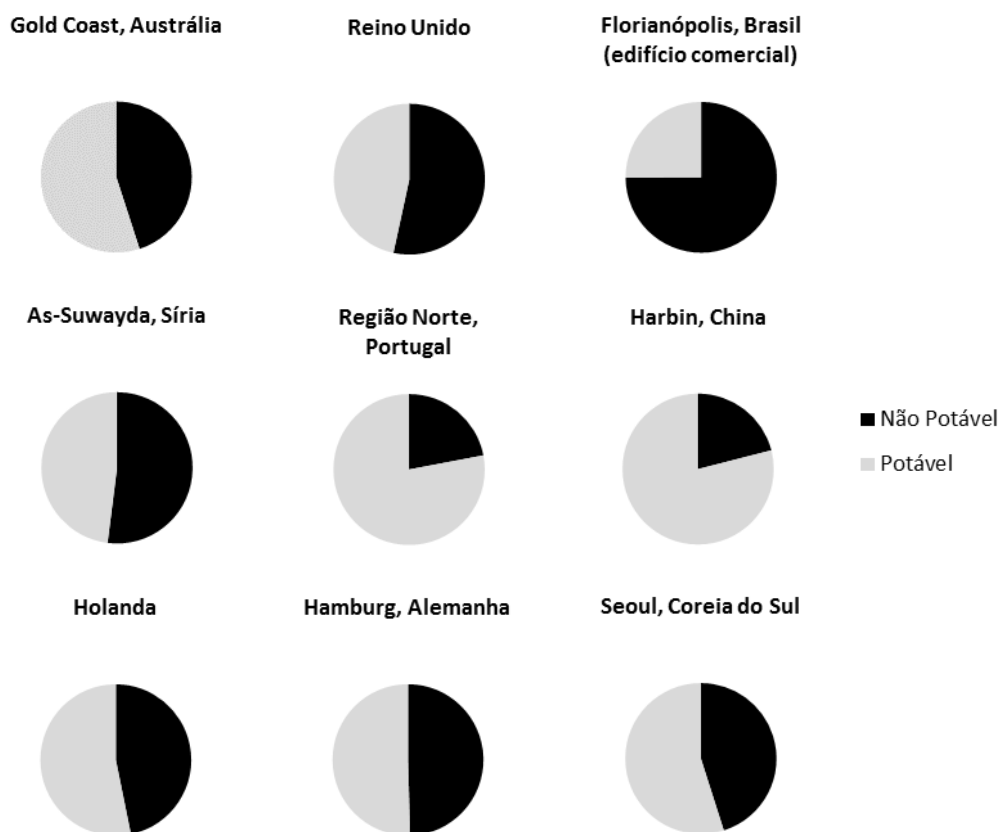


Figura 2.3 – Distribuição do consumo de água por utilizações, por país.

(Fontes: Willis et al. 2008; Lu & Smout 2010; Schuetze & Santiago-Fandiño 2013; Mourad et al. 2011; Parker & Wilby 2012; Matos et al. 2013a; Proença & Ghisi 2010)

Constata-se que os consumos com fins não potáveis, nomeadamente autoclismos, lavandaria, rega, limpezas, representam pelo menos cerca de 25% do consumo, sendo que na maioria dos casos representam praticamente 50% do consumo, chegando a atingir cerca de 75% em edifícios comerciais (Proença & Ghisi 2010). A cor cinzenta encontra-se a percentagem de consumo associada a cozinha, torneiras, banho e outros, onde o consumo potável está inserido, por excesso.

Dos estudos revistos averiguou-se que o banho representa em média 30% do consumo total em edifícios habitacionais e quase 55% do consumo anteriormente considerado como potável (Willis et al. 2008; Lu & Smout

2010; Schuetze & Santiago-Fandiño 2013; Mourad et al. 2011; Parker & Wilby 2012; Matos et al. 2013a; Proença & Ghisi 2010). Neste seguimento foram já desenvolvidos alguns aparelhos que reduzem o consumo da água durante esta atividade, tais como o *Water Recycling Shower* (CINTEP n.d.). Este aparelho, desenvolvido por Peter Brewin, funciona com base na recirculação da água, que é filtrada três vezes e depois é novamente utilizada, resultando numa poupança de água de cerca de 70%. Uma vez que a água reutilizada já está quente, este sistema representa também cerca de 70% de poupança de energia, que também se tem vindo a tornar um tema em foco na sociedade atual. Assim, este tipo de inovações podem vir a ter um papel significativo tanto nas poupanças de energia como nas poupanças de água.

Em Portugal, o Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território desenvolveram em parceria com a Agência Portuguesa do Ambiente o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), pretendendo-se a sua implementação entre 2012 e 2020 (Agência Portuguesa do Ambiente 2012). O Plano é apresentado como um instrumento de gestão imprescindível, centrado na redução das perdas de água e na otimização do seu uso, por forma a evitar as situações de *stress* hídrico (em que as necessidades de água potável excedem os recursos disponíveis) que possam derivar da variabilidade climática do país. Assim, são procuradas alternativas de menor impacto financeiro e ambiental, de forma a promover a eficiência da utilização dos recursos.

O Plano foi desenvolvido tendo uma série de objetivos específicos em relação ao sector industrial, urbano e agrícola, visando sempre o uso eficiente da água. Nos objetivos relativos ao sector urbano é inclusivamente mencionado que se deve “Reduzir ao mínimo o uso da água potável em atividades que possam ter o mesmo desempenho com águas de qualidade alternativa e de outras origens que não a rede pública de água potável, promovendo a utilização de água pluvial e a eventual reutilização de águas residuais tratadas”, fazendo-se ainda menção à atribuição de “prémios e distinções oficiais para equipamentos, instalações e sistemas que demonstrem o seu valor acrescentado ao nível da eficiência e que prestigiem as entidades produtoras de equipamentos e gestoras de sistemas”. No entanto, ao consultar a lista de Medidas propostas, é possível averiguar que apenas a Medida 38 (Utilização de água pluvial em jardins e similares), a Medida 45 (Utilização de água pluvial em lagos e espelhos de água) e a Medida 48 (Utilização de água pluvial em campos desportivos, campos de golfe e outros espaços verdes de recreio) abordam concretamente a questão da reutilização de águas pluviais.

A questão da sustentabilidade hídrica levou, em Portugal, ao nascimento da Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), uma ONG sem fins lucrativos com particular ênfase nas instalações de águas e esgotos. Esta Associação certifica produtos no âmbito da eficiência hídrica, promove seminários, participa na elaboração de normas e dá pareceres em projetos e obras, contribuindo para a implementação de medidas ativas de redução do consumo de água.

2.1.2 Consumos em Portugal e no mundo

O entendimento dos consumos de água contribui para que o planeamento de água de um país seja mais eficaz, tanto a nível de fornecimento de água potável como de drenagem e tratamento de águas residuais, pelo que se torna primeiramente necessário verificar qual a distribuição de água pelos diferentes sectores. Em Portugal, como se pode ver pela Figura 2.4, quase 75% corresponde ao sector da agricultura, semelhante ao verificado noutros países.

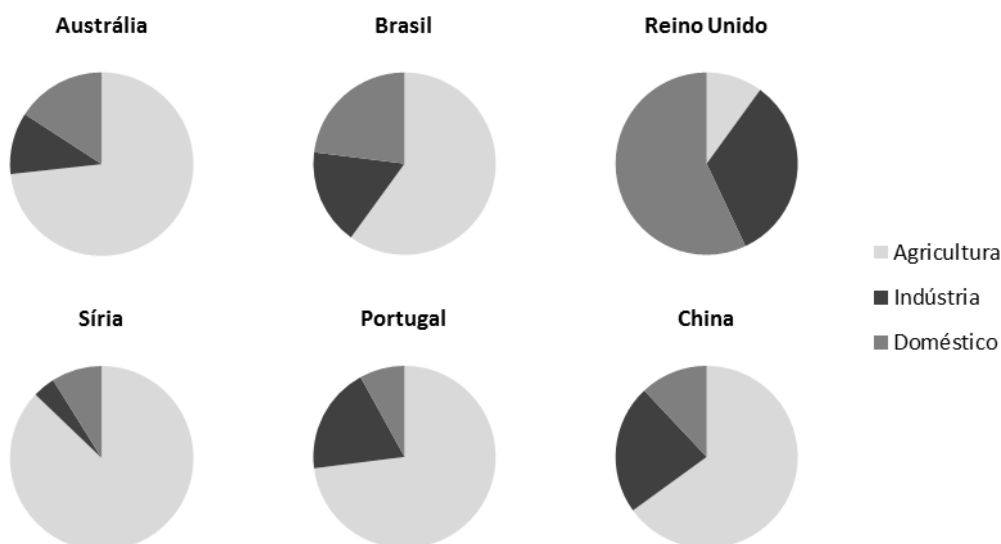


Figura 2.4 – Distribuição do consumo de água por sectores, período de 2010-2014, por país.

(Fontes: The World Bank 2015a; The World Bank 2015b; The World Bank 2015c; The World Bank 2015d)

De entre os países comparados destaca-se o Reino Unido, que atribui à agricultura uma parcela de apenas 10%. Esta situação poderá ser explicada pelo regime hidrológico nesse país, em especial o facto de ter um menor número de dias (por ano) em que não chove. Tal pode explicar a menor necessidade de abastecimento de água para atividades agrícolas.

É então de extrema necessidade compreender os consumos específicos de cada sector através da realização de estudos junto dos intervenientes e do estudo dos consumos associados, de forma a entender ainda a relação entre consumo estimado e consumo medido. Um correto entendimento dos dados envolvidos proporciona um melhor desenvolvimento do planeamento dos recursos (R. Willis et al. 2011), sendo inclusivamente possível que, com base nos resultados, se desenvolvam modelos que procuram estimar as necessidades de água e energia (Suh & Chang 2012). Esta questão afeta ainda o dimensionamento dos aparelhos (tais como sistemas de autoclismo), uma vez que o entendimento dos consumos previne o risco de sobrecarga dos aparelhos (Wong & Mui 2007).

Em Portugal, no entanto, lida-se com um problema mais grave. Atualmente o país regista uma eficiência hídrica muito baixa, atingindo um desperdício global geral de água que equivale a mais de 3×10^9 m³/ano, o que representa cerca de 39% das necessidades totais de água do país (Silva-Afonso & Pimentel-Rodrigues 2011). A 3 de Dezembro de 2014 foi noticiado em Portugal que “em média, 35% da água captada, tratada e distribuída pelos sistemas de abastecimento não é faturada”, sendo que “cerca de 23% corresponde a perdas reais e os restantes 12% a perdas aparentes e a consumos autorizados mas não faturados”. Acrescenta-se ainda que esta situação corresponde “a uma perda anual de 160 milhões de euros” (LUSA 2014). Além de representar um enorme desperdício de água potável, a situação é financeiramente prejudicial para os consumidores, uma vez que a água que é efetivamente faturada deverá sê-lo a um valor superior àquele que seria proposto pela companhias no caso de o sistema registar um volume muito menor de perdas.

Os consumos de água são influenciados por um conjunto de fatores, tais como o clima da região, os hábitos e nível de vida da população, a natureza e desenvolvimento da própria cidade/região, a medição e o

preço. A própria presença de aparelhos medidores de consumos nas habitações obriga a que a faturação seja feita com base em consumos efetivos, possibilitando ao utilizador que exista um controlo direto sobre aquilo que está a consumir (Soares 2010).

O preço da água, por sua vez, pode desempenhar o papel mais importante para o controlo do consumo, além da composição do agregado familiar e do seu rendimento financeiro (Arbués et al. 2003). Torna-se expectável que preços mais altos encorajem uma redução dos consumos, mas ainda assim é algo que não deve ser generalizado (Barrett 2004).

No entanto, tendo em atenção o nível de vida e a influência do preço, existem casos altamente desequilibrados. No Brasil, por exemplo, os habitantes mais pobres pagam cerca de 4% do seu rendimento em água, enquanto os habitantes mais ricos gastam o dobro da água e isso só representa cerca de 0,5% do seu rendimento (Ruijs et al. 2008). Estas situações sugerem a possibilidade de explorar soluções de diferentes preços da água em função do rendimento do agregado familiar.

As preocupações relativas aos consumos de água fazem parte das preocupações globais a nível ambiental, sendo que o assunto é abordado de forma integrada e abrangente nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (*Millennium Development Goals - MDGs*), em que o sétimo objetivo – visível na Figura 2.5 – pretende “Assegurar a Sustentabilidade Ambiental” (*Ensure Environmental Sustainability*).



Figura 2.5 – Simbologia dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio.

(Fonte: United Nations 2015)

A sua definição incide sobre aspetos relativos à integração dos princípios de desenvolvimento sustentável nas políticas ambientais, procurando reverter a perda de recursos ambientais (florestas, emissões de dióxido de carbono, entre outros), reduzir a perda de biodiversidade, reduzir para metade, até 2015, a proporção de população sem acesso sustentável à água potável e ao saneamento básico e alcançar, até 2020, uma melhoria significativa na vida de pelo menos 100 milhões de habitantes de bairros degradados (United Nations 2015). A definição destes objetivos contribui ainda para uma maior sensibilização da população, que entretanto começa a tomar ações benéficas tanto no sector doméstico como empresarial, através de medidas como a redução dos consumos de água, aproveitamentos de energias/recursos alternativos ou reduções das emissões de gases prejudiciais.

O desenvolvimento de edifícios verdes, por exemplo, reúne um conjunto de vantagens ambientais significativas. Estes edifícios caracterizam-se por seguir determinados parâmetros, nomeadamente quanto à sua construção, qualidade do ar, uso da energia, uso da água, segurança do trabalho e higiene do ambiente ocupacional, uso de materiais ecologicamente corretos, observação da ergonomia em móveis e utensílios, tratamento correto dos resíduos sólidos e controlo da emissão de gases poluentes (Atitudes Sustentáveis n.d.).

A questão da “construção verde” contribui para a alteração dos consumos de água, na medida em que a implementação de medidas de poupança (por exemplo, a conceção da rede predial de drenagem de águas

residuais que permita a reutilização de água da banheira para a descarga do autoclismo) contribui para um uso mais eficiente da água e para menores custos relacionados com o consumo de água potável.

A nível da emissão de gases poluentes, por exemplo, uma das formas de contrariar as emissões incide sobre a aplicação de coberturas e/ou fachadas verdes nos edifícios, que representa vantagens também a nível de isolamento térmico e acústico, além de reduzir a quantidade de água pluvial (AP) que é encaminhada para o esgoto em situações de precipitação, já que parte da água é absorvida pela vegetação (Zhang et al. 2012).

No entanto, opções mais sustentáveis são recorrentemente reconhecidas como inicialmente mais dispendiosas, com longos períodos de retorno do investimento ou mesmo, por vezes, economicamente não viáveis. No sector comercial existem algumas empresas que acabam por reconhecer que optam por fazer o investimento, mesmo nestas condições, devido à influência que o “verde” acrescenta à imagem de uma empresa (Chilton et al. 2000; Matos et al. 2013b).

Por outro lado, a consciencialização da população, através de ações de sensibilização e divulgação de informação, pode também ter um impacto muito positivo. Os indicadores socioculturais podem representar um papel importante na implementação de certos sistemas, tendo-se já concluído que, dispondo de informação adequada, é possível obter aceitação social (March et al. 2004). Torna-se então necessário perceber que a divulgação de informação pode ter consequências reais, e no caso dos consumos de água essa sensibilização da população pode ter um impacto quase imediato na redução dos consumos, sendo que os habitantes com atitudes de conservação muito positivas consomem significativamente menos água (R. M. Willis et al. 2011).

Outra das formas de uso eficiente da água é a reutilização de águas cinzentas, provenientes de máquinas de lavar roupa, chuveiros, banheiras e lavatórios. Um estudo realizado na Grécia concluiu que são produzidos cerca de $82,6 \pm 49,3$ L de água cinzenta por habitante, por dia, sendo que os sistemas de banheira/chuveiro e lavandaria representam um total de cerca de 67% dessa produção (Antonopoulou et al. 2013). Um outro estudo desenvolvido na Jordânia concluiu que a água consumida para lavagem de loiça, chuveiros, lavatórios e lavandaria contabilizam 50-80% da água doméstica residual (Al-Jayyousi 2003).

Estimou-se que a implementação de sistemas que possibilitem a utilização das águas cinzentas nas descargas dos autoclismos a nível residencial possam permitir uma poupança de água potável na ordem dos 35% (Mourad et al. 2011), e por se tratar de um campo em expansão e desenvolvimento têm-se procurado novas formas de reutilizar esta água, não só em sistemas residenciais ou comerciais, mas também através de sistemas mistos. Estes sistemas promovem a recolha de água cinzenta dos edifícios residenciais, sujeita depois a tratamento adequado e reencaminhada para reutilização em descargas de autoclismo em edifícios residenciais e em edifícios comerciais, atingindo poupanças de água potável também significativas (Zadeh et al. 2013).

No Quadro 2.1 é possível constatar que existe então uma grande produção de água cinzenta nas habitações. O facto de existir tamanha disponibilidade a nível de águas pluviais e de águas cinzentas, aliado ao volume de água diariamente utilizado para fins não potáveis, conduzem a uma necessidade de que as políticas ambientais sejam elaboradas por forma a tentar controlar a poluição e de forma a incentivar a maximização da reciclagem de água e da reutilização de águas cinzentas dentro de habitações e comunidades. É, contudo, também essencial que as águas reutilizadas sejam devidamente tratadas e que a população seja devidamente informada de que a água está em boas condições para ser utilizada. Existe a tendência para se aceitar muito bem a reutilização de águas cinzentas, por exemplo, em rega de jardins e em autoclismos, mas já se provou que os

habitantes começam a ser cada vez menos recetivos à medida que a proximidade com o contacto pessoal aumenta (Muthukumaran et al. 2011).

Quadro 2.1 – Quantidade de água cinzenta produzida em edifícios residenciais face à água potável consumida.

Autor	País	% de água cinzenta produzida
Antonopoulou et al. 2013	Grécia	67%
Al-Jayyousi 2003	Jordânia	50-80%
Willis et al. 2008	Austrália	73%
Parker & Wilby 2012	Reino Unido	63%
Matos et al. 2013b	Portugal	86%
Lu & Smout 2010	China	83%
Schuetze & Santiago-Fandiño 2013	Holanda	71%
	Alemanha	70%
	Coreia do Sul	68%
Mourad et al. 2011	Síria	54%
	Média	70%

2.2 Utilização de Águas Pluviais

2.2.1 A quantidade de água pluvial

A existência de uma crescente preocupação quanto ao reaproveitamento da água, bem como a exploração de várias fontes alternativas, tem conduzido à tentativa de obtenção de autossuficiência. Esta depende essencialmente do controlo de necessidades de energia, controlo dos impactos ambientais, garantia de água com boa qualidade e evitar impactos negativos sobre a saúde humana, garantir a confiança do público no abastecimento de água e garantir a relação custo-eficácia. Na Figura 2.6 é possível observar que o recurso à dessalinização, a reutilização de águas residuais e a utilização de águas pluviais chegam a possibilitar um rácio de autossuficiência que varia entre os 15% e os 80% em algumas cidades do mundo (Rygaard et al. 2011).

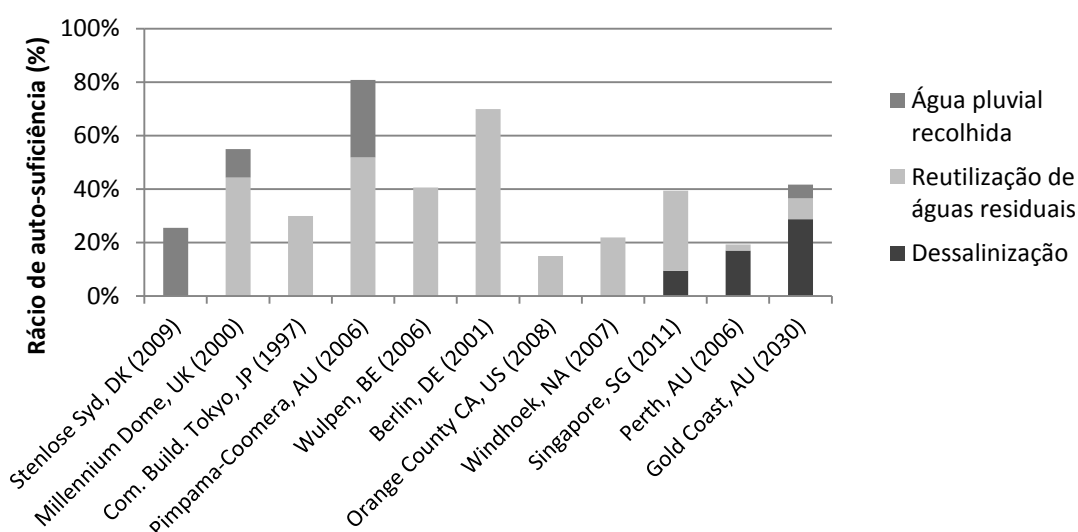


Figura 2.6 – Autossuficiência hídrica em áreas urbanas, em edifícios selecionados.

(Adaptada de: Rygaard et al. 2011)

Os potenciais usos da água podem depender da sua origem, na medida em que existem regulamentos e normas internacionais que definem padrões de qualidade necessários para cada utilização. A recolha de águas pluviais é uma prática crescente a nível global, tratando-se de um recurso natural gratuito, cuja abundância depende da zona climática e de fatores meteorológicos, podendo ser armazenada, tratada e utilizada para diversos fins. Assim sendo, existe a nível mundial uma enorme disponibilidade deste recurso, embora distribuído temporal e espacialmente de uma forma não uniforme.

A água pluvial é geralmente recolhida através do escoamento pela cobertura de um dado edifício, sendo depois encaminhada para tratamento e armazenamento. Naturalmente que no meio ambiente existem matérias e poeiras que podem assentar na cobertura durante os períodos em que não existe precipitação, criando depósitos de materiais que depois têm que ser filtrados.

Através da Figura 2.7 é possível observar uma comparação geral dos recursos de água no mundo, em termos de precipitação em mm/ano (à esquerda) e em termos de precipitação por m³/habitante/ano (à direita), ou seja, em termos de quantidade de água pluvial disponível por habitante. É possível entender que, apesar de um país possuir uma precipitação anual superior a outro, isso não significa obrigatoriamente que a implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais seja mais vantajoso, já que um dos fatores a ter em conta é o consumo de água. Assim, um indicador mais adequado para entender a viabilidade do sistema será a relação da direita, que traduz a quantidade de água disponível por habitante (m³/ano.habitante).

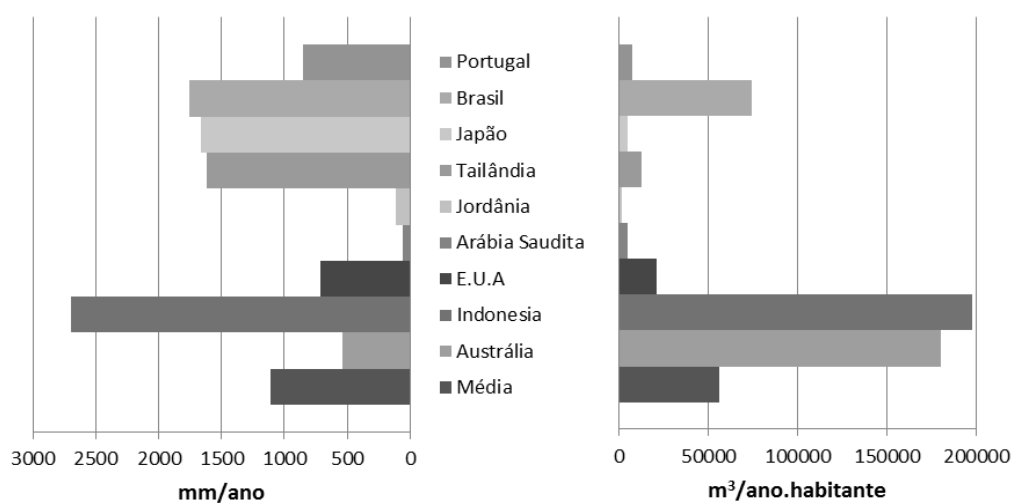


Figura 2.7 – Comparação parcial dos recursos de água pluvial no mundo.

(Fontes: The World Bank 2015e; The World Bank 2015f; The World Bank 2015g)

A partir da Figura 2.7 pode-se, por exemplo, comparar os recursos entre o Brasil e o Japão. Apesar de ambos serem caracterizados por uma precipitação média anual de cerca de 1500 mm/ano, o Brasil é um país muito maior que o Japão (cerca de 23 vezes), embora o seu número de habitantes seja apenas cerca de 1,5 vezes superior (The World Bank 2015f; The World Bank 2015g). Assim, a disponibilidade hídrica é muito superior no Brasil, tal como a Figura ilustra.

Um estudo realizado em Queensland, na Austrália, estimou que são consumidos 143,5 L de água por habitante por dia (Beal et al. 2013), e um estudo de menor dimensão realizado em Lisboa, estimou que o valor é

de cerca de 146 L por habitante por dia (Lúcio 2015). Estes valores equivalem a uma média aproximada de cerca de 55m³ de água por habitante por ano, o que ainda assim significa que os países representados acima dispõem de uma disponibilidade hídrica que deverá ser suficiente para a implementação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Tendo ainda em conta a questão das alterações climáticas, os SAAP devem ser então encarados como um recurso que contribui para a poupança de água e para a diminuição das afluições à rede de drenagem pluvial urbana/cheias em situações de precipitação intensa (Tahir et al. 2009; Proença & Ghisi 2010), à semelhança do efeito que as coberturas/fachadas verdes têm nestas situações. A recolha da água pluvial destaca-se mais nas zonas urbanas, onde esse risco tem vindo a aumentar de acordo com o aumento das áreas impermeáveis, e deve ser promovida em conjunto com o aumento de áreas verdes, já que estas contribuem para a diminuição do escoamento superficial (Zhang et al. 2012).

No decorrer de desenvolvimentos quanto à avaliação da viabilidade de SAAP foi proposto um novo método para quantificar o potencial para poupança de água potável através da utilização de água pluvial. O método caracteriza o indicador RUP (*rainwater utilization potential*), permite quantificar o potencial de poupança ao nível urbano, e baseia-se no comportamento de um SAAP modelado por Fewkes (2000). Essa modelação depende do consumo de água não potável (*demand*), e da eficiência de poupança de água (*efficiency*), em função do volume do tanque de armazenamento, sendo que esta eficiência traduz a proporção de água pluvial utilizada tendo em conta os consumos de água não potável determinados (Belmeziti et al. 2013).

2.2.2 A qualidade da água pluvial

A implementação de SAAP pode, por vezes, prever a utilização da AP recolhida para ingestão/consumo, pelo que a sua qualidade se torna bastante relevante.

A qualidade da água é afetada pela distribuição temporal da precipitação, já que maiores períodos secos levam a uma maior deposição de poluentes, prejudicando a qualidade da água recolhida (Yaziz et al. 1989). Os depósitos presentes na área de recolha tornam a água turva e prejudicam bastante a sua qualidade, pelo que é muito importante que o SAAP instalado esteja prevenido com um dispositivo que se destine a eliminar essa primeira água escoada, correntemente denominada de *first flush* (FF).

De acordo com análises realizadas à água pluvial recolhida em eventos de precipitação numa região de Selangor, na Malásia, ao longo de cinco meses, foi possível observar concentrações altas de vários poluentes no primeiro litro recolhido, sendo que essa concentração diminuía nos litros seguintes. Observou-se ainda que a partir do quarto e quinto litro já não se detetavam coliformes fecais (parâmetro microbiológico da qualidade da água), pelo que se concluiu que o volume associado ao FF deveria ser, no mínimo, 5,1L (Yaziz et al. 1989).

Um estudo realizado na região nordeste da Grécia (Gikas & Tsihrintzis 2012) comparou a qualidade da água recolhida pelo sistema que desvia o FF com a qualidade da água recolhida nos tanques de armazenamento. No estudo em questão rejeitaram-se os primeiros 10L de água, o equivalente a cerca de 0,11 a 0,13mm de altura na área de cobertura projetada na horizontal. Compararam-se valores de pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigénio dissolvido, alcalinidade, fósforo total e de diversos aniões e catiões (PO_4^{3-} ; SO_4^{2-} ; NO_3^- ; F^- ; Cl^- ; Na^+ ; K^+ ; NH_4^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+}), e os resultados obtidos concluíram que o desvio do FF dos tanques de água pluvial leva a uma melhoria da qualidade da água armazenada, sugerindo-se ainda que o volume correspondente a essa primeira descarga deve ser adequado ao sistema existente. De acordo com as análises realizadas com base em

parâmetros físico-químicos, a qualidade da água é boa, violando as normas de qualidade de água potável apenas no teor de amónio. No entanto, a água não cumpre os parâmetros microbiológicos exigidos pela UE para a água potável (Gikas & Tsihrintzis 2012).

Um outro estudo foi realizado em Austin, Texas, Estados Unidos também quantificou o volume de FF como sendo de 38 litros, para uma área de recolha de 93m² (Mendez et al. 2011). Os resultados apresentam-se sumarizados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Resumo dos valores de altura de *first flush* considerados em vários estudos.

Autor	Localização	Volume (L)	Área (m²)	Altura (mm)
Yaziz et al. 1989	Selangor, Malásia	5,1	15	0,34
Mendez et al. 2011	Texas, EUA	38	93	0,41
Gikas & Tsihrintzis 2012	Kosmio, Grécia	20	180	0,11
	Dialampi, Grécia	13	100	0,13
	Evmoiro, Grécia	16	130	0,12
			Média	0,22

Apesar dos poluentes presentes na água recolhida, sabe-se que inicialmente a água pluvial está livre de contaminações microbiológicas, sendo depois contaminada por animais e seres humanos ou, alternativamente, patogénicos humanos que podem crescer na água pluvial armazenada, resultando num risco significativo para a saúde humana (Schets et al. 2010).

A Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization – WHO*) é a autoridade diretora e coordenadora de saúde dentro do sistema das Nações Unidas, e desenvolve normas internacionais em matérias de qualidade da água e da saúde humana sob a forma de orientações que devem servir como base para a regulamentação em países desenvolvidos e em desenvolvimento. As normas relativas à qualidade da água potável abordam os aspetos microbiológicos, aspetos químicos, radiológicos, desinfeção e de aceitabilidade, nomeadamente quanto ao sabor, odor e aparência.

Os fatores que mais influenciam os parâmetros físico-químicos são o material do telhado, a intensidade da precipitação, o período de seca que antecedeu a precipitação e a proximidade de fontes de poluição, enquanto os parâmetros microbiológicos são afetados principalmente pelo material do telhado e por qualquer período de seca (Meera & Ahammed 2006).

Grande parte dos estudos que realizaram análises à qualidade da água chegaram à conclusão de que esta não seria apropriada para beber por não respeitar as normas WHO, apontando os aspetos microbiológicos como os mais condicionantes, salientando sempre a presença de coliformes fecais (Abdulla & Al-Shareef 2009; Sazakli et al. 2007; Schets et al. 2010; Simmons et al. 2001; Zhu et al. 2004). Assim sendo, em nenhum dos locais onde estes estudos foram realizados (Jordânia, Grécia, Holanda, Nova Zelândia e China, respetivamente) a água pluvial recolhida seria considerada potável, não pelo menos sem um tratamento prévio.

O tratamento da água pluvial recolhida para consumo (beber/cozinhar) é de extrema importância na medida em que possibilita a eliminação de organismos potencialmente prejudiciais à saúde humana, e nesse sentido têm-se vindo a desenvolver sistemas de tratamento da água que preferencialmente tenham baixo custo mas alta eficácia. Métodos mais rudimentares como filtração e sedimentação foram já considerados limitados e

ineficazes na prevenção de doenças, e outros como ferver água foram caracterizados como inconvenientes e proibitivamente caros na maioria das áreas onde são utilizados (Mintz et al. 2001).

Assim, os métodos desenvolvidos devem possibilitar maior qualidade, e um estudo realizado nos Estados Unidos da América propõe que o processo de recolha da água inclua o desvio do FF, um processo de filtração e desinfecção, de forma a tornar a água potável de acordo com as normas em vigor (Mendez et al. 2011).

Com base nas componentes recomendadas desenvolveu-se o sistema FAD (*Filtration Adsorption Desinfection*), um sistema compacto que combina um processo de filtração, um processo de adsorção recorrendo a GAC (*granular activated carbon* - carbono granular ativado) e uma fase de desinfecção por ultravioletas. A qualidade da água foi testada para parâmetros usuais (pH, turbidez, níveis de oxigénio, *Escherichia coli* e coliformes totais), obtendo resultados satisfatórios. A água foi considerada pura a nível microbiológico, já que a pré-filtração possibilita a remoção de sólidos e o sistema completo providencia uma barreira para patogénicos e outros contaminantes, o que melhora a qualidade da água e diminui a sua turbidez. O sistema é caracterizado também pelo seu baixo custo, pelo que a sua implementação em países em desenvolvimento e em países com *stress* hídrico poderá contribuir ativamente para atingir os Objetivos de Desenvolvimento do Milénio na questão do aumento da população com acesso a água potável (Naddeo et al. 2013).

A questão da qualidade da água é, no entanto, significativamente mais relevante quando o objetivo é o consumo através de ingestão ou fins culinários da água pluvial recolhida. Para as restantes utilizações não potáveis, o tratamento a aplicar à água pode e deve ser bastante menos exigente, podendo a sua qualidade ser comparada, por exemplo, com a qualidade das águas residuais urbanas tratadas utilizadas para rega (ao abrigo da Norma NP 4434:2005), ou quanto à qualidade exigida às águas balneares (conforme indicado no Decreto-Lei nº236/98 de 1 de Agosto).

2.2.3 Caracterização de um sistema de aproveitamento de água pluvial

Um sistema de aproveitamento de águas pluviais é constituído geralmente por uma área de captação, um dispositivo que desvia o FF, um filtro, um tanque de armazenamento, uma unidade de *overflow* que controla o excesso de água do sistema, um sistema de abastecimento e tubagens, como esquematizado na Figura 2.8. Assim sendo, os fatores que mais influenciam o SAAP são a área de captação, a quantidade de precipitação, o volume do tanque, o consumo de água, o coeficiente de escoamento considerado e o filtro utilizado (Mun & Han 2012).

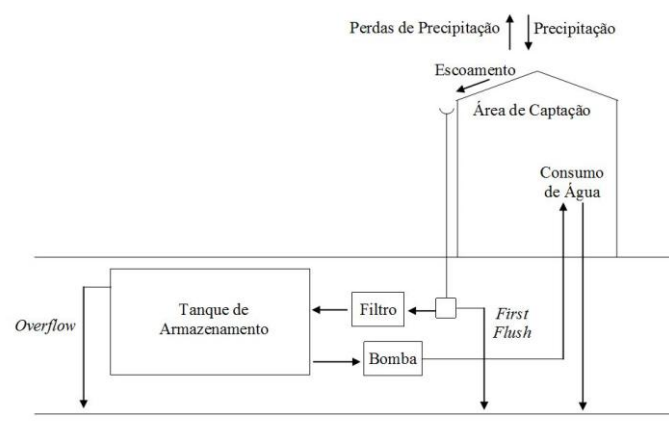


Figura 2.8 – Esquematização dos componentes de um SAAP.

Existe uma grande diversidade de tanques disponíveis no mercado, sendo que os mais usuais são feitos de polietileno (com capacidades que podem variar entre os 0,5m³ e os 50m³, usualmente) ou construídos em betão, de acordo com a capacidade exigida pelo cliente. Um estudo realizado num edifício comercial apontou o custo do tanque como o mais significativo aquando do investimento, representando cerca de 65% do capital necessário, pelo que o seu correto dimensionamento pode diminuir o período de retorno do investimento (Chilton et al. 2000).

A precipitação, por ser um fenómeno natural, faz parte dos dados de base utilizados no dimensionamento de um SAAP. Naturalmente que se espera que numa localidade onde exista uma maior precipitação se consiga armazenar mais água, e portanto espera-se uma fiabilidade superior. Essa relação já foi comprovada por alguns autores (Tam et al. 2010; Zhang et al. 2009), tendo-se concluindo assim que a poupança de água média anual está fortemente correlacionada com a precipitação média anual (Rahman et al. 2012).

Para um local com elevada precipitação verificou-se um aumento da quantidade de água pluvial armazenada em função do aumento da capacidade do tanque e da área de captação. No entanto, para um local com baixa precipitação e clima árido, o efeito do aumento da capacidade do tanque mantendo uma área de captação constante não é tão significativo (Rashidi Mehrabadi et al. 2013). Assim, e uma vez que a precipitação é um recurso finito e relativamente característico de cada região, a fiabilidade da utilização do sistema acaba por se tornar independente do volume do tanque adotado, a partir de certas capacidades (Shahidian et al. 2008). Esta capacidade é designada de *threshold tank* (tanque limiar/limite) e depende da quantidade de precipitação anual (Imteaz et al. 2013).

A Figura 2.9 demonstra a estabilização da quantidade (estimada) de água pluvial utilizada num prédio destinado a habitação em Coimbra. É possível observar alguma a estabilização da quantidade de AP utilizada, sendo que o *threshold tank* corresponderia, no presente caso, a um tanque de 30m³.

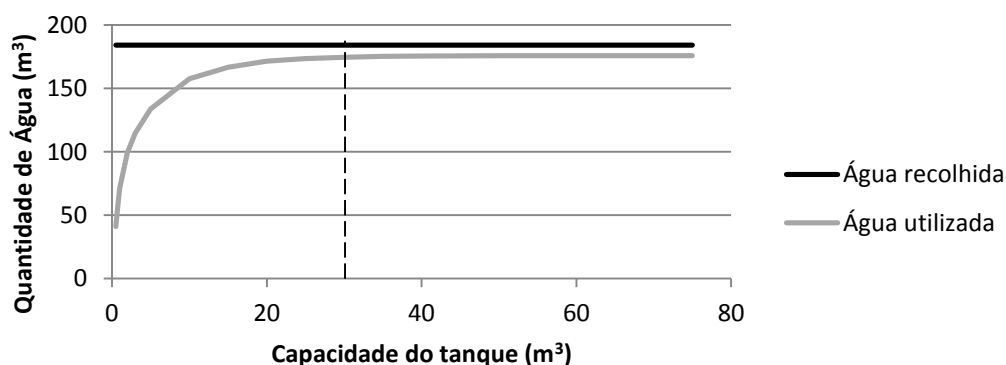


Figura 2.9 – Poupança de água em função do volume do tanque (prédio de habitação em Coimbra).

É recomendado que o SAAP seja instalado em conjunto com um filtro, de modo a retirar a maioria das impurezas presentes na água pluvial. Nos reservatórios de grandes dimensões, geralmente construídos em betão, a instalação do filtro deve ser feita a jusante do reservatório e a montante da bomba, já que a sedimentação que ocorre naturalmente no reservatório também contribui para que a água pluvial contenha menos impurezas.

Sendo a área de recolha outro dos parâmetros, é fácil entender que maiores áreas possibilitam a recolha de maiores quantidades de água, depois armazenadas em tanques que quanto maiores forem, maior capacidade de

armazenamento têm. Na Figura 2.10 é possível observar as variações na poupança de água média anual estimada para um empreendimento em construção em Sydney, Austrália (Eroksuz & Rahman 2010). A estimativa da poupança apresenta-se em função da área de captação e do volume (m³) do tanque que é instalado, e surge como resultado de um estudo efetuado em três cidades australianas. O estudo acaba por concluir que, para a situação em questão, um tanque maior é adequado para maximizar as poupanças de água (Eroksuz & Rahman 2010).

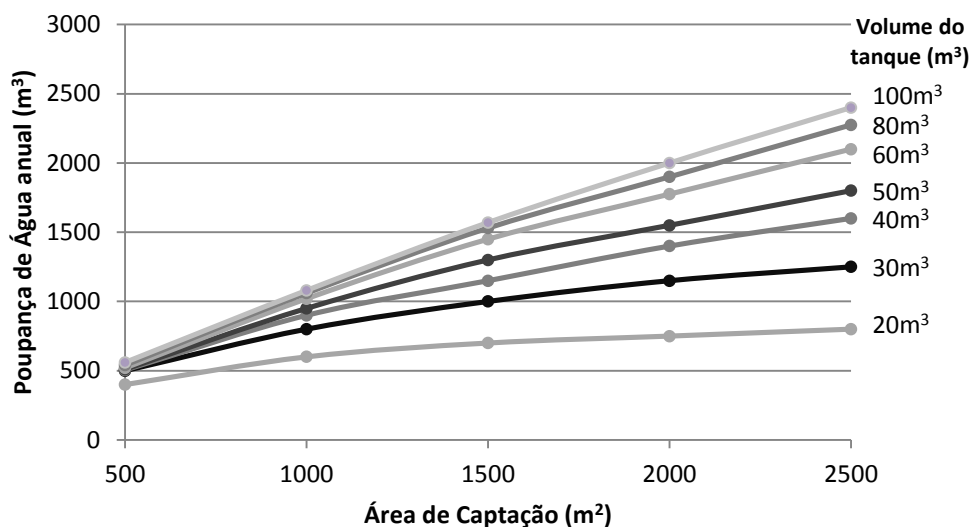


Figura 2.10 – Poupança de água em função de área de captação e tanque.

(Adaptada de: Eroksuz & Rahman 2010)

O tipo de telhado pode, por sua vez, influenciar o coeficiente de escoamento, que pode variar genericamente entre 0,70 e 0,95 na maioria dos telhados. A especificação técnica ETA 0701 da ANQIP descreve o coeficiente de escoamento como sendo adimensional, função das características da superfície, representando a relação entre o volume total de escoamento superficial num determinado período de tempo e o volume total precipitado nesse período. Recomenda-se que, na elaboração de projetos de SAAP, seja considerado o valor 0,8 para superfícies impermeáveis (telha, cimento, asfalto, etc.), 0,6 para coberturas planas com gravilha, 0,5 para coberturas verdes extensivas e 0,3 para coberturas verdes intensivas (ANQIP 2009). No Quadro 2.3 encontra-se um resumo dos intervalos de coeficientes de escoamento (C.E.) utilizados em estudos de implementação de SAAP, sumarizados por Ramon Farreny et al. (2011).

Quadro 2.3 – Coeficientes de escoamento em função do tipo de telhado.

(Adaptada de: Ramon Farreny et al. 2011)

		C.E.
Telhados	(no geral)	0,70-0,95
	Betão/asfalto	0,90
Telhados inclinados	Metal	0,81-0,95
	Alumínio	0,70
Telhados planos	Betuminosos	0,70
	Gravilha/cascalho	0,80-0,85
	Cimento	0,81

O tipo de telhado pode também influenciar a qualidade da água, que se provou superior quando o telhado é de aço galvanizado em comparação com um telhado de telhas.

No entanto, um estudo mais recente compara diferentes materiais de cobertura e conclui que a qualidade de água recolhida é semelhante, pelo que outros materiais como telha de asfalto de fibra de vidro, telha de cimento e metal também são adequados. Registou-se uma menor concentração do indicador da bactéria Fecal no telhado de metal, o que pode ser justificado pela baixa emissividade do material, que contribui para uma temperatura superficial mais elevada (Mendez et al. 2011). A rugosidade do material escolhido pode, por sua vez, influenciar a quantidade de água recolhida, podendo-se chegar a diferenças de 50% de mais água recolhida num telhado inclinado liso do que num telhado plano áspero/rugoso (Farreny et al. 2011).

2.2.4 Métodos de dimensionamento

Uma vez abordados os parâmetros de funcionamento de um SAAP, torna-se necessário que se estude o método de dimensionamento do sistema para que este corresponda aos objetivos técnicos e económicos desejados. Em Portugal são dadas diretivas quanto à forma de dimensionar estes sistemas, sugerindo-se a realização de simulações diárias, utilizando dados de precipitação diários e consumos de água não potável. No entanto, não é especificado qual o melhor método de dimensionamento.

No dimensionamento de um SAAP, o volume do reservatório tende a ser a incógnita dominante, não só por representar o elemento com maior peso no custo de investimento, mas também porque as restantes variáveis que influenciam o desempenho do sistema (precipitação, potencial consumo de água pluvial, área de captação, coeficiente de escoamento) tendem a ser ditados por fatores externos à conceção do SAAP. Atualmente existe um leque alargado de métodos de dimensionamento de SAAP com distintos níveis de complexidade que podem ser classificados em duas categorias genéricas:

- métodos empíricos;
- métodos analíticos.

De um modo geral, os métodos empíricos permitem estimar o volume dos reservatórios de forma simples com base em relações estatísticas. As relações mais simples consideram apenas as variações de precipitação anual, não tendo em conta a sua distribuição espacial e temporal, podendo levar a dimensionamentos muito incorretos (Basinger et al. 2010). Pela sua natureza, os métodos empíricos tendem a ser regionais/locais e a sua extrapolação para contextos distintos do que esteve na origem do seu desenvolvimento pode implicar erros significativos.

No Quadro 2.4 apresentam-se alguns métodos de dimensionamento empíricos, sendo possível constatar, por exemplo, que os métodos práticos Brasileiro, Alemão e Inglês pressupõem um determinado padrão de consumo (Brasileiro e Inglês) ou determinado regime pluviométrico (Alemão e Inglês). O método prático Australiano é o que se encontra mais próximo dos métodos analíticos, na medida em que permite ter em consideração a variabilidade do consumo e da precipitação a uma escala mensal.

Quadro 2.4 – Métodos de dimensionamento empíricos.

(Adaptada de: Amorim & Pereira 2008; Rupp et al. 2011)

Método	Incógnita	Variáveis	Funcionamento
Prático Brasileiro	Volume	- Precipitação média anual (P); - Área de captação (A); - Nr. de meses com pouca ou nenhuma chuva (N).	$\text{Volume} = 0,042 \times P \times A \times N$
Prático Alemão	Volume	- Volume de água pluvial anual (VP); - Consumo anual de água (CA).	$\text{Volume} = \text{mín} \{ 0,06 \times VP ; 0,06 \times CA \}$
Prático Australiano	Volume	- Precipitação média mensal; - Área de captação; - Coef. de escoamento; - Intercepção da água que molha as superfícies e perdas por evaporação (geralmente 2mm); - Consumo de água.	O cálculo do volume é realizado por tentativas, até valores otimizados de confiança e de volume. Tem em conta a continuidade mensal. Intervalo de confiança determinado em função das falhas (quando reservatório não satisfaz o consumo).
Prático Inglês	Volume	- Precipitação média anual (P); - Área de captação (A).	$\text{Volume} = 0,05 \times P \times A$

Por seu lado, os métodos analíticos baseiam-se em balanços de massa, como se pode constatar no Quadro 2.5. A abordagem mais simples (primeiro método descrito no Quadro), consiste em dimensionar o reservatório tendo em consideração o volume de água pluvial necessário para satisfazer o consumo durante o período mais longo sem precipitação.

O método de Rippl, por sua vez, segue uma abordagem semelhante à adotada no dimensionamento de reservatórios em sistemas de adução, que consiste em determinar a maior diferença entre os volumes acumulados de precipitação e consumo. O método mais sofisticado recorre a equações de balanço da água, em que o volume armazenado no tanque depende da água recolhida, do consumo de água e das perdas (retenção, evapotranspiração, *first flush*, excesso de caudal), para simular o desempenho do SAAP e procura otimizar o volume do reservatório em função de critérios diversos. Esses critérios podem ser ambientais, como seja a maximização do aproveitamento da água pluvial ou da poupança de água, ou financeiros, como seja a maximização do custo-benefício ou minimização do período de retorno.

Quadro 2.5 – Métodos de dimensionamento analíticos.

(Adaptada de: Amorim & Pereira 2008; Rupp et al. 2011)

Método	Incógnita	Variáveis	Funcionamento
Dias consecutivos sem chuva	Volume	- Consumo de água (por dia); - Nr. de dias sem chuva.	O volume do reservatório é obtido pela multiplicação do consumo diário pelo número de dias sem chuva.
Rippl	Volume	- Precipitação; - Consumo de água; - Área de captação; - Coef. de escoamento; - Eficiência do sistema (filtros,...).	Diferença acumulada entre volume de precipitação aproveitável e consumo de água. Soma das diferenças determina o volume. Introduzem-se os resultados do método analítico num gráfico. Traçam-se paralelas pelo ponto mais alto e mais baixo. Distância vertical entre elas determina o volume.
Equações de balanço (simulação)	Eficiência	- Precipitação; - Área de captação; - Consumo de água.	Opta-se por fixar inicialmente o volume do reservatório, determinando a percentagem de poupança de água (eficiência) que lhe está associado.

O método das equações de balanço ou método de simulação tem sido utilizado em diversos estudos de dimensionamento de tanques de água (alguns exemplos: Mitchell 2007; Palla et al. 2011; Kim et al. 2012; Mun & Han 2012; Sant'Ana 2012; Fulton et al. 2013), sendo usual considerar uma escala temporal diária. Neste contexto, algumas das principais variações da aplicação do método consistem na forma como a precipitação e o consumo diários são tidos em consideração e a forma como se obtém a série de precipitação.

A distribuição temporal ao longo do dia da precipitação e o consumo têm sido considerados recorrendo aos algoritmos YAS, *Yield After Spillage* (fornecer depois de derramar) e YBS, *Yield Before Spillage* (fornecer antes de derramar), originalmente identificados aquando do desenvolvimento de um modelo comportamental e que descrevem a operação de armazenamento da água pluvial (Jenkins et al. 1978, citado em Fewkes 2000). Assim, o algoritmo YAS determina que a precipitação e armazenamento da água pluvial recolhida é feito depois do consumo de água, e que o YBS funciona de forma inversa. Estudos anteriores concluíram que o algoritmo de armazenamento YAS fornece uma estimativa mais precisa (e conservativa) do rendimento independentemente da etapa de tempo computacional, o que o torna mais indicado do que o algoritmo YBS (Fewkes 2000; Mitchell 2007). Assim sendo, assume-se que a melhor hipótese é traduzida por um funcionamento YAS, onde a fração de precipitação antes do consumo é nula.

A abordagem mais usual no método de simulação consiste em utilizar uma série de registos de precipitação diária com uma extensão adequada e assumir que o regime pluviométrico se manterá no futuro. Contudo, na ausência de uma estação de monitorização nas proximidades do ponto de interesse ou devido à deficiência dos registos disponíveis, a alternativa passa pela utilização de geradores estocásticos de precipitação, paramétricos ou não paramétricos, sendo que a sua capacidade de adaptação para diferentes locais depende da capacidade que os geradores têm de criar dados que se assemelhem aos dos eventos observados (Basinger et al. 2010). Os geradores paramétricos requerem que sejam utilizadas relações estatísticas específicas para descrever a precipitação num local, podendo essas relações adequar-se bem a uma localização mas não a outra, já que as causas atmosféricas de precipitação variam muito de lugar para lugar.

Os métodos não paramétricos recorrem a funções de densidade de probabilidade para descrever a ocorrência de precipitação e de períodos secos, mas essas funções são diretamente derivadas de observações locais (Lall et al. 1996). O desenvolvimento dos geradores estocásticos de precipitação levou depois ao aparecimento de ferramentas como SARET (*Storage and Reliability Estimation Tool*), que fornecem uma estimativa do volume do armazenamento utilizando um gerador de precipitação estocástico não paramétrico, estimando depois a sua fiabilidade de acordo com várias utilizações de água não potável (Basinger et al. 2010). Um estudo realizado no Texas recorreu também aos geradores estocásticos para fornecer dados de precipitação e ao método das equações de balanço para fazer a simulação do funcionamento de um SAAP. O método foi utilizado para a otimização do sistema em termos de capacidade do tanque e de área de recolha para uma futura construção que fosse assim 100% autossuficiente em termos de fornecimento de água, tanto potável como não potável (Fulton et al. 2013).

O método de simulação permite que se faça uma análise como se o SAAP já tivesse sido instalado, o que contribuiu para o aparecimento de abordagens computacionais que procuram modelar o comportamento do sistema. Segundo Mitchell et al. (2008), o estudo desses resultados e dos vários parâmetros envolvidos permitiu que se identificassem alguns parâmetros como sendo mais significativos que outros, tendo-se concluído que a extensão dos dados de precipitação utilizados, a variabilidade inter-anual do consumo e o tipo de superfície de

armazenamento seriam os três parâmetros mais relevantes. Em contrapartida, os parâmetros considerados menos importantes para determinação da fiabilidade do sistema foram o volume inicial considerado, os padrões de consumo diários e semanais, o comportamento ao longo do dia e a ordem de armazenamento (que diz respeito aos algoritmos YAS e YBS já referidos). Sugere-se ainda, no mesmo estudo, que a análise do desempenho do SAAP seja realizada recorrendo a séries de precipitação de pelo menos 10 anos.

No Brasil, a norma NBR 15527 sugere diversos métodos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial, nomeadamente método de Rippl, método da consideração do número de dias consecutivos sem chuva; método da Simulação, método Prático Brasileiro/Azevedo Neto, método Prático Alemão, método Prático Australiano e método Prático Inglês (Amorim & Pereira 2008; Rupp et al. 2011). Amorim & Pereira (2008) realizaram uma análise comparativa dos vários métodos no dimensionamento de um sistema em particular que pretendiam implementar num edifício no Brasil, chegando aos resultados apresentados no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Análise comparativa de diversos métodos de dimensionamento.

(Adaptada de: Amorim & Pereira 2008)

Método	Tipo	Dados	Volume obtido (m³)	Eficiência (%)
Rippl	Analítico	Desvio Padrão	67,3	86,3
		Médias Mensais	60,5	85,2
		Médias Diárias	57,5	84,4
		Pior ano com dados mensais	124,5	100,0
		Pior ano com dados diários	123,1	99,7
		Melhor ano com dados mensais	53,9	83,6
		Melhor ano com dados diários	73,8	88,8
		Ano típico com dados mensais	82,2	90,7
		Ano típico com dados diários	100,2	93,7
		Medianas Mensais	77,4	89,9
	Modo gráfico		65,0	86,0
Dias consecutivos sem chuva	Simplificado	6 dias	7,0	69,0
		12,9 dias	15,0	60,3
	Análise estatística	20 dias	23,2	73,2
Simulação de Reservatório com Capacidade Suposta			10	73,3
			25	75,8
			50	84,2
			75	91,7
			100	97,5
			125	100,0
Prático Brasileiro			127,4	-
Prático Alemão			25,5	-
Prático Australiano			30-45	-
			Média	85,7%

Os autores sugerem ainda que os métodos práticos têm uma aplicação mais simples, sendo mais adequados para residências unifamiliares e pequenos estabelecimentos, enquanto métodos mais complexos (Rippl, simulação, dias sem chuva) são mais indicados para projetos maiores.

Através dos dados já apresentados foi possível constatar que as diferentes simulações pelos vários métodos chegaram sempre a resultados vantajosos do ponto de vista da poupança de água potável. No entanto, grande parte das possíveis implementações de SAAP revelam-se economicamente inviáveis, devido aos elevados custos de investimento e longos períodos de retorno que lhes estão associados na maioria dos casos.

Um estudo realizado no Brasil procurou avaliar a viabilidade financeira da implementação de um SAAP, tendo para isso reunido numa primeira fase toda a informação necessária ao dimensionamento do sistema. Foi utilizado o programa Netuno (desenvolvido no ano de 2004, no Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil), que funciona com base na simulação de um SAAP, calculando o potencial de poupança de água tendo em conta várias áreas de recolha possíveis (Proença et al. 2011). No estudo optou-se pela implementação de dois tanques, um inferior destinado a recolher e armazenar a água, seguido de um grupo hidropressor destinado a bombear a água para um outro reservatório superior, localizado junto ao telhado, que abastece os respetivos aparelhos por gravidade. De acordo com os tamanhos de tanques considerados ideais procedeu-se depois à contabilização dos custos de instalação e manutenção, contabilização da redução de custos devido à poupança de água potável e só depois foi feita a análise de viabilidade considerando o período de retorno do investimento (Ghisi & Schondermark 2013). Considerou-se a possibilidade de selecionar uma capacidade diferente da ideal, tendo-se feito a análise de viabilidade financeira para tanques que corresponderiam a uma variação de seis meses no menor período de retorno possível, já que uma pequena variação no período de retorno poderia levar à escolha de um tanque que proporcionasse poupanças de água mais significativas. Foi feita uma análise semelhante relativamente ao investimento num SAAP de um posto de combustível localizado também no Brasil (Ghisi et al. 2009).

Na Austrália também se procedeu a uma análise de viabilidade, estudando quatro localizações diferentes, concluindo-se que o período de retorno do investimento é inferior onde a precipitação tem valores mais elevados e é mais consistente (Zhang et al. 2009).

Alguns autores optam por calcular o período de retorno sem aplicar quaisquer taxas (Zhang et al. 2009; Ghisi & Schondermark 2013), tomando em conta apenas os valores do investimento inicial e os valores das poupanças anuais, não considerando assim as atualizações de preços nem a taxa de atualização anual, que pretende dar algum tipo de rendimento ao investidor. Trata-se, então, de uma aproximação simplificada que pode ser considerada como mais adequada quando o objetivo do investimento não é a obtenção de lucro, mas sim a redução de uma despesa fixa.

O estudo do desempenho em serviço de SAAP implementados pode também revelar-se uma ferramenta útil, na medida em que permite tirar algumas conclusões que se podem revelar benéficas no futuro. Por exemplo, a monitorização ao longo de 12 meses de 20 habitações na Austrália com um SAAP incorporado permitiu concluir que, na falta de água pluvial para satisfazer as necessidades de consumo, a opção de abastecer o reservatório com água da rede pública apresentava um gasto anual de 1,65 vezes mais energia do que a opção de usar dispositivos automáticos para alternar entre abastecimento a partir do reservatório ou diretamente da rede pública (Umapathi et al. 2013). A primeira alternativa consiste, tipicamente, num sistema composto por uma válvula de nível instalada no tanque de água pluvial que permite a entrada de água entra da rede pública sempre que o volume é insuficiente para as necessidades de consumo. A segunda alternativa consiste, usualmente, num sistema de válvulas que alterna a fonte de abastecimento automaticamente em função do volume de água no tanque. Isto é, se houver água no tanque o abastecimento é efetuado com água pluvial caso contrário é efetuado

diretamente com água da rede pública. Estas duas alternativas diferem na medida em a primeira implica que toda a água a jusante do tanque, seja ela pluvial ou da rede pública, tenha necessariamente de ser bombada (exceto se o tanque for elevado) enquanto na segunda é possível aproveitar a pressão da rede pública. No entanto, quando se opta pela segunda alternativa, e apesar de serem adotadas medidas para evitar o contato direto entre a rede de água pluvial e a rede de água pública, acaba por existir o risco de contaminação da rede pública.

Num estudo realizado em Portugal foram descritos e analisados seis métodos de dimensionamento do tanque de armazenamento de água pluvial para dois casos: um edifício público e uma moradia, tendo-se concluído que é preferível utilizar métodos mais detalhados na medida em que representam melhor a realidade. Os critérios de 100% de Eficiência de Poupança implicam tanques muito maiores, e o aumento do tamanho dos tanques representa um aumento de custos de instalação muito mais significativo do que as poupanças obtidas, pelo que é necessário encontrar uma solução equilibrada. Averiguou-se que o melhor tanque equivalia, naquele caso, a cerca de 80% da Eficiência, considerando-se ainda que a instalação do sistema é viável quando o tempo de retorno do investimento é inferior ao tempo de vida do edifício (Santos & Taveira-Pinto 2013).

Um outro estudo, realizado no Reino-Unido, alerta também para a importância de não usar métodos demasiado simples, preferindo-se um modelo de simulação contínua de forma a evitar o sobredimensionamento dos tanques, já que este leva a maiores custos e períodos de retorno mais longos, prejudicando a implementação dos SAAP em larga escala (Ward et al. 2010).

Relativamente à precipitação, sabe-se que o estudo de um mesmo sistema utilizando dados de precipitação mensais tende a sobrestimar a capacidade do tanque necessário para atingir um mesmo grau de poupança de água (Imteaz et al. 2012), pelo que é preferível a utilização de dados de precipitação diária. A utilização de dados mensais não toma em consideração o efeito das flutuações diárias, mas é possível incorporar esses efeitos num modelo mensal através da consideração de um parâmetro operacional de armazenamento, determinado com base em dados de precipitação diária (Fewkes 2000).

A nível dos consumos, salienta-se que a compreensão detalhada dos padrões de *end-use* (utilização final) da água permite identificar o consumo de água em função dos seus usos, ajudando a entender o potencial de poupança associado. Já se entendeu que existem localidades onde a recolha de água pluvial é feita também para fins potáveis, mas o presente documento pretende explorar de forma mais detalhada a sua utilização para fins não potáveis, destacando a sua utilização para fins de rega, máquinas de lavar roupa, descargas de autoclismo e limpeza de automóveis e pavimentos.

2.2.5 Implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Existem, no mundo, diversos países em que o aproveitamento de AP está muito mais desenvolvido, tanto que mais de 3,2 milhões de australianos usam água pluvial como única fonte de água potável (Coombes et al. 2006), e na África do Sul os SAAP têm o potencial de melhorar o abastecimento de água rural. Só no Japão, o número de edifícios com um SAAP instalado subiu de 3 em 1970 para 1000 edifícios em 2003 (König & Sperfeld 2007). Segundo Belmeziti et al. (2013) é possível averiguar que, na América, o crescente desenvolvimento desta prática levou à produção de guias ou normas específicas, enquanto que na Europa o desenvolvimento varia de um país para outro: a Alemanha é líder com muitos programas experimentais realizados na década de 1990, cerca de 15% dos franceses têm um SAAP e em países como Portugal, há muito pouca difusão.

Em Portugal, concretamente, pode-se evidenciar a existência do PNUEA, de Incentivos da UE para a Construção Sustentável, da Certificação da Sustentabilidade em Edifícios, dos Incentivos Fiscais e as especificações técnicas desenvolvidas pela ANQIP mas, no entanto, estes documentos, programas e organismos constituem apenas a componente das diretrizes e incentivos à implementação dos SAAP, não existindo até à data uma regulamentação específica que coordene os aspetos relativos à utilização de AP (Neves & Afonso 2010)

Noutros países o estatuto jurídico dos SAAP permanece ainda muito pouco claro, e por exemplo na África do Sul a sua implementação chega mesmo a ser ilegal, tendo em conta a estrita aplicação das legislações de água em vigor (Kahinda et al. 2007). No Brasil existe um volume mínimo de água que é cobrado mensalmente (10m^3) mesmo que seja consumida menos água, pelo que uma pessoa a viver sozinha que gaste em média cerca de 150L por dia contabiliza $4,5\text{m}^3$ mensais, menos de 50% do que depois lhe é cobrado. Este tipo de situações presentes na legislação não incentivam à poupança de água potável e devem, portanto, ser alteradas (Ghisi & Mengotti de Oliveira 2007).

Um estudo realizado por Guillon et al. (2008) permitiu concluir que a implementação de um SAAP com um “pequeno tanque” (4m^3), numa habitação unifamiliar com 100m^2 de área de recolha e de 100m^2 de área ajardinada, conseguiria reduzir em 50% o consumo de água anual, reduzindo ainda em 30% o volume de água que iria diretamente para o esgoto.

Em Portugal foi realizado um modelo de simulação que indicou que, para uma casa com uma planta de 100m^2 e uma área ajardinada de 50m^2 é possível poupar entre 3m^3 e 11m^3 de água, que representam entre 12-41% da conta da água. Destaca também que o tamanho do tanque deverá ser otimizado de acordo com a área a regar, e que para 100m^2 de área seria indicado um tanque de 4m^3 (Shahidian et al. 2008).

A determinação do funcionamento de um sistema pode também passar pela consideração de combinações entre as utilizações de água não potáveis que se pretendem fornecer, escolhendo o tanque adequado a cada uma delas. Um estudo realizado na Suécia tentou identificar a melhor solução para um empreendimento em construção, e concluiu que para a utilização apenas em descargas de autoclismo, um tanque de 40m^3 seria necessário para poupar cerca de 60% de água potável. Para efeitos apenas de lavandaria, um tanque da mesma capacidade pouparia cerca de 40% do fornecimento, e uma combinação das duas utilizações, ainda com o mesmo tanque, resultaria numa poupança de 30%. O mesmo empreendimento tem uma zona comum verde com cerca de 20000m^2 , para o qual se estimou que um tanque com 80m^3 forneceria cerca de 60% da água necessária durante os meses de verão (Villarreal & Dixon 2005).

O consumo de água pode ser reduzido através da utilização de aparelhos desenhados para o efeito, nomeadamente torneiras com fecho automático (temporizador) ou eletrónica com sensor, bacias-retrete e urinóis com descarga de baixo volume ou com autoclismo duplo (dois botões, dois volumes de descarga). Estudos relativos a Sicília, Itália, realizados em dois edifícios habitacionais, duas escolas e dois centros desportivos concluíram que a instalação destes aparelhos poderia representar poupanças de água na ordem dos 10-20% em edifícios residenciais e de 25-60% em edifícios públicos (Roccaro et al. 2011).

No entanto, como já referido, existem localizações onde é cobrado um volume mínimo de água, pelo que a instalação dos aparelhos pode não ser economicamente viável. Assim sendo, um melhor dimensionamento passa pelo estudo detalhado desses consumos no edifício onde se quer implementar o SAAP, tendo em conta não só as quantidades em questão mas como os aparelhos e utilizações, sejam elas potáveis ou não potáveis.

Nos edifícios comerciais, como escritórios e centros comerciais, não é comum que exista uma grande utilização de água sem ser para fins não potáveis, sendo que as descargas de autoclismos, utilização em lagos e fontes, rega e limpeza de pavimentos e de automóveis representam a percentagem mais significativa da água total consumida já que geralmente não existem banheiras/duches nem máquinas de lavar loiça. Mesmo nos edifícios comerciais em que existem locais de restauração que necessitam de abastecimento de água potável tendem também a existir diversas instalações sanitárias e, frequentemente, uma grande área coberta, pelo que se deve considerar o aproveitamento da água pluvial nestes locais.

Um estudo realizado num aeroporto de tamanho médio no Brasil, por exemplo, concluiu que cerca de 65% do consumo de água é para fins não potáveis, sugerindo que os aeroportos apresentam alto potencial para a implementação de SAAP. Este aeroporto em concreto poderia apresentar uma eficiência de poupança de água potável entre os 66 e os 100%, com uma fiabilidade entre os 57 e os 100%, referindo ainda que para volumes menores (100m^3) seria preferível a utilização de tanques de fibra de vidro, e que para volumes maiores (1000m^3) seria mais indicado que os tanques fossem contruídos em betão. Estas recomendações inserem-se num ponto de vista económico, proporcionando períodos de retorno do investimento entre os 3,4 aos 23 anos (Moreira Neto et al. 2012).

Também no Brasil foi realizado um estudo que simulou que a utilização da água pluvial para lavar carros num posto de combustível podia levar a uma poupança de água entre 9,2% e 57,2% consoante uma menor ou maior área de captação (Ghisi et al. 2009).

Há uns anos atrás começou a ser implementada no Japão uma maior utilização da água pluvial, e os *dome stadiums* foram uma das infraestruturas intervencionadas. Um *dome stadium* é caracterizado como uma estrutura de grande porte, coberta, destinada à realização de jogos de basebol, concertos e outro tipo de exhibições, registando consumos de grandes quantidades de água de uma só vez. Depois de instalar um SAAP em três destas estruturas (*Tokyo Dome*, *Fukuoka Dome*, *Nagoya Dome*) procedeu-se à monitorização dos resultados obtidos. Os autores apresentaram os valores registados no *Fukuoka Dome*, representado na Figura 2.11, para o qual se estimava que a água pluvial recolhida cobrisse cerca de 59% e que 78% da água recolhida fosse utilizada. Na realidade, registou-se um fornecimento de 65% da água necessária, utilizando 75% da água recolhida, valores que foram recebidos com satisfação, concluindo-se que o sistema foi bem dimensionado e que a utilização de água pluvial foi eficaz (Zaizen et al. 2000).

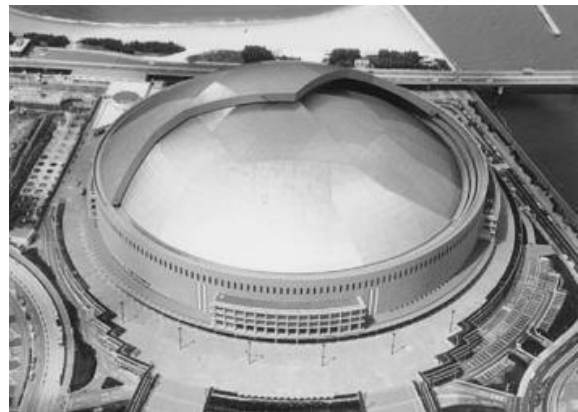


Figura 2.11 – Fukuoka Dome.

(Fonte: Zaizen et al. 2000)

Procurou-se fazer uma simulação de um SAAP a instalar num centro comercial localizado em Braga, Portugal, de forma a estimar a capacidade do tanque através do método de Rippl. A metodologia utilizada teve em conta as diferentes combinações entre as utilizações de água não potáveis que se pretendem fornecer, à semelhança do já referido quanto a Villarreal & Dixon (2005) no subcapítulo 2.2.5, concluindo que o cenário que se mostrou mais viável correspondia à utilização da água apenas para rega e limpeza de pavimentos (Matos et al. 2013b).

O Quadro 2.7 apresenta de forma resumida alguns valores de poupança obtidos em diversos estudos abordados anteriormente (tanto a nível de implementação em edifícios habitacionais como comerciais), em função dos tanques que se consideraram mais adequados a cada caso.

Quadro 2.7 – Resumo dos valores de poupança de água associados a vários estudos abordados.

Autor	Localização	Edifício	Área de Captação (m ²)	Utilizações	Volume do tanque (m ³)	Poupança associada
Villarreal & Dixon 2005	Suécia	Habitação	20000	Autoclismos	40	60%
				Lavandaria	40	40%
				Autoc. e Lav.	40	30%
Moreira Neto et al. 2012	Brasil	Aeroporto	2428	Usos não potáveis	100	57%
					1000	89%
			45420		100	77%
					1000	84%
			9283		100	73%
					1000	94%
			12076		10	91%
					90	100%
12620	100	66%				
	1000	78%				
Guillon et al. 2008	França	Habitação	100	100 m ² de área ajardinada	4	30%
Shahidian et al. 2008	Portugal	Habitação	100	50 m ² de área ajardinada	4	12-41%
Ghisi et al. 2009	Brasil	Posto de combustível	350	Lavar carros	10	9,2%
			550		20	37,5%
			750		20	57,2%
Zaizen et al. 2000	Japão	<i>Dome Stadium</i>	25900	Autoclismos e rega	1800	65%
					Média	61%

Os resultados provam, na sua maioria, que a implementação de um SAAP é muito favorável, obtendo um potencial de poupança previsto/calculado quase sempre superior a 50%.

Em Portugal, como referido no subcapítulo 2.1.1, o dimensionamento da rede de abastecimento de água em edifícios comerciais deverá ser feito de acordo com o Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto, tomando o valor de captação de 50 L/habitante/dia. No entanto, foi também referido que é preferível que o dimensionamento seja feito de acordo com as utilizações finais da água, pelo que o melhor método deve englobar o estudo dos consumos registados em anos passados ou estimados para anos futuros.

É também de recordar que a influência que o “verde” acrescenta à imagem de uma empresa acaba, por vezes, por ser decisivo para que as empresas decidam avançar com o investimento mesmo tendo em conta os elevados custos e possíveis longos períodos de retorno (Chilton et al. 2000; Matos et al. 2013b).

3. METODOLOGIA DE CÁLCULO

3.1 Avaliação técnica

A avaliação técnica de um sistema de aproveitamento de águas pluviais consiste em determinar a eficiência de poupança de água da rede pública que está associada a uma determinada combinação entre a área de recolha de águas pluviais de um edifício e o volume do reservatório de armazenamento a instalar. Optou-se por estimar a eficiência de um SAAP através do Método de Simulação de Reservatório com Capacidade Suposta (ou Método de Simulação), referido no subcapítulo 2.2.4 do presente documento, que assenta nas seguintes variáveis:

- **precipitação no local** (mm) – De forma a que a simulação traduza de forma mais realista o funcionamento do sistema, os dados de precipitação utilizados devem corresponder a valores diários de séries de precipitação históricas com uma extensão representativa. Segundo Mitchell et al. (2008) e a Especificação Técnica 0701 da ANQIP (2015), a dimensão mínima da série de precipitação deve corresponder a 10 anos;
- **área de recolha** (m²) – Deve ser realizado um estudo cuidado das plantas de arquitetura de modo a seleccionar as possíveis áreas de recolha e respetivas condicionantes;
- **capacidade do reservatório a testar** (m³) – Podem seleccionar-se várias capacidades de forma a explorar o funcionamento do SAAP em função da capacidade considerada. Pode também realizar-se um pré-dimensionamento que resulta da multiplicação do consumo diário de água pelo número máximo de dias consecutivos sem chuva registado nas séries de precipitação;
- **coeficiente de escoamento da cobertura** – Varia conforme o tipo de cobertura. No caso de coberturas impermeáveis, a Especificação Técnica 0701 (ANQIP 2015) recomenda 0,80, e no subcapítulo 2.2.3 abordam-se valores para outro tipo de coberturas;
- **perda inicial devido à altura de *first flush* rejeitada** (mm) – Deve ser retirada uma quantidade de água inicial que assegure uma correta dissolução de poluentes e arrastamento de detritos que possam estar presentes na área de recolha, evitando a contaminação excessiva da água que se pretende armazenar. A Especificação Técnica 0701 (ANQIP 2015) admite que o valor varie entre 0 e 8 mm, recomendando que se utilize o valor de 2 mm na ausência de mais informações;
- **consumo total diário de água** (m³/dia) – Possibilitou-se a introdução dos valores de consumo (m³/dia) em função do mês do ano, já que podem verificar-se diferenças sazonais significativas que possam influenciar os resultados;
- **consumo diário de água em utilizações não potáveis** (m³/dia) – Deve considerar o consumo que é destinado a utilizações que não requerem o uso de água potável, já que geralmente é este tipo de utilizações que o SAAP abastece;
- **continuidade anual** (sim/não) – A simulação pode ser realizada de forma contínua ou não. No caso de não ser, a cada início de um novo ano civil a simulação deverá iniciar com um volume inicial correspondente ao parâmetro abaixo;
- **fração do tanque cheia no início** – A simulação pode ser iniciada com um certo volume inicial de água no tanque, que pode variar entre 0 e 1 (de 0 a 100% da capacidade do tanque adotado);

- **fração de precipitação antes do consumo** – Este parâmetro deve ser preenchido com um valor entre 0 e 1, que simula a distribuição ao longo do dia da precipitação face ao consumo. O valor 0 representa o algoritmo de armazenamento mais utilizado, *Yield After Spillage* (abordado no subcapítulo 2.2.4), que determina que não chove antes do armazenamento. O valor 1 corresponde ao algoritmo inverso, *Yield Before Spillage*, para o qual se admite que ocorre 100% da precipitação antes do consumo;
- **regra do first flush** – Admitindo que o sistema a ser instalado se encontra num local relativamente poluído/sujo, é expectável que a altura de FF considerada seja superior à que seria admitida caso o sistema fosse instalado num ambiente considerado limpo. No entanto, na presente dissertação não se explorou a segunda hipótese.

3.2 Ferramenta de avaliação técnica

Foi inicialmente desenvolvida em MS Excel uma ferramenta de cálculo relativa a um sistema de características únicas de funcionamento quanto a área e volume, reproduzindo o funcionamento do sistema numa base diária através do Método de Simulação, recorrendo a equações de balanço de água, anteriormente abordadas na Revisão de Conhecimentos.

Depois do entendimento do sistema através da ferramenta desenvolvida em MS Excel optou-se por desenvolver uma ferramenta de avaliação técnica em *software* Matlab, com o objetivo de facilitar a obtenção de resultados para diferentes combinações de área, volume e padrão de consumo, por forma a entender qual a combinação mais recomendável e que gere um maior aproveitamento de água pluvial.

Os parâmetros relevantes na avaliação técnica de um SAAP através do Método da Simulação foram descritos em 3.1, e de forma a uniformizar a introdução desses dados na ferramenta optou-se por desenvolver uma folha de introdução de dados, designada como Ficheiro de Dados, conforme representado na Figura 3.1. Este ficheiro deve ser antecipadamente preenchido pelo utilizador, e depois inserido na ferramenta. É ainda necessário que se crie um Ficheiro de Precipitação, conforme indicado no Quadro 3.1.

System characteristics		Catchment Area (m ²)	Tank capacities (m ³)	Pattern(s)	Month	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
		1	1	1						
Runoff coefficient	0,8	4280	150	Daily water consumption (m ³ /day)	1	26,70				
Initial loss (mm)	0,5				2	24,16				
Year continuity (yes=1;no=0)	0				3	23,05				
Fraction of tank full at the beginning (0-1)	0				4	24,87				
Fraction of precipitation before consumption (0-1)	0				5	26,55				
First Flush rule (1: dirty environment ; 2: clean env.)	1				6	30,18				
					7	32,43				
					8	37,73				
					9	29,71				
					10	26,27				
					11	24,33				
					12	25,24				
				Daily non potable consumption (m ³ /day)	1	24,08				
					2	21,76				
					3	20,79				
					4	22,45				
					5	23,97				
					6	27,31				
					7	29,39				
					8	34,06				
					9	26,84				
					10	23,76				
					11	21,90				
					12	22,72				

Figura 3.1 – Folha de introdução de dados, em MS Excel, do ficheiro de entrada (exemplo).

Quadro 3.1 – Forma de introdução dos dados no programa.

Ficheiro de Precipitação	Ficheiro em MS Excel com 4 colunas (de A a D): Coluna A - Ano Coluna B - Mês Coluna C - Dia Coluna D - Precipitação medida (mm)
Ficheiro de Dados	Ficheiro em MS Excel, devidamente preenchido. A folha de introdução de dados encontra-se apresentada na Figura 3.1.

Na Figura 3.1, a zona a branco representa os valores que o utilizador deve preencher, que dizem respeito às áreas de recolha, volumes de tanque e padrões de consumo a testar. Os valores da zona a cinzento representam as características do sistema assumidas por defeito, mas que são possíveis de se alterar em função das especificações do sistema a instalar.

Ao iniciar o programa é requerido ao utilizador que providencie três informações, conforme visível na Figura 3.2. São pedidos os nomes dos dois ficheiros MS Excel de entrada e o nome que pretende dar ao ficheiro de resultados, criado pelo próprio programa.

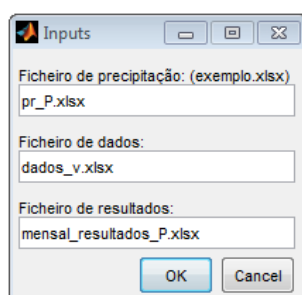


Figura 3.2 – Introdução de dados no programa, por parte do utilizador (exemplo).

Assim sendo, os dois ficheiros de entrada providenciam informação quanto à precipitação medida em cada dia, quanto ao coeficiente de escoamento, altura de *first flush*, continuidade anual, fração do tanque cheio no início, fração de precipitação antes do consumo e também quanto a áreas de recolha, volumes de armazenamento e padrões de consumo.

A componente da simulação referente ao *first flush* foi realizada de modo a que, todos os dias, seja rejeitada uma parcela de água. Tal consideração foi feita por se assumir que os edifícios a analisar se localizam em zonas urbanas, com muita poluição e matéria que se possa depositar na área de cobertura. No entanto, é de salientar que esta consideração pode implicar que se esteja a desprezar água relativamente limpa numa quantidade que pode ser significativa.

A ferramenta de cálculo procede à simulação dos sistemas e depois à compilação dos resultados estimados, conforme o fluxograma representado esquematicamente na Figura 3.3. Procede também ao tratamento desses resultados conforme indicado na Figura 3.4.

Dia (t)	<i>First Flush</i> (FF)	
Número de dias total (T)	Consumo diário não potável (CDNP)	Volume inicial de água no tanque (vit)
Precipitação medida (p)	Continuidade anual (CA)	Volume final de água no tanque (vft)
Ano (n)	Fracção do tanque cheio no início (FTCI)	Água pluvial recolhida (rec)
Número de anos considerados (N)	Fracção de precipitação antes do consumo (FPAC)	Água pluvial utilizada (ut)
Mês (m)	Diário acumulado (dac)	Água pluvial armazenada (arm)
Área de recolha (AR)	Perda inicial (perda)	Água pluvial total (tot)
Coefficiente de escoamento (CE)		Excesso/ <i>Splillage</i> (ex)
Capacidade do tanque (CT)		

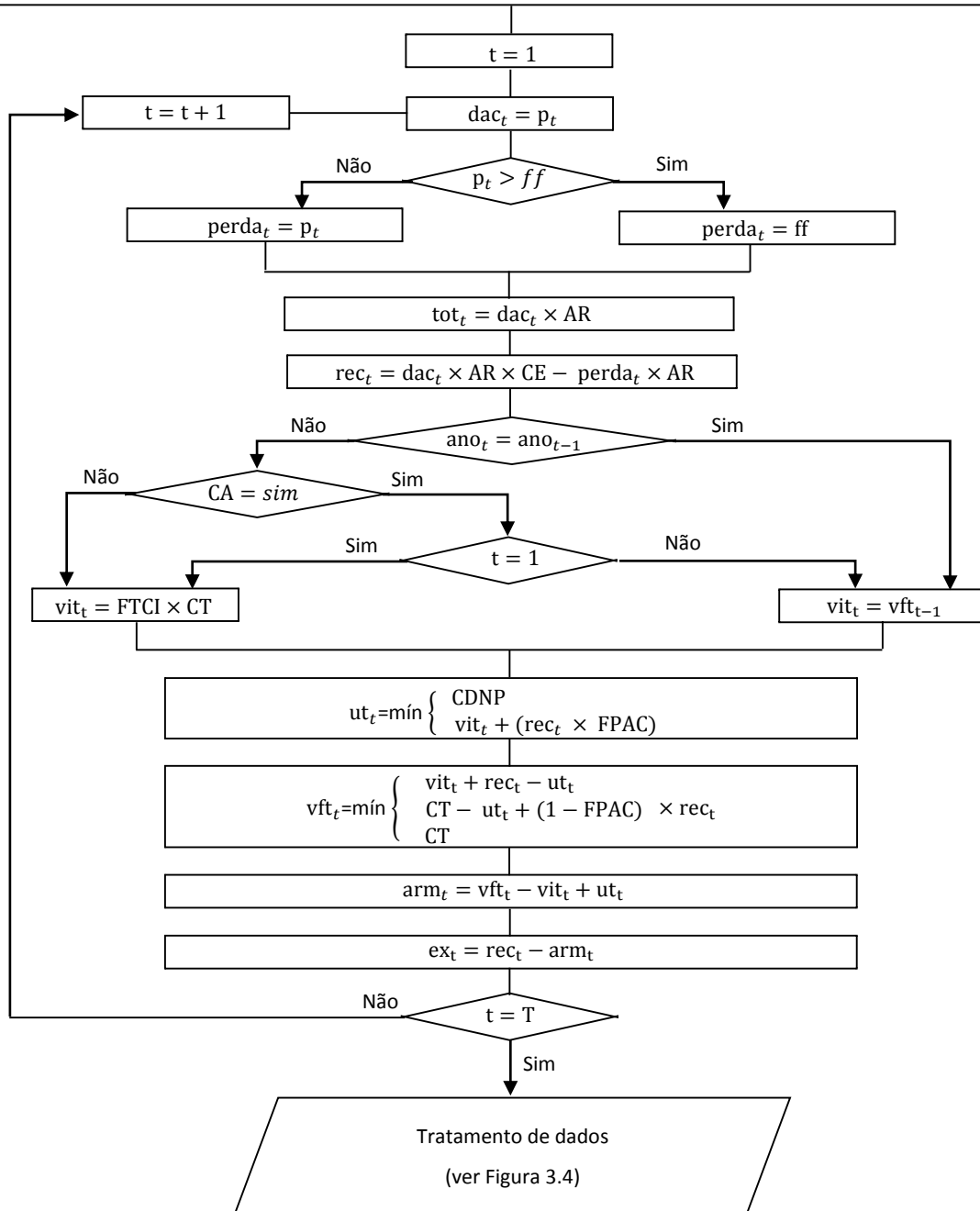


Figura 3.3 – Fluxograma do funcionamento geral do programa.

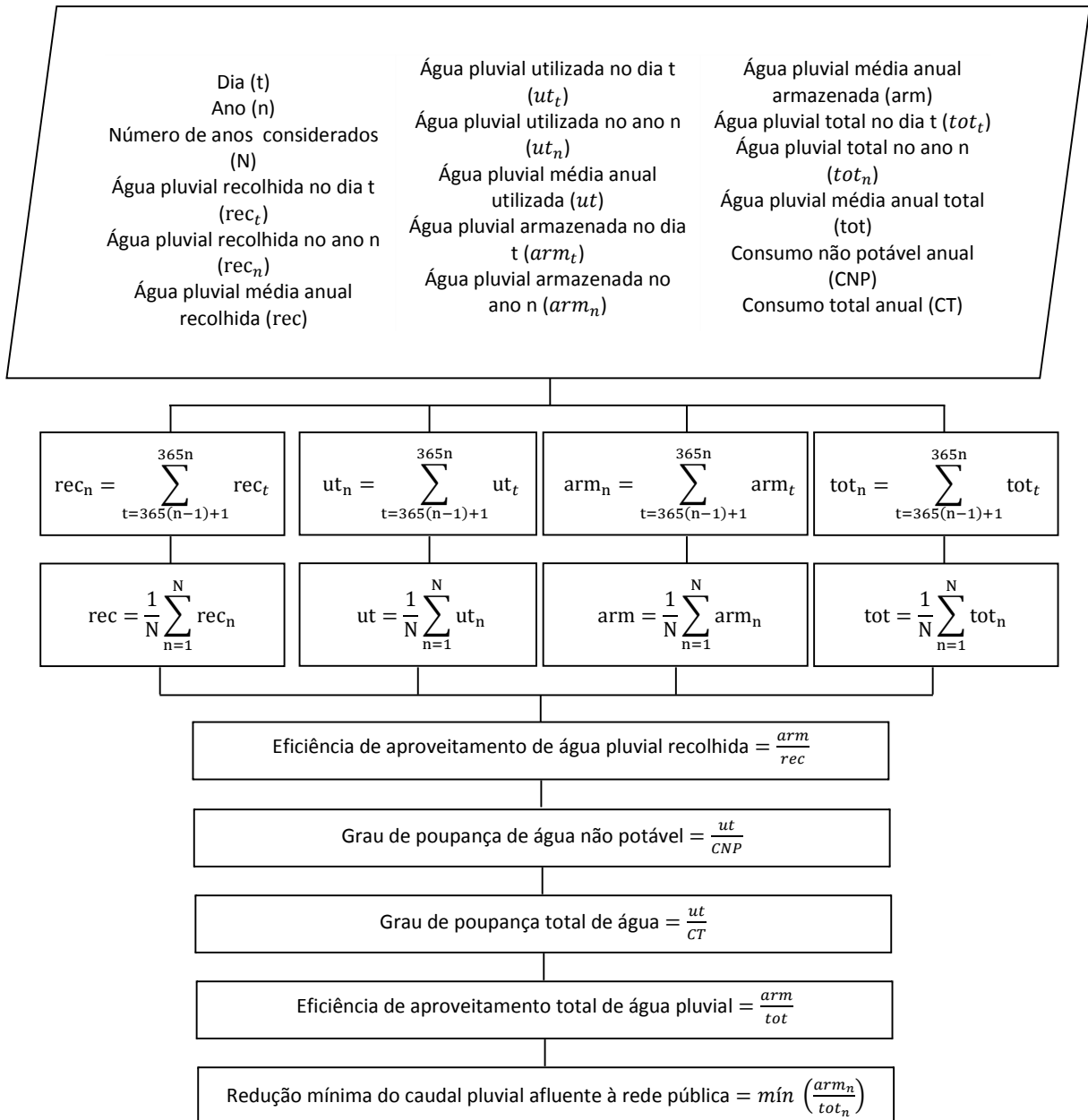


Figura 3.4 – Fluxograma do funcionamento do tratamento de resultados.

A ferramenta cria, como resultado, um ficheiro Excel que contém numa primeira folha os dados gerais que caracterizam a simulação, e numa segunda folha os resultados estimados.

A primeira folha contribui para uma identificação mais fácil das características a que diz respeito aquele ficheiro de resultados em concreto, como visível na Figura 3.5, o que é especialmente útil quando se estão a analisar resultados de diferentes simulações. Cada simulação é realizada para apenas uma série de precipitação inserida, já que as ponderações quanto à localização relativa dos pontos considerados face à localização do sistema podem variar bastante. Assim, as ponderações devem ser feitas numa fase posterior, em função de cada caso, não estando esse parâmetro contemplado na ferramenta.

DADOS	
Ficheiro de precipitação	pr_transtejo.xlsx
Ficheiro de dados	ccc_reais.xlsx
Coefficiente de escoamento	0,8
First flush (mm)	1
Continuidade anual	0
Fracção do tanque cheio ao início	0
Fracção de precipitação antes do consumo	0,5
Regra da First Flush	1
Número de Áreas	1
Número de Volumes	5
Número de Padrões	1
Resultado do pré-dimensionamento (m3)	21503
Número de anos considerados	32
Consumo não potável (m3/ano) - Q1	70140
Consumo total (m3/ano) - Q1	100300
Consumo não potável (m3/ano) - Q2	84168
Consumo total (m3/ano) - Q2	120360

Figura 3.5 – Apresentação dos dados no ficheiro de resultados do programa (exemplo).

Além dos parâmetros inseridos, do número de áreas de recolha, volumes de tanques e padrões de consumo a testar, apresenta-se também o resultado do pré-dimensionamento abordado em 3.1. Apesar de este valor ser tipicamente muito superior ao *threshold tank* (abordado em 2.2.3), pode ajudar a ajustar, quando necessário, os volumes que estão a ser testados.

Os valores de consumo apresentados (m³/ano) são obtidos pela soma total dos produtos entre o consumo diário em função do mês do ano (m³/dia), pelo número de dias de cada mês, respetivamente. Estes valores dependem apenas do padrão de consumo *i* considerado (Q_i) e também estão considerados no ficheiro de resultado, como se pode verificar pela Figura 3.5.

Na segunda folha do ficheiro de resultados são apresentados cinco índices que se consideraram relevantes, nomeadamente:

- eficiência de aproveitamento de água pluvial recolhida = $\frac{AP \text{ armazenada}}{AP \text{ recolhida}}$;
- grau de poupança de água não potável = $\frac{AP \text{ utilizada}}{CNP}$;
- grau de poupança total de água = $\frac{AP \text{ utilizada}}{CT}$;
- eficiência de aproveitamento total de água pluvial = $\frac{AP \text{ armazenada}}{AP \text{ total}}$;
- redução mínima do caudal pluvial afluente à rede pública = $\text{mín} \left(\frac{AP \text{ armazenada}}{AP \text{ total}} \right)$.

Estes índices dependem diretamente das quatro variáveis *arm*, *rec*, *ut* e *tot*, que representam a média (m³/ano) de água pluvial que diz respeito a cada uma das situações já descritas na Figura 3.3. O ficheiro de resultado permite a visualização dos cinco índices descritos e das quatro variáveis envolvidas sob forma de tabelas, como se pode verificar no excerto apresentado na Figura 3.6.

Padrão	Volumes (m3)					Grado de poupança de água não potável (%)					Grado de poupança total de água (%)				
Áreas (m2)	Poupança														
	Eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%)														
	Q1	50	150	300	600	Q1	50	150	300	600	Q1	50	150	300	600
40000	44,96	57,55	67,88	80,09		40000	9,52	12,16	14,35	16,91	40000	14,02	16,66	18,85	21,41
Q2	50	150	300	600	Q2	50	150	300	600	Q2	50	150	300	600	
40000	54,40	69,64	82,14	96,91	40000	11,95	14,59	16,78	19,34	40000	16,52	19,22	21,47	23,96	

Figura 3.6 – Apresentação dos resultados no ficheiro de resultado do programa (excerto exemplificativo).

3.3 Viabilidade financeira

O desenvolvimento do programa de simulação possibilitou a análise do potencial de poupança associado a cada SAAP analisado. No entanto, foi depois necessário realizar a análise da viabilidade financeira do investimento, até porque maiores valores de poupança estão associados a maiores reservatórios e, consequentemente, a maiores custos.

Apesar de alguns autores considerarem que os custos de investimento no reservatório são a parcela mais relevante, podendo atingir cerca de 65% do capital necessário (Chilton et al. 2000), é conveniente que também se tenham em conta os custos de operação e manutenção de um sistema, de forma a realizar uma análise de viabilidade financeira mais realista.

Com esta análise pretende-se que seja encontrada uma solução de implementação adequada às várias condicionantes e que permita equilibrar os custos e os benefícios do sistema através de um investimento com um período de retorno aceitável. A análise deve ter em conta os seguintes fatores:

- **Poupança de água** (m³/ano) – A ferramenta desenvolvida determina a quantidade anual de água pluvial que é utilizada de acordo com a simulação realizada, e que não será, portanto, comprada à rede pública;
- **Tarifa da água** (€/m³) – O conhecimento da tarifa da água relativa à componente variável possibilita a determinação da poupança anual associada ao SAAP instalado;
- **Custos de implementação** (€) – É necessário elaborar um orçamento que seja adequado ao SAAP a instalar, incluindo custos de remodelação da rede, construção/instalação do reservatório e o fornecimento e montagem de todos os acessórios necessários. Na presente dissertação essa estimativa foi elaborada a partir de simplificações feitas com base no mapa de trabalhos e quantidades da implementação de um SAAP no Centro Comercial Colombo, em Lisboa, que pode ser consultado no **Error! Reference source not found.**
- **Custos de operação e manutenção** (€/ano) – Além dos custos de funcionamento da bomba que distribui a água pluvial pela rede predial, a Especificação Técnica 0701 (ANQIP 2015) sugere os cuidados indicados no Quadro 3.2, realçando que as verificações semestrais devem preferencialmente ocorrer no início e no final da época das chuvas.

Quadro 3.2 – Frequência de manutenção dos componentes do SAAP.

(Adaptada de: ANQIP 2015)

Componentes	Frequência de manutenção
Filtro	Inspeção e limpeza semestrais
Sistema de desvio de FF	Inspeção semestral e limpeza anual (se automática) ou semestral (se manual)
Caleiras e tubos de descarga	Inspeção e limpeza semestrais
Órgãos de tratamento/desinfecção	Inspeção mensal e manutenção anual
Sistema de bombagem	De acordo com as indicações do fabricante
Reservatório/Cisterna	Inspeção anual e limpeza e higienização de 10 em 10 anos (no máximo)
Unidades de controlo	Inspeção semestral e manutenção anual
Canalizações e acessórios	Inspeção anual

- **Período de Retorno do Investimento** (anos) – Depois de reunidos todos os custos envolvidos é necessário calcular o período de retorno do investimento (PRI), que traduz o momento em que os *cash flows* acumulados igualem o valor do investimento. Nessa altura regista-se que o Valor Anual Líquido (*VAL*) é nulo, ou seja,

$$VAL = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+t)^i} - I = 0 \quad (3.1)$$

Nesta equação, CF_i representa os cash flows do ano i , que resulta da diferença entre os benefícios (poupança financeira devido à utilização de água pluvial) e os custos de operação e manutenção registados nesse ano. A variável t representa a taxa de actualização, e I representa o valor do investimento inicial. No entanto, a consideração da taxa de actualização está geralmente associada a investimentos feitos com o objetivo de obter lucro, que não é o presente caso. Além disso, considera ainda a inflacção dos preços, o que na presente dissertação não se considerou relevante devido à sua influência reduzida. Optou-se, então, por calcular o período de retorno do investimento através de:

$$\sum_{i=1}^n CF_i = I \quad (3.2)$$

4. VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO TÉCNICA

4.1 Aplicação a edifícios comerciais

Por forma a validar a ferramenta desenvolvida procedeu-se à simulação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais já instalado num edifício comercial, de modo a comparar os resultados reais registados com os resultados estimados pela ferramenta de avaliação técnica.

Os edifícios construídos em Portugal que se destinam a fins meramente comerciais possuem geralmente uma arquitetura de área em planta bastante significativa e uma altura acima do solo de cerca de 3 pisos. Assim sendo, existe uma relação muito favorável entre a área de recolha disponível e as utilizações não potáveis de água, pelo que há bastante interesse que se explore o potencial de poupança de água obtido através da implementação de um SAAP.

A presente dissertação contou com a colaboração da entidade Sonae Sierra, conhecida entidade de gestão de centros comerciais, que disponibilizou informação sobre três centros comerciais e que possibilitou o estudo aprofundado dos casos em questão.

4.2 Caso de estudo: Centro Comercial Colombo

O Centro Comercial Colombo (CCC), assinalado na Figura 4.1, encontra-se localizado na zona de Carnide, em Lisboa. O centro comercial em questão era totalmente abastecido por água da rede pública, mas em 2008 a Sonae Sierra solicitou a realização de uma análise da viabilidade do aproveitamento de águas pluviais. Nessa análise constatou-se que o funcionamento das torres de arrefecimento exigia um consumo de água bastante superior às restantes utilizações (fontes, instalações sanitárias, entre outras). Assim, em 2011 foi instalado um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fornecer água às torres de arrefecimento, possibilitando ainda evitar uma intervenção profunda nas redes de abastecimento do centro comercial. No âmbito do estudo prévio estudou-se a possibilidade de implementar o sistema na totalidade da sua área de cobertura (cerca de 70000m²) ou de só em parte dela (40000m²), e estudou-se o funcionamento do sistema para três volumes de reservatórios distintos: 150, 300 e 500m³. Foi estimado o volume de água anual que seria poupada em cada solução, bem como respetivos custos de instalação e manutenção, obtendo-se um valor de período de retorno do investimento estimado para cada cenário. Na sequência do estudo, a Sonae Sierra optou por instalar o sistema para uma área de cobertura que totaliza cerca de 40000m², em conjunto com um reservatório de 150m³, devido aos elevados custos de implementação de um sistema para uma área recolha superior.

Ao longo dos anos a Sonae Sierra tem vindo a desenvolver e a implementar uma estratégia integrada para aumentar a sustentabilidade dos edifícios que gere, incluindo nomeadamente a redução dos consumos de água. A instalação do SAAP engloba-se neste contexto, que integra ainda a adoção de um vasto leque de medidas de eficiência hídrica, tais como torneiras com sensores de infravermelhos e sistemas de redução de caudal. Mais



Figura 4.1 – Localização do Centro Comercial Colombo.

(Adaptada de: Lima 2008)

informações sobre diferentes medidas de eficiência hídrica implementadas, respetivas eficiências e custos de ciclo de vida podem ser consultadas em Teixeira (2015).

4.3 Comparação de resultados

Por forma a validar a ferramenta de avaliação técnica de SAAP desenvolvida utilizaram-se os dados dos consumos de água reais do Centro Comercial Colombo relativos ao período entre 2011 e 2014. Calculou-se a quantidade de água pluvial recolhida em cada ano e a quantidade de água não potável consumida, o que possibilitou estimar a poupança anual média real de água não potável nesse período de tempo em 9,4% (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – CCC: Valores reais de poupança.

Área de recolha	Capacidade do Tanque	Água pluvial média utilizada	Água não potável média consumida	Poupança não potável
40000 m ²	150 m ³	6588 m ³ /ano	70139 m ³ /ano	9,4 %

Para o mesmo período estimou-se o valor médio diário de consumo de água não potável real numa escala anual e mensal, de forma a caracterizar o padrão de consumo a utilizar na ferramenta de avaliação técnica. Na Figura 4.2 apresentam-se os consumos não potáveis diários médios mensal e anual reais, sendo possível observar que existe uma variação muito significativa ao longo do ano. Dada a magnitude da variabilidade dos consumos não potáveis, adotaram-se os valores dos consumos não potáveis diários médios mensais. Dadas as características do SAAP e a variabilidade interdiária do consumo, não se espera que considerar o consumo diário médio de cada mês introduza erros significativos na simulação.

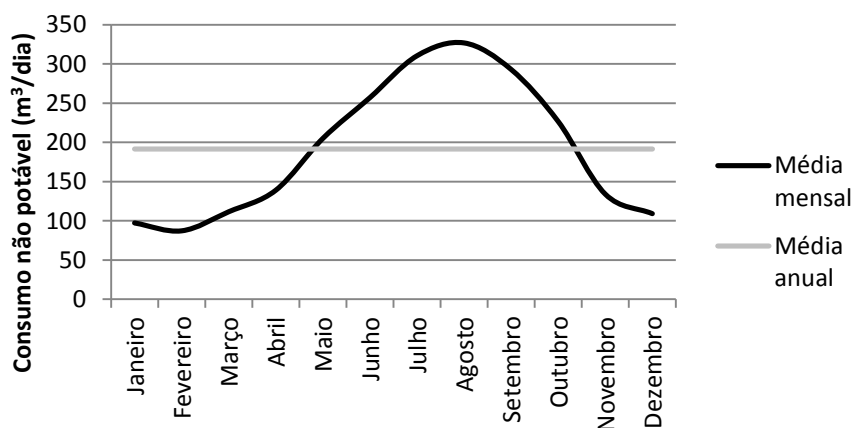


Figura 4.2 – CCC: Consumos médios reais, inseridos na simulação.

Uma vez que não são registados os valores da precipitação no centro comercial estudado, a simulação foi realizada com registos de precipitação da estação da Transtejo no Cais do Sodré, que foi a estação udométrica mais próxima que disponibilizava dados relativos aos anos 2012, 2013 e 2014. Ainda assim, a estação em causa dista cerca de 7 km do Centro Comercial Colombo, o que pode ter influência nos resultados observados.

A simulação foi realizada para o parâmetro de *first flush* recomendado no estudo prévio que foi realizado em 2008, a que corresponde a uma altura de FF=1mm. No entanto, sabe-se que o sistema real rejeita o volume de água inicial com base numa análise à condutividade da água, pelo que este pode constituir outra das fontes de erro para a simulação efetuada.

Os restantes parâmetros inseridos na simulação consistem em:

- simular o funcionamento do sistema atual, implementado para 40000m² de área e com um tanque de 150m³;
- selecionar um coeficiente de escoamento de 0,8 (ANQIP 2009) de acordo com o tipo de cobertura (impermeável);
- definir a altura de água inicialmente rejeitada (*first flush*) como sendo 1mm, de acordo com o estudo prévio;
- assumir que a fração do tanque cheia no início (ftci) é nula;
- assumir que não existe continuidade anual, pelo que cada ano é iniciado com o tanque vazio, já que ftci=0;
- assumir um algoritmo de armazenamento correspondente ao YAS, ou seja, a fração de precipitação que ocorre antes do consumo (fpac) é nula.

Os resultados obtidos da simulação encontram-se resumidos no Quadro 4.2, e no Quadro 4.3 é possível comparar os valores de poupança reais com os valores estimados pela ferramenta de cálculo.

Quadro 4.2 – CCC: Valores estimados de poupança, calculados pela simulação.

Área de recolha	Capacidade do Tanque	Água pluvial média utilizada	Água não potável média consumida	Poupança não potável
40000 m ²	150 m ³	6626 m ³ /ano	70139 m ³ /ano	9,4 %

Quadro 4.3 – CCC: Comparação dos resultados obtidos.

Situação	Precipitação	Consumo	Poupança não potável
Realidade	Real	Real	9,4 %
Simulação	Cais do Sodré	Real (média mensal)	9,4 %

Os valores apresentados no Quadro 4.4 permitem concluir que os resultados da simulação numérica do funcionamento do SAAP são bastante fiéis ao observado no caso de estudo do Centro Comercial Colombo, pelo que se considera que a ferramenta de avaliação técnica desenvolvida pode ser utilizada no dimensionamento de futuros sistemas de aproveitamento de água pluvial.

A instalação destes sistemas permite ainda uma redução do escoamento pluvial descarregado para a rede pública, e foi nesse âmbito que se desenvolveu o quinto parâmetro dos resultados da ferramenta de avaliação técnica. Esse parâmetro fornece informação sobre a redução mínima do caudal pluvial descarregado para a rede pública assegurada pelo sistema instalado, que no caso do SAAP instalado no Centro Comercial Colombo se estimou em cerca de 28,2% (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 – CCC: Redução do caudal pluvial afluyente à rede pública.

Área de recolha	Capacidade do Tanque	Água pluvial média total	Redução mínima do caudal pluvial afluyente à rede pública
40000 m ²	150 m ³	23096 m ³ /ano	28,2 % ⇒ 6507 m ³ /ano

Esta redução não é benéfica apenas devido à potencial redução da probabilidade e magnitude de cheias durante eventos extremos de precipitação, mas também a nível do tratamento dos afluentes às Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Em Portugal, uma parcela significativa das redes de drenagem é semi-separativa ou unitária, pelo que a retenção de parte da água pluvial traduz-se em menores caudais afluentes às ETAR e menor variabilidade das características dos efluentes.

Em Portugal em geral, e em Lisboa em particular, a fatura da água engloba uma tarifa variável que é expressa em euros e calculada em função do volume de m³ de água faturada. Assim sendo, o interesse em instalar sistemas que reduzam a quantidade de água descarregada para o coletor público (tais como sistemas de reutilização de águas cinzentas) não traz nenhum benefício acrescido além da diretamente resultante da poupança de água. Contudo, no Reino Unido, por exemplo, está previsto que edifícios deste estilo paguem uma taxa quanto à utilização do coletor público, em função da sua área impermeável, área permeável e sistemas instalados (OFWAT 2013). Assim, a instalação de um SAAP contribui para a recolha e utilização de água pluvial, pelo que será escoado um menor volume de água pluvial para o coletor público, o que contribui para uma redução da conta da água e para um maior incentivo na instalação destes sistemas.

4.4 Análise paramétrica

4.4.1 Abordagem

Após o desenvolvimento e validação da ferramenta de avaliação técnica procedeu-se a uma análise paramétrica para avaliar a influência das diferentes variáveis de entrada nos resultados da simulação do desempenho de um SAAP. Para o efeito adotou-se uma abordagem de *ceteris paribus*, procedendo-se à variação do formato da série de precipitação, do posto de precipitação, do consumo de água, da quantidade de água inicialmente rejeitada e da fração do consumo antes da precipitação uma de cada vez mantendo as restantes constantes. Em cada caso procedeu-se à simulação do desempenho de SAAP considerando vários valores de tanques hipotéticos, visto ser a variável que usualmente se pretende determinar no dimensionamento destes sistemas. A situação base, a partir da qual foi feita a análise paramétrica, encontra-se representada na Figura 4.3 e Figura 4.4, sendo caracterizada por:

- formato da série de precipitação: séries de precipitação diária;
- posto de precipitação: estação da Transtejo, no Cais do Sodré;
- distribuição temporal do consumo: média diária mensal;
- quantidade de água inicialmente rejeitada: 1mm;
- fração de precipitação antes do consumo: 0.

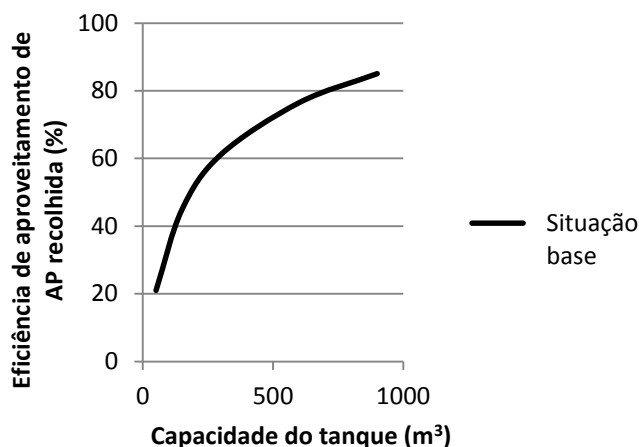


Figura 4.3 – CCC: Eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%).

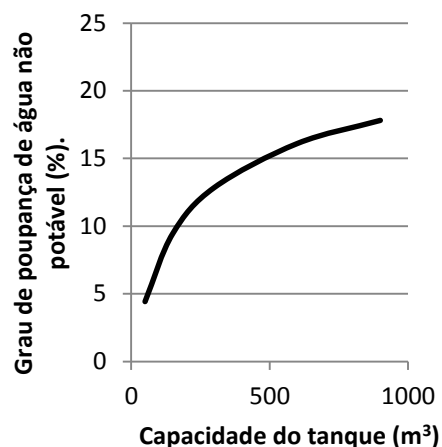


Figura 4.4 – CCC: Grau de poupança de água não potável (%).

4.4.2 Formato da série de precipitação

Para avaliar a influência do formato da série de precipitação utilizaram-se os dados de precipitação do posto do Cais do Sodré (Transtejo), comparando a série real relativa aos anos 2012, 2013 e 2014 e uma série média (365 valores) em que o valor da precipitação diária corresponde à média dos valores desse dia nos vários anos que compõem o registo da série real.

Apesar da precipitação anual média de ambos formatos da série de precipitação ser idêntica, é expectável que a consideração de médias das precipitações diárias de precipitação reduza significativamente o número de dias sem chuva do sistema, homogeneizando de certa forma a distribuição da precipitação ao longo do ano. No Quadro 4.5 encontram-se alguns indicadores hidrológicos relativos aos dois formatos de séries analisados.

Quadro 4.5 – Indicadores hidrológicos quanto ao tipo de dados de precipitação considerados.

Precipitação	Número de anos	P _{média} anual (mm)	Número médio anual de dias com P=0mm	Número médio anual de dias com P≤1mm
Diária	3	577,4	251	290
Média diária	1	577,5	126	233
			Δ=125	Δ=57

Tal como esperado, o número de dias sem chuva (P=0mm) diminui bastante quando se consideram dados de precipitação média diária. Também o número de dias em que a precipitação é maior que 1 mm (correspondente ao FF) diminui, pelo que existem mais dias em que a água é armazenada.

Face às diferenças dos dois formatos de séries de precipitação, a consideração de médias das precipitações diárias de precipitação aumenta a disponibilidade temporal de água pluvial. Consequentemente, é expectável que inflacione a estimativa de eficiência de aproveitamento de água pluvial porque aumenta a probabilidade de haver alguma água pluvial disponível para ser utilizada e reduz a quantidade perdida nos eventos pluviométricos mais intensos. Pode-se ainda esperar que, em termos percentuais, essas diferenças se atenuem à medida que a capacidade dos reservatórios aumenta, visto que um reservatório maior permite

transferir mais água no tempo. Os resultados das simulações para ambos os formatos das séries de precipitação apresentam-se na Figura 4.5 e na Figura 4.6.

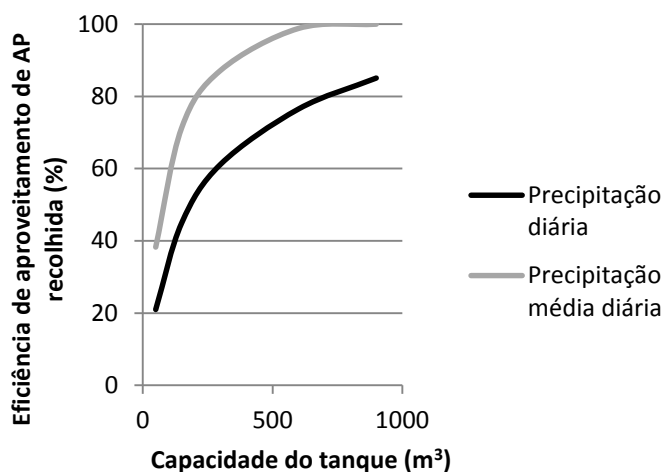


Figura 4.5 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função dos dados de precipitação (diários ou médios diários).

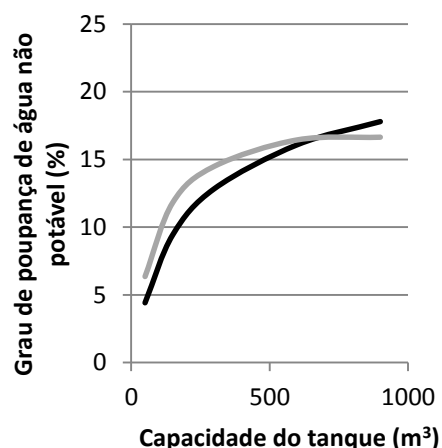


Figura 4.6 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função dos dados de precipitação.

Da análise da Figura 4.5 confirma-se que a consideração da série de médias das precipitações diárias conduz a valores de eficiência de aproveitamento bastante superiores à consideração da série de precipitação diária real de vários anos. Na Figura 4.6 é possível observar um cruzamento entre os dois resultados para reservatórios de grandes dimensões, que tendem a diminuir o efeito da distribuição temporal da precipitação. Procedeu-se a uma análise mais detalhada da precipitação dos dois formatos considerados (Figura 4.7).

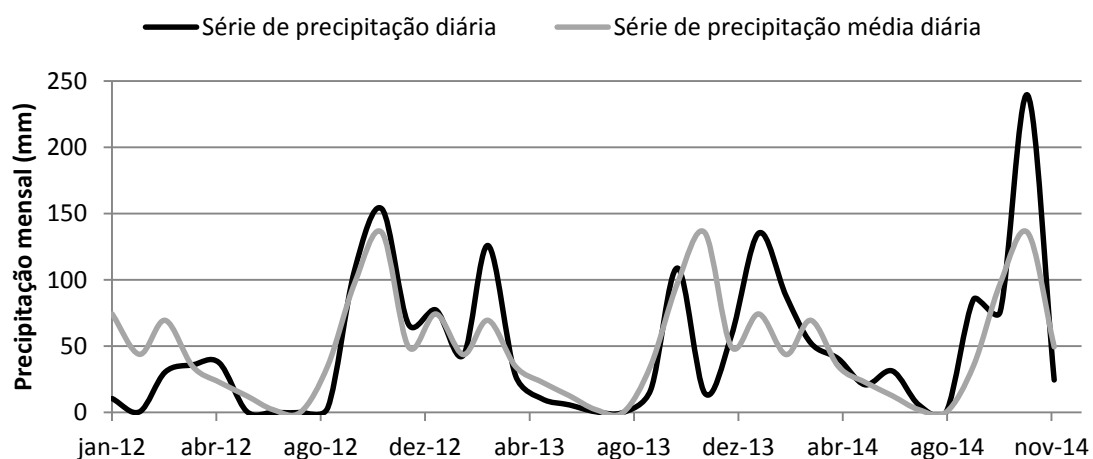


Figura 4.7 – Precipitação mensal utilizando diferentes séries de precipitação.

Verifica-se que os desvios não são significativos na generalidade, exceto na altura de Setembro/Octubro de 2014, onde é fácil verificar um pico na precipitação, de acordo com os dados diários. Assim sendo, e por esse pico se concentrar numa altura muito específica, apenas um grande tanque teria capacidade de maximizar a quantidade de água recolhida e, consequentemente utilizada. Assim se explica que o cruzamento das linhas do

grau de poupança não potável $\left(\frac{AP\ utilizada}{CNP}\right)$ se dê quando o volume do reservatório é muito grande (aproximadamente 700m³).

O estudo da consideração de diferentes formatos da série de precipitação no caso de estudo do CCC é especialmente interessante tendo em conta que o estudo prévio encomendado pela Sonae Sierra em 2008 foi realizado recorrendo a séries médias diárias, que provaram fornecer resultados que sobrevalorizam as poupanças associadas. Mais informações relacionadas com este aspeto podem ser consultadas no Anexo A.

4.4.3 Posto de precipitação

Para avaliar a influência do posto de precipitação utilizado identificaram-se duas fontes de informação com séries de precipitação alternativas ao posto do Cais do Sodré (Transtejo), nomeadamente a estação meteorológica localizada em Caneças – código 21B/11UG – do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e o ponto P174 das séries de precipitação reunidas em Belo-Pereira et al. (2011). Este último é um ponto cuja série de precipitação foi estimada por interpolação de dados do SNIRH e do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Na Figura 4.8 apresenta-se a localização dos vários postos (CS – Cais do Sodré; C – Caneças; P174 – P174) e do Centro Comercial Colombo.

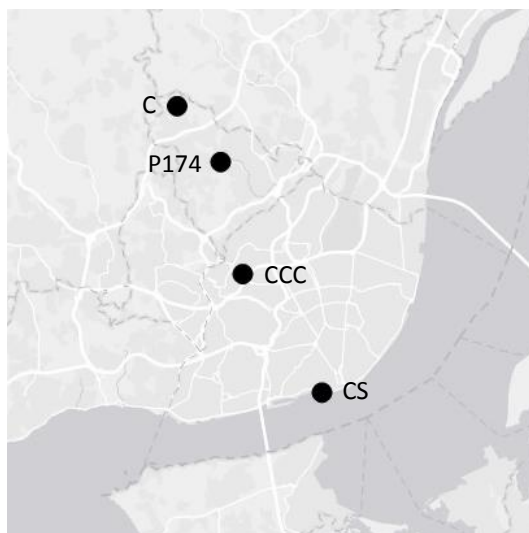


Figura 4.8 – Localização dos postos de precipitação nas proximidades do CCC.

(Adaptada de: SNIG n.d.)

Os dados das séries de precipitação dos diferentes postos de precipitação apresentam-se no Quadro 4.6. Consta-se que, para além das diferenças de posição relativa dos diferentes postos face ao CCC, as séries de precipitação diferem significativamente em termos do número de anos de registos, e inclusivamente em termos do período de tempo a que os registos dizem respeito, uma vez que não existem registos coincidentes.

Comparando os valores de precipitação média anual de cada posto, destaca-se que, se no caso do Cais do Sodré a diferença possa decorrer do curto período de registos disponível e de poderem ser anos anormalmente secos, no caso dos postos de Caneças e do ponto P174 as diferenças resultam de eventuais diferenças na distribuição espacial da precipitação ou de erros inerentes ao processo de interpolação e preenchimento de falhas

subjacentes à determinação da precipitação no ponto P174. Os resultados da simulação realizada pela ferramenta de avaliação técnica apresentam-se na Figura 4.9 e na Figura 4.10.

Quadro 4.6 – CCC: dados relativos aos postos de precipitação abordados na análise paramétrica.

Localização	Coordenadas (lat., long.)	Distância ao CCC (aproximada)	Intervalo de tempo (anos)	Número de anos considerado	P _{média} anual (mm)
Colombo	38.754, -9.188	-	-	-	-
Cais do Sodré	38.705, -9.145	6,6 km	2011-2014	3 anos	577,4
P174	38.800, -9.200	5,2 km	1951-2003	53 anos	805,4 ($\sigma=189,4$)
Caneças	38.823, -9.223	8,3 km	1983-2007	22 anos	969,4 ($\sigma=264,0$)

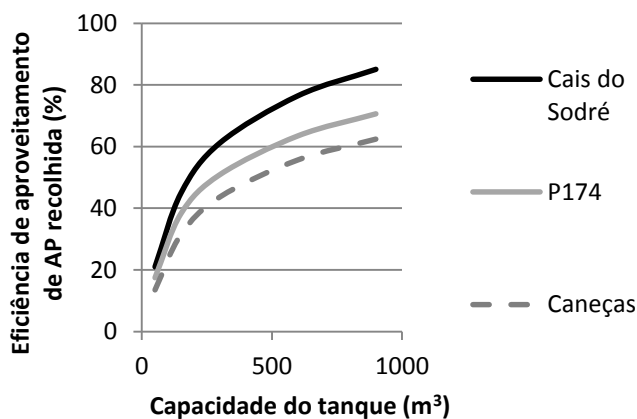


Figura 4.9 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função dos postos de precipitação.

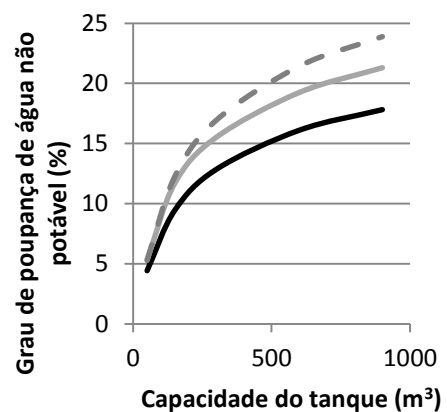


Figura 4.10 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função dos postos de precipitação.

A simulação realizada com dados de precipitação relativos ao Cais do Sodré resulta em eficiências de aproveitamento da AP recolhida superiores aos outros dois postos considerados, mas também apresenta um menor grau de poupança de água não potável. Esses resultados podem ser explicados através da análise da quantidade de água pluvial recolhida e armazenada, representadas na Figura 4.11.

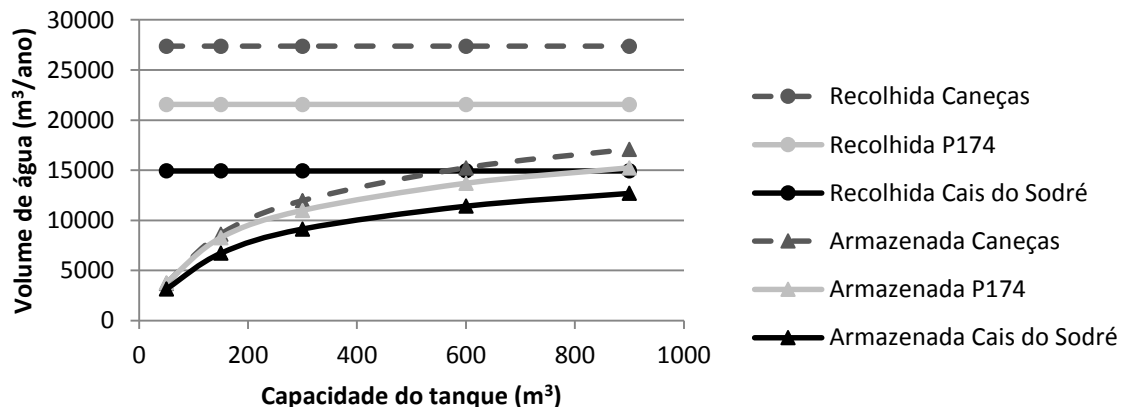


Figura 4.11 – Volume de água armazenada e recolhida em função dos postos de precipitação.

Verifica-se que a diferença entre a AP recolhida e armazenada é superior no caso do posto de Caneças, seguida do posto no ponto P174 e por último do posto do Cais do Sodré. Assim se entende que, apesar de a precipitação e volume de água recolhida serem superiores em Caneças e no P174, a relação entre a água armazenada e a água recolhida é superior no caso da precipitação do Cais do Sodré, pelo que a eficiência é superior para este caso, como evidenciado na Figura 4.9.

O grau de poupança de água não potável corresponde à relação entre a quantidade de água pluvial recolhida e o consumo não potável (CNP) de um edifício, que por sua vez é independente do SAAP instalado. Assim sendo, e tendo em conta que a Figura 4.11 demonstra que a menor quantidade de água recolhida acontece no Cais do Sodré, torna-se expectável que esse seja o local com menor grau de poupança de água não potável, tal como representado na Figura 4.10.

4.4.4 Distribuição temporal do consumo

A simulação foi realizada considerando valores de consumo diários em função do mês do ano, já que se verificou que o maior consumo se verifica precisamente nos meses de menor precipitação. Supôs-se que a consideração de um valor médio anual representaria de pior forma o real funcionamento no sistema, não sendo no entanto consideradas quaisquer variações ao longo da semana.

Utilizou-se a ferramenta de avaliação técnica para observar como a consideração de valores mensais em vez de um valor constante anual influenciaria o funcionamento do sistema. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 4.12 e na Figura 4.13.

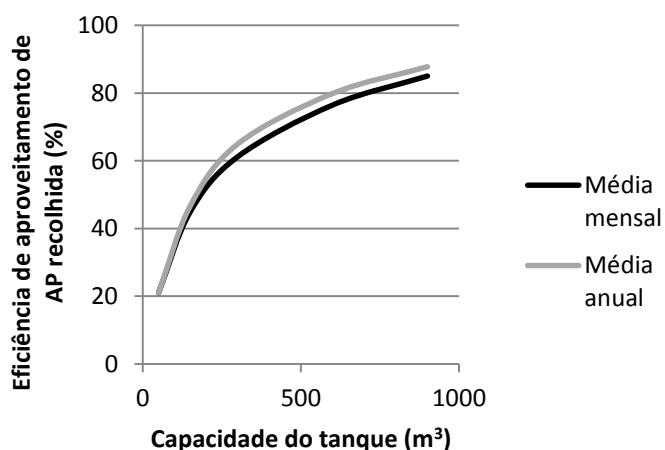


Figura 4.12 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função do consumo considerado.

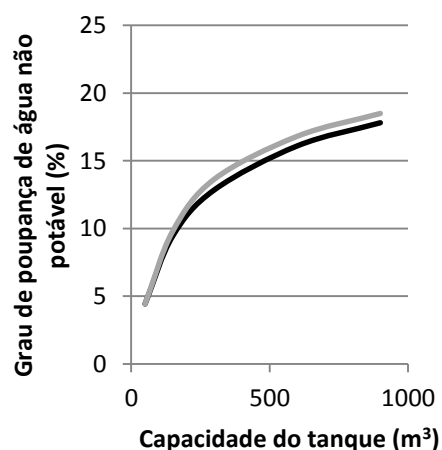


Figura 4.13 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função do consumo considerado.

Através da análise das Figuras acima é possível verificar que a consideração de um valor de consumo diário constante ao longo do ano (média anual) resulta em valores ligeiramente mais conservativos de eficiência de aproveitamento e de grau de poupança do que a consideração de um consumo diário variável em função do mês do ano (média mensal).

No entanto, o desvio não é significativo porque o consumo não potável que se pretende satisfazer neste centro comercial corresponde a cerca de 70000 m³/ano, sendo muito superior ao abastecimento de água pluvial,

que representa cerca de 9,4% desse consumo. Seria então especialmente relevante efetuar esta análise para o caso de a quantidade de água pluvial disponível ser superior ao consumo não potável que se pretende fornecer.

4.4.5 Quantidade de água inicialmente rejeitada

Este parâmetro aborda a altura de *first flush* que é considerada na simulação, e que influencia a quantidade de água que é inicialmente rejeitada. Realizou-se uma simulação considerando uma altura de 0,5mm e outra com 2mm, de modo a comparar com a simulação inicial realizada relativamente ao CCC, na qual é considerada uma altura de 1mm. Os resultados encontram-se representados na Figura 4.14 e na Figura 4.15.

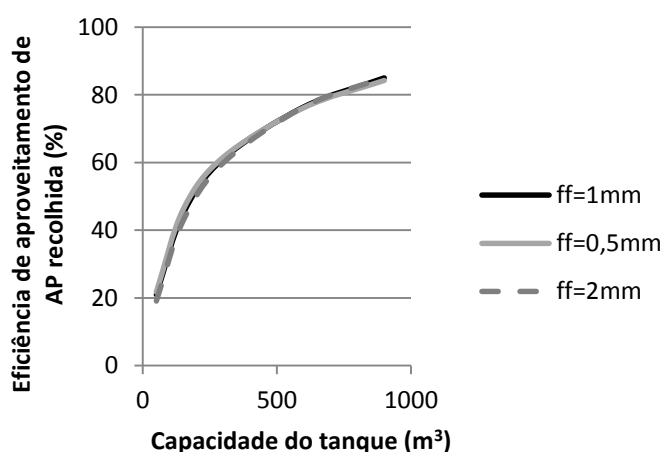


Figura 4.14 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função da altura do *ff*.

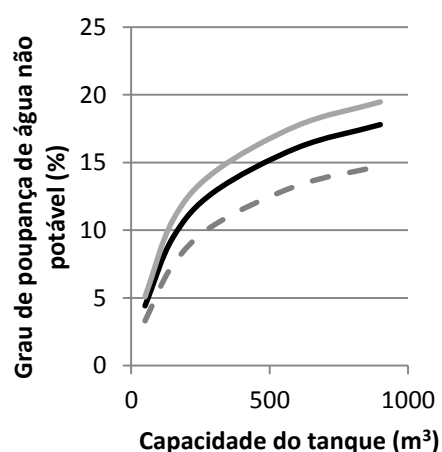


Figura 4.15 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função da altura do *ff*.

Uma vez que a eficiência de aproveitamento depende da AP armazenada e da AP recolhida e ambas dependem da quantidade de água disponível e da altura de FF, era já expectável que os resultados fosse iguais, o que se pode comprovar pela Figura 4.14.

No entanto, a consideração de uma altura de FF superior causa uma diminuição da quantidade de AP armazenada e, conseqüentemente, uma diminuição da AP utilizada. Logo, e uma vez que o CNP é independente do SAAP instalado, esperava-se uma diminuição do grau de poupança de água não potável, tal como se pode observar pela Figura 4.15.

O sistema instalado no Centro Comercial Colombo funciona com base em parâmetros de condutividade da água, como já referido, não tendo um sistema de rejeição de *first flush* volumétrico. No entanto, e devido à proximidade entre os resultados obtidos pela simulação para um *first flush* de 1 mm e os resultados de poupança real, considera-se que o valor admitido permite que seja rejeitada a parcela de água com maior concentração de poluentes, sendo o valor de 1 mm adequado na instalação de sistemas a instalar futuramente.

4.4.6 Fração de precipitação antes do consumo

O parâmetro relativo à fração de precipitação antes do consumo (*f_{pac}*) procura representar a distribuição temporal do consumo ao longo do dia, relativamente à ocorrência de precipitação. Torna-se importante recordar

que a bibliografia consultada sugere que seja considerado um algoritmo YAS, onde $f_{pac}=0$ (Fewkes 2000; Mitchell 2007).

Os resultados obtidos encontram-se na Figura 4.16 e na Figura 4.17.

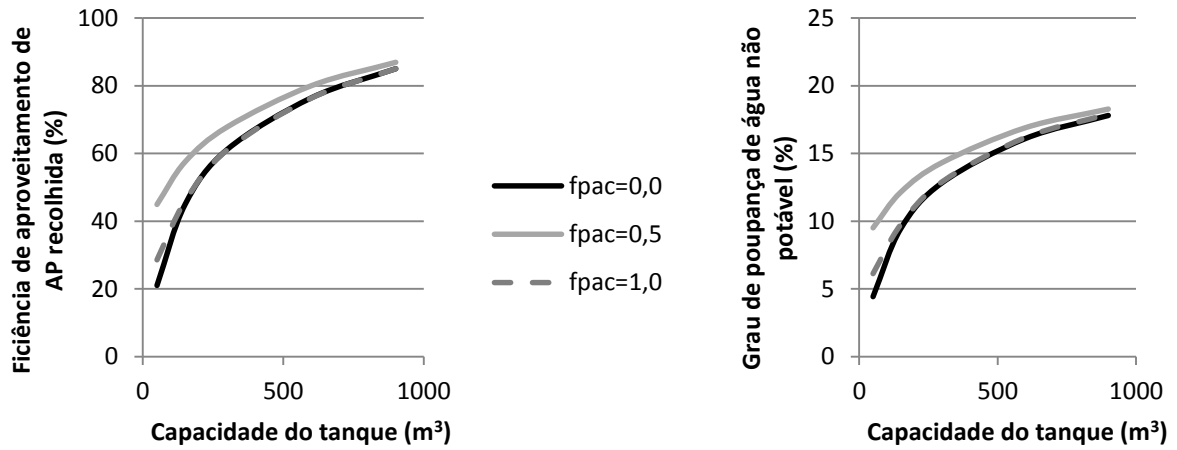


Figura 4.16 – Variação da eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%) em função da fração de precipitação antes do consumo.

Figura 4.17 – Variação do grau de poupança de água não potável (%) em função da fração de precipitação antes do consumo.

É possível concluir que a consideração de uma distribuição temporal alternativa aos algoritmos YAS ($f_{pac}=0$) e YBS ($f_{pac}=1$) conduz a resultados mais realistas, na medida em que geralmente a precipitação não ocorre sempre antes ou depois do consumo e o mais correto é ter lugar de forma distribuída ao longo do dia.

5. CASO DE ESTUDO: ESTAÇÃO VIANA SHOPPING

5.1 Apresentação

O centro comercial Estação Viana Shopping localiza-se em Viana do Castelo, no Norte de Portugal, como representado na Figura 5.1, e é gerido pela Sonae Imobiliária Gestão, S.A.. O empreendimento começou a ser construído a 17 de Abril de 2002 e foi inaugurado a 18 de Novembro de 2003, representando um investimento total de 45,8 milhões de euros e contribuindo para a criação de 900 empregos diretos.

Implantado numa área total do terreno equivalente a 17000m², a sua área bruta de construção ascende a aproximadamente 58000m², com uma área bruta locável de 18500m². Tem dois pisos destinados ao estacionamento de 600 veículos automóveis, e três pisos com um total de 111 lojas destinadas a comércio, retalho e restauração (Sonae Sierra 2003). Atualmente, o centro comercial é totalmente abastecido por água potável proveniente da rede de abastecimento pública.

Na Figura 5.2 é possível observar a planta do Estação Viana Shopping e, a linha preta, os respetivos contornos.



Figura 5.1 – Localização do centro comercial Estação Viana Shopping.

(Adaptada de: Lima 2008)

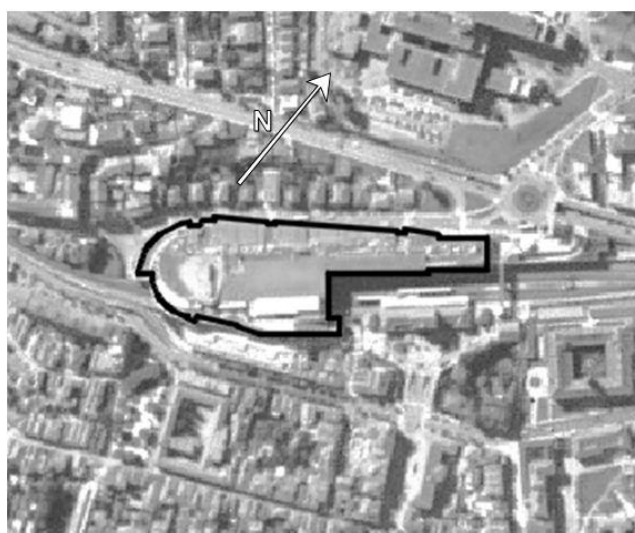


Figura 5.2 – EVS: Contornos exteriores.

(Adaptada de: SNIG n.d.)

5.2 Avaliação técnica

Os dados de consumos de água do centro comercial Estação Viana Shopping (EVS) fornecidos pela entidade Sonae Sierra cobrem o período de Janeiro de 2011 a Julho de 2014, e foram organizados conforme o mês do ano, tendo-se procedido ao cálculo do valor médio de consumo mensal discriminadamente pelas seguintes utilizações:

- instalações sanitárias;

- rega;
- sistema AVAC incluindo as Torres de Arrefecimento;
- outras utilizações (limpezas de pavimentos, limpezas de vidros, entre outros).

Na Figura 5.3 é possível observar a distribuição do consumo anual de 2013 pelas diferentes utilizações finais, sendo que cada uma é caracterizada por uma parcela passível de utilizar água não potável. Constatou-se que 98% do consumo é contabilizado nas I.S. e restantes utilizações, pelo que a parcela que pode recorrer a água não potável nestas utilizações é a mais relevante para a caracterização do padrão de consumo a considerar na avaliação técnica de um potencial SAAP.

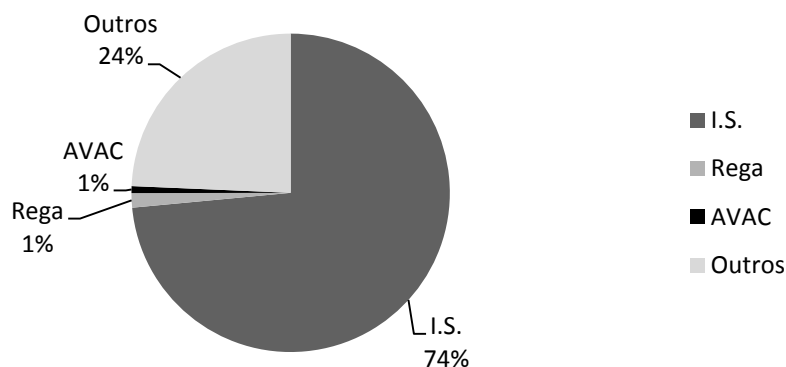


Figura 5.3 – EVS: Distribuição do consumo de água em 2013 por utilizações.

Dada a inexistência de informação relativamente à parcela do consumo nas I.S. e nas Outras utilizações passível de utilizar água não potável foram tidos em consideração os resultados do estudo de Teixeira (2015), que estimou que dos aparelhos instalados nas I.S. do Centro Comercial Colombo os autoclismos contabilizam 90% do consumo (consumo não potável) e os restantes 10% são consumidos nas torneiras. Visto tratar-se de uma extrapolação que pode ter uma influência significativa na avaliação técnica do SAAP, optou-se considerar os três cenários para a parcela do consumo nas I.S. e nas Outras utilizações passível de utilizar água não potável indicados no Quadro 5.1. No que diz respeito ao sistema AVAC e na rega o consumo é totalmente passível de utilizar água não potável.

Na Figura 5.4 é possível observar a distribuição do consumo ao longo do ano, para cada cenário estudado. O Cenário 3 transpõe a distribuição de consumo do Centro Comercial Colombo, correspondendo os cenários 1 e 2 a situações em que há menores consumos passíveis de satisfazer com água não potável e, como tal, menos favoráveis à instalação de um SAAP. Para uma correta avaliação técnica de um potencial SAAP seria fundamental estudar em detalhe o consumo nas instalações sanitárias (I.S.) e nas restantes utilizações (Outros) que é passível de utilizar água não potável.

Quadro 5.1 – EVS: Percentagem de água não potável em cada cenário considerado.

Utilização	Percentagem não potável		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
I.S.	50 %	70 %	90 %
Outros			
Rega	100 %	100 %	100 %
AVAC			

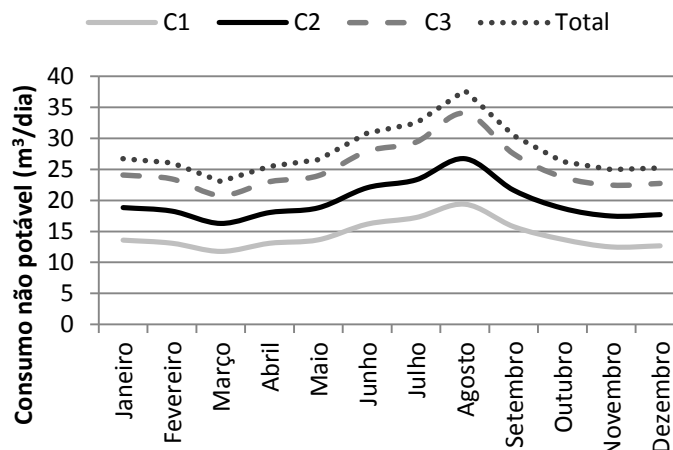


Figura 5.4 – EVS: Consumo total não potável, por cenário considerado.

A determinação das potenciais áreas de recolha de água pluvial foi efetuada pela análise das plantas de arquitetura disponibilizadas pela Sonae Sierra, tendo-se identificado as áreas relevantes representadas e brevemente descritas no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – EVS: Áreas de recolha aproveitáveis mais relevantes.

A1: 4280 m ²	A2: 9920 m ²	A3: 13470 m ²
Apenas a maior área individual de cobertura, ao nível do piso 2.	Área A1 + restante área à mesma cota, sem considerar a zona destinada a equipamentos.	Área A2 + zona do terraço ao nível do piso 1, sem considerar a área de sombreamento metálico.

Desaconselha-se, no entanto, que a implementação do SAAP seja realizada ao nível da área A3, já que a zona do terraço ao nível do piso 1 é acessível e, portanto, é expectável que a recolha de água pluvial não ocorra segundo os mesmos padrões. Em particular, sendo uma zona acessível é possível que o grau de contaminação da água pluvial possa ser superior.

Os valores dos restantes parâmetros inseridos na ferramenta de avaliação técnica estão em conformidade com o capítulo 4. De referir que se adotou para *first flush* uma altura de 1 mm e considerou o YAS (fpac=0) em consonância com as conclusões do subcapítulo 4.4.5. As simulações foram realizadas considerando volumes de armazenamento entre 15 m³ e 900 m³ de modo a observar a influência no desempenho do SAAP.

Para determinar a série de precipitação procedeu-se ao levantamento das estações do SNIRH mais próximas do centro comercial em questão, bem como dos postos de precipitação de Belo-Pereira et al. (2011) que tivessem séries de precipitação diária de extensão suficiente para serem utilizadas – pelo menos 10 anos,

como sugerido em Mitchell et al. (2008) e em ANQIP (2015). Do SNIRH selecionaram-se as estações de Aspra e de Nogueira, assinaladas como A e N na Figura 5.5, e de Belo-Pereira et al. (2011) selecionaram-se os postos P7 e P19, também assinalados na mesma Figura.

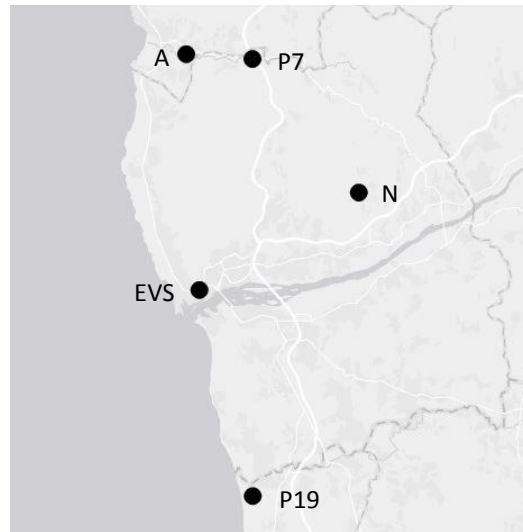


Figura 5.5 – EVS: Localização dos postos de precipitação próximos do centro comercial.

(Adaptada de: SNIG n.d.)

Na Figura 5.6 apresentam-se as séries de precipitação diária dos postos identificados. Constatam-se diferenças não desprezáveis, sendo até muito significativas no caso de Nogueira. Uma possível explicação para a diferença destacada do posto de Nogueira pode residir no facto de ser o posto mais distante do litoral e, sendo o norte de Portugal uma região montanhosa, haver um regime hidrológico marcadamente distinto.

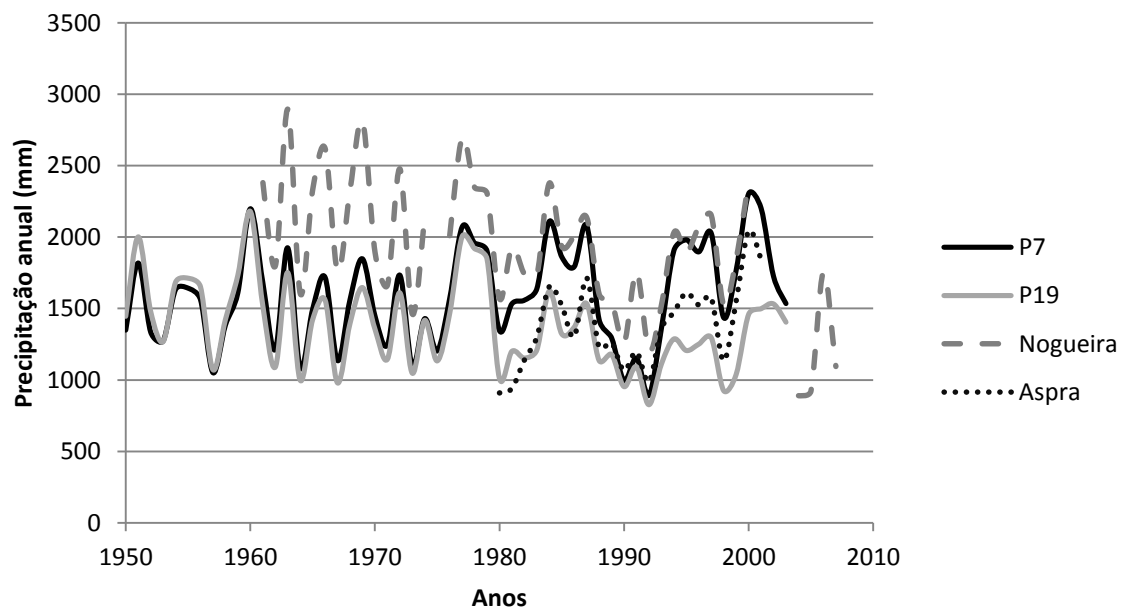


Figura 5.6 – EVS: Precipitação anual em quatro postos de precipitação próximos do centro comercial.

Como as séries de precipitação dos postos P7 e P19 são as mais extensas e resultam da compilação de dados de precipitação de diversas estações locais do SNIRH e do IPMA e do preenchimento de eventuais falhas, considerou-se que permitem caracterizar o regime hidrológico no centro comercial Estação Viana Shopping de forma mais fiel. No Quadro 5.3 é possível consultar alguns dados relativos aos postos.

Quadro 5.3 – EVS: Dados relativos aos postos de precipitação considerados na simulação.

Localização	Coordenadas (lat., long.)	Distância ao EVS (aproximada)	Intervalo de tempo (anos)	Número de anos considerado
E. Viana Shopping	41.695, -8.833	-	-	-
P7	41.800, -8.800	12,0 km	1951-2003	53 anos
P19	41.600, -8.800	10,9 km	1951-2003	53 anos

Uma vez que os postos considerados se encontram a uma distância muito semelhante do centro comercial Estação Viana Shopping, optou-se por simular o funcionamento do SAAP considerando as séries de precipitação de cada um dos postos separadamente em vez de considerar uma série de precipitação média entre os dois postos em consonância com o concluído no subcapítulo 4.4.2 da presente dissertação. Nas Figura 5.7 a Figura 5.10 apresentam-se as médias dos resultados obtidos nas simulações com cada uma das séries de precipitação.

Apesar de a análise da eficiência de aproveitamento da AP recolhida (Figura 5.7) não se revelar especialmente conclusiva na medida em que o gráfico não possui uma estabilização bem marcada, é possível verificar que o gráfico do grau de poupança de água não potável (Figura 5.9) tende a estabilizar a partir dos SAAP com tanques de 200 m³.

De notar que, independentemente do cenário de consumo considerado (C1, C2, C3) e da área de recolha (A1, A2), estima-se que a implementação de um tanque de 200 m³ levaria a um grau de poupança de água não potável superior a um terço do consumo não potável do centro comercial.

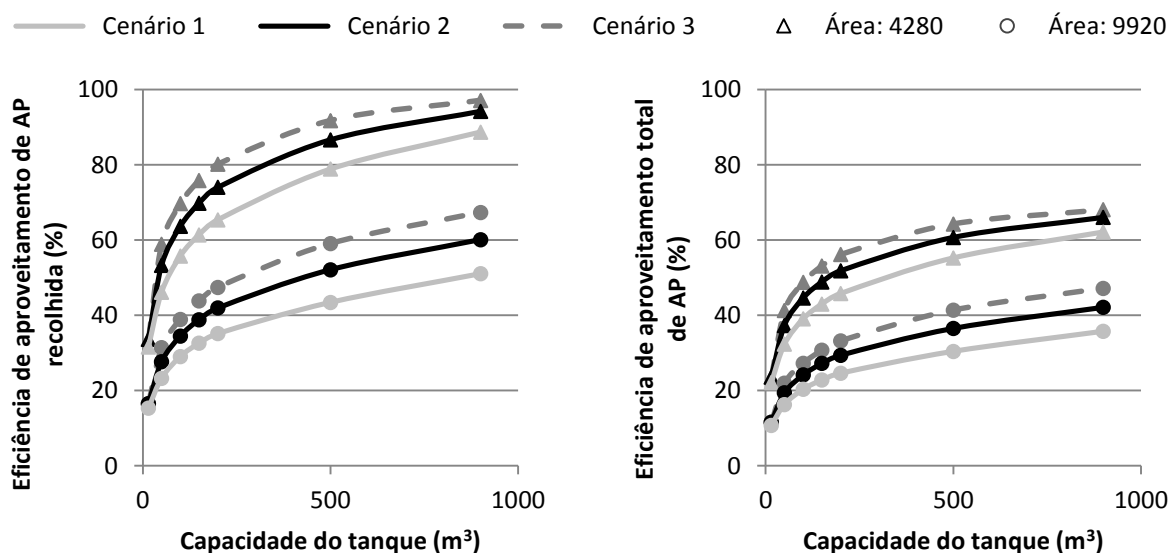


Figura 5.7 – EVS: Eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%).

Figura 5.8 – EVS: Eficiência de aproveitamento total de AP (%).

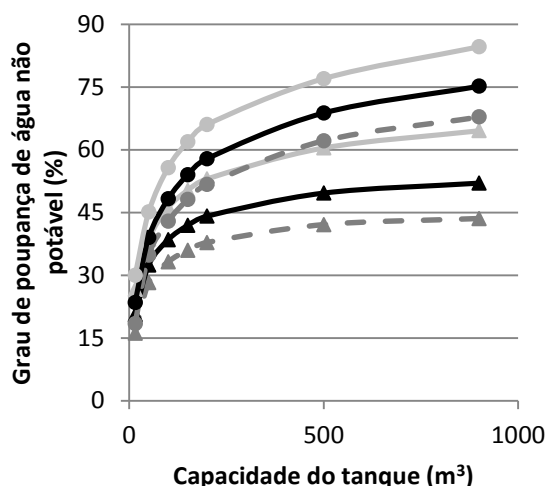


Figura 5.9 – EVS: Grau de poupança de água não potável (%).

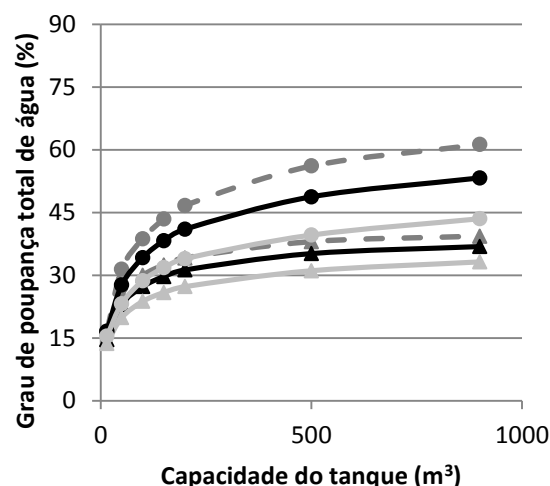


Figura 5.10 – EVS: Grau de poupança total de água (%).

Tanques maiores possibilitariam poupanças superiores, pelo que do ponto de vista da análise técnica seria recomendável a instalação de tanques de maior volume. No entanto, e tendo principalmente em conta as tarifas de água praticadas em Portugal, não se espera que os benefícios económicos sejam suficientes para que se opte pelo maior volume, pelo que a consideração de uma análise técnico-económica se torna muito relevante na tomada de decisão.

5.3 Viabilidade financeira

A implementação de um SAAP será tanto mais viável do ponto de vista financeiro quanto maior for o diferencial entre a poupança anual dos encargos com aquisição água da rede pública e os encargos com a instalação e operação do SAAP.

Não sabendo exatamente qual a percentagem de água que é destinada a utilizações de consumo não potável no centro comercial Estação Viana Shopping, optou-se por realizar a análise para os dois cenários que se consideraram mais prováveis no seguimento dos contactos com a Sonae Sierra, nomeadamente o C2 e C3. Das três áreas de recolha previamente identificadas, considerou-se que a instalação seria inadequada ao nível da área A3 pelos motivos apresentados no subcapítulo 5.2, pelo que se realizou o estudo das outras duas áreas, A1 e A2. Quanto às capacidades dos tanques selecionaram-se os volumes de 200, 300 e 400 m³, resultando assim um total de 12 alternativas diferentes em função da área, cenário de consumo e volume do tanque. Através do traçado das redes de abastecimento de água (presentes no Anexo B) e das redes de drenagem (apresentadas no Anexo C) do EVS, da consideração das tarifas atuais de água (Anexo D) e dos resultados das simulações realizadas, foi possível realizar o estudo das despesas e das poupanças associadas a cada alternativa estudada (apresentados no Anexo E). A remodelação da rede predial inclui:

- escolha da localização do reservatório;
- ligação entre as caleiras e o reservatório de água pluvial através de tubos de queda e tubagens horizontais;

- instalação da bomba e de todos os acessórios necessários;
- ligação entre o reservatório e as redes que abastecem o sistema de AVAC, o sistema de rega e os autoclismos das instalações sanitárias.

Assumi-se que já estão instaladas todas as caleiras que possibilitam a recolha das águas pluviais e encaminhamento das mesmas para os tubos de queda, que já têm um ralo de pinha instalado, como é recomendado neste tipo de instalações.

Sugere-se que o reservatório seja instalado perto da bateria de contadores no piso -2, de modo a facilitar o abastecimento das utilizações não potáveis quando não existir água pluvial suficiente no reservatório. Deve ser instalado um sistema que permita a entrada direta da água da rede pública nas redes prediais sempre que se verifique essa condição, evitando a bombagem de água que já tem pressão suficiente para ser distribuída pela rede.

Optou-se por manter parte da rede de abastecimento de água da rede pública até às instalações sanitárias, fazendo-se assim o abastecimento de água dos lavatórios. Deverá ser construída uma rede de abastecimento de água dos autoclismos, que deve seguir o mesmo traçado da rede anterior, assinalada no Anexo B, de modo a aproveitar as *courettes* já definidas na arquitetura e de modo a poupar trabalhos extras na abertura de alguns roços. O levantamento dos trabalhos a realizar possibilitou a elaboração dos orçamentos apresentados no Anexo F, enquanto no Anexo G é possível consultar a estimativa dos custos de operação e manutenção do sistema. A consideração de todos os custos envolvidos possibilitou o cálculo do PRI associado a cada possibilidade, apresentado no Anexo H.

No Quadro 5.4 resumem-se os principais resultados da avaliação financeira das alternativas simuladas. Os custos de investimento destacam-se claramente como o fator mais importante para a viabilidade financeira do SAAP, pelo que qualquer poupança neste item permite diminuir significativamente o PRI.

Os custos de operação do sistema correspondem apenas à bombagem da água pluvial utilizada, admitindo a possibilidade de recorrer a sistemas que permitem o abastecimento da rede não potável diretamente da rede pública (e.g., <http://www.davey.com.au/products/pumps-rain-water-harvesting.html>). Como anteriormente referido, apesar de esses sistemas apresentarem algum risco de contaminação, impedem que a água da rede pública passe pelo reservatório, aproveitando a pressão com que ela é fornecida pela rede de abastecimento.

Quadro 5.4 – EVS: Quadro resumo.

Situação		Tanque (m ³)	AP utilizada (m ³ /ano)	Período de retorno do investimento
Área A1: 4280m ²	Cenário C2: 70%np	200	3194,8	42 anos , 10 meses
		300	3400,1	43 anos , 6 meses
		400	3519,9	46 anos , 7 meses
	Cenário C3: 90%np	200	3584,6	31 anos , 9 meses
		300	3696,5	35 anos , 4 meses
		400	3814,4	38 anos , 3 meses
Área A2: 9920m ²	Cenário C2: 70%np	200	4190,7	24 anos , 8 meses
		300	4568,9	25 anos , 0 meses
		400	4810,1	26 anos , 7 meses
	Cenário C3: 90%np	200	4772,4	19 anos , 0 meses
		300	5225,1	19 anos , 4 meses
		400	5526,2	20 anos , 6 meses

5.4 Análise de resultados

O estudo da viabilidade financeira possibilitou constatar que em termos percentuais a variação entre custos estimados de implementação, que oscila entre aproximadamente 170 e 240 mil euros, é inferior à variação da poupança anual dos encargos com a aquisição de água da rede pública, estimada entre aproximadamente os 7 e os 14 mil euros. Observou-se que, face à poupança estimada, os períodos de retorno do investimento são tanto menores quanto maiores os tanques instalados, e que a mobilização da área A2 é mais vantajosa do que a área A1 tanto a nível técnico como a nível económico, pelo que se recomenda que o SAAP seja instalado para a maior área. A análise dos resultados obtidos leva a crer que o tanque de 200m³ seja o mais adequado para o SAAP a instalar no centro comercial Estação Viana Shopping.

A viabilidade financeira do investimento depende diretamente das tarifas de água que são aplicáveis ao caso de estudo. Em Portugal a água é considerada um recurso (demasiado) barato, e no contexto global tem-se tornado um bem cada vez mais escasso. Assim sendo, considerou-se relevante realizar uma análise de sensibilidade quanto à variação do PRI estimado em função do aumento das tarifas atualmente aplicadas.

Foi selecionado um SAAP hipotético que se pode vir a implementar no centro comercial Estação Viana Shopping, assumindo-se que o padrão de consumo real é semelhante ao cenário C2, é utilizada uma área de recolha equivalente a A2, e é instalado um tanque de 200m³. A análise foi também realizada para o mesmo cenário, mas considerando a área de recolha A1. Seguiu-se uma abordagem semelhante à que foi adotada no Anexo E, tendo-se obtido os resultados apresentados no Anexo I, que se encontram graficamente sumarizados pela Figura 5.11.

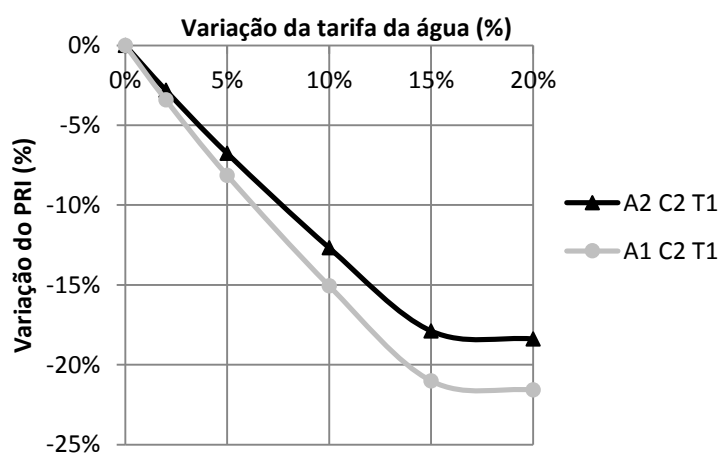


Figura 5.11 – EVS: Análise de sensibilidade ao PRI em função do aumento das tarifas.

É possível observar que, até uma variação das tarifas da ordem dos 15%, a variação do período de retorno do investimento evolui de uma forma linear bastante marcada. Para aumentos superiores deixa de existir impacto na variação do período de retorno, o que se traduz num potencial de redução que vai até cerca de 18 e de 23% (ou seja, cerca de menos 4 ou 9 anos) para a área A2 e A1, respetivamente.

A implementação de um SAAP é, para este caso de estudo, extremamente benéfico a nível ambiental, além de registar períodos de retorno aceitáveis (até 25 anos) para a situação sugerida (A2, C2, T1=200m³).

6. CASO DE ESTUDO: BOAVISTA SHOPPING

6.1 Apresentação

O centro comercial Boavista Shopping resulta da parceria entre a Sonae Imobiliária e a empresa brasileira Enplanta Engenharia e está localizado no bairro de Santo Amaro, estado de São Paulo, Brasil, como representado na Figura 6.1. O empreendimento abriu as portas ao público a 27 de Abril de 2004 e representa um investimento total de 70 milhões de reais (aproximadamente 20,2 milhões de euros), tendo contribuído para a criação de cerca de 1800 empregos.

Com uma área de construção de quase 58000m² (à semelhança do Estação Viana Shopping), e uma área bruta locável de 23800m², o centro comercial foi idealizado com 1060 lugares de estacionamento e 167 lojas, sendo que 23 se destinam a restauração. Apesar de algumas implementações no sentido da perseveração do meio ambiente, dos quais se destaca o sistema de iluminação e a recolha seletiva de lixo (Sonae Sierra 2004), este centro comercial também é totalmente abastecido por água da rede pública.

Na Figura 6.2 é possível observar a planta do Boavista Shopping e, a linha preta, os respetivos contornos.



Figura 6.1 – Localização do centro comercial Boavista Shopping.

(Adaptada de: Openclipart 2006)



Figura 6.2 – BS: Contornos exteriores.

(Adaptada de: ArcGIS 2015a)

6.2 Avaliação técnica

A entidade Sonae Sierra forneceu os dados de consumo do Boavista Shopping (BS) numa base mensal relativos ao ano de 2014, distribuídos por seis categorias de utilização ligeiramente diferentes do centro comercial Estação Viana Shopping. A Figura 6.3 representa o consumo de água, em 2014, em função dessas categorias.

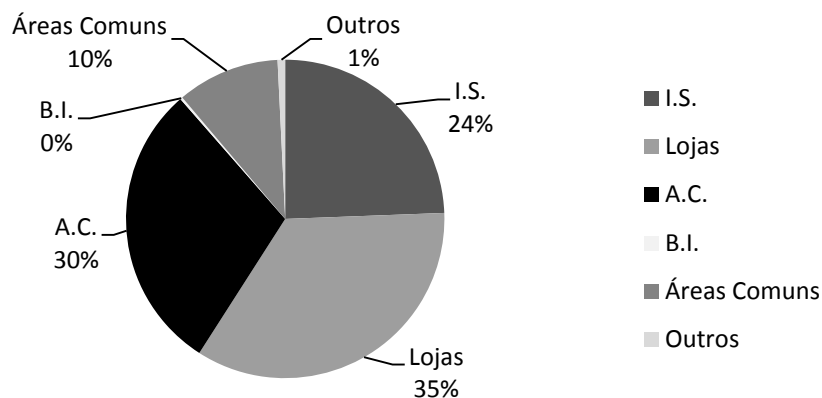


Figura 6.3 – BS: Distribuição do consumo de água em 2014 por utilizações.

Sobre a utilização concreta da água consumida em cada categoria, sabe-se o seguinte:

- instalações sanitárias (I.S.): de acordo com informações relativas ao período de Dezembro a Abril, aproximadamente 85% da água foi consumida nos autoclismos e os restantes 15% foram consumidos nas torneiras;
- lojas: água utilizada em utilidades e instalações sanitárias das lojas âncora (num total de 4), e na preparação de alimentos e limpeza das lojas de restauração. O consumo nas restantes lojas é desprezável (por exemplo, em lojas de ótica);
- sistema de ar condicionado (A.C.);
- bomba de incêndio (B.I.);
- áreas comuns: instalações sanitárias destinadas a prestadores de serviços e restantes trabalhadores (incluindo torneiras, chuveiros e autoclismos), limpeza de áreas técnicas, rega de plantas e tanques de lavagem;
- outras utilizações: água utilizada no sistema de refrigeração e no sistema de incêndio.

Tendo estes aspetos em conta foi assumida uma percentagem não potável associada a cada uma das seis utilizações, de acordo com o especificado no Quadro 6.1, enquanto na Figura 6.4 é possível observar o consumo não potável no ano de 2014. No total, foram consumidos cerca de 22500m³ de água da rede pública em utilizações não potáveis.

Quadro 6.1 – BS: Percentagem não potável assumida, em cada categoria considerada.

Utilização	Percentagem não potável
I.S.	85 %
Lojas	20 %
A.C.	100 %
B.I.	100 %
Áreas comuns	50 %
Outras	100 %

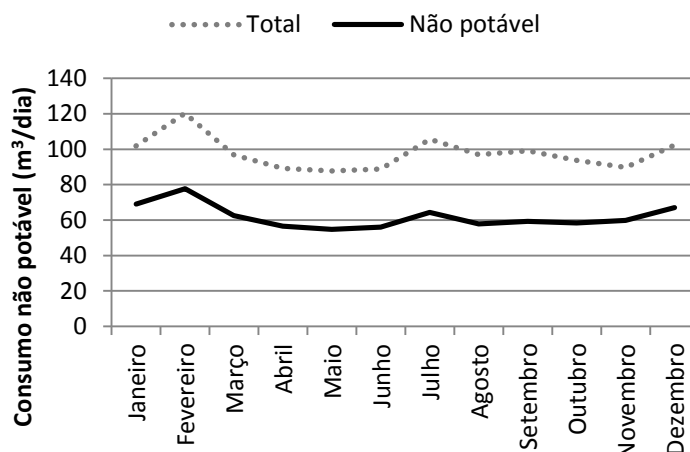


Figura 6.4 – BS: Consumo total e consumo não potável, em 2014.

De notar que, ao contrário do que acontece nos consumos do centro comercial Colombo e Estação Viana Shopping, ambos localizados em Portugal, não se nota uma grande amplitude nos valores dos consumos ao longo do ano, o que pode ser justificado pelo clima notoriamente mais tropical que se sente em São Paulo, Brasil.

A aplicação das percentagens não potáveis acima consideradas conduz a uma nova distribuição dos consumos, representados na Figura 6.5.

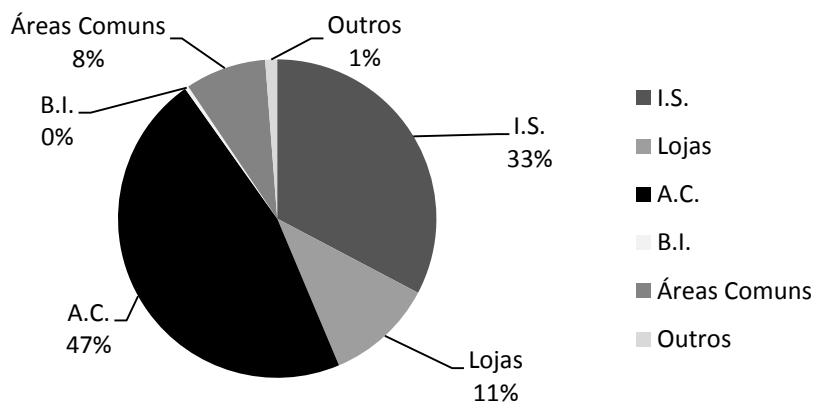
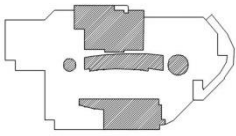
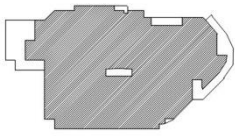


Figura 6.5 – BS: Distribuição do consumo não potável de água em 2014, por utilizações.

Através da análise da Figura é possível concluir que o sistema de ar condicionado representa praticamente metade do consumo não potável do Boavista Shopping, seguido das Instalações Sanitárias. Assim, recomenda-se que o sistema de aproveitamento de água pluvial dê prioridade a estas utilizações nos dias em que a quantidade de AP disponível seja insuficiente para abastecer a totalidade do consumo no centro.

À semelhança do que foi feito na avaliação do EVS, procedeu-se a uma consulta cuidada das plantas de arquitetura disponibilizadas e de imagens de satélite, que permitiram a identificação das áreas representadas no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 – BS: Áreas de recolha aproveitáveis mais relevantes.

B1: 4190 m ²	B2: 12240 m ²
	
<p>Áreas de cobertura ao nível do piso mais alto, sem considerar zonas destinadas a equipamentos.</p>	<p>Área B1 + área de estacionamento, sem consideração da rampa lateral e de zonas destinadas a equipamentos.</p>

Na análise realizada concluiu-se que parte da cobertura é utilizada para estacionamento de veículos, o que deverá contribuir para que o piso se encontre mais sujo do que numa área não acessível (neste caso, referida como área B1). Como essa área contém certos poluentes, tais como óleo dos carros, que devem ser retirados antes do armazenamento da água pluvial, considera-se que seja adequado que se construa uma câmara de separação de hidrocarbonetos a montante do reservatório. A simulação foi realizada para vários volumes de reservatórios, tal como anteriormente, e mantiveram-se os restantes parâmetros inseridos.

Utilizaram-se séries de precipitação cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referentes à estação meteorológica automática de São Paulo/SP – Mirante de Santana, pertencente ao próprio INMET, e séries cedidas pelo Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG) referentes ao próprio Instituto. Os dados cedidos foram posteriormente tratados de modo a serem corretamente inseridos na simulação. O IAG e a estação meteorológica automática de São Paulo (ESP) encontram-se representados na Figura 6.6, enquanto as suas características relevantes se encontram no Quadro 6.3.

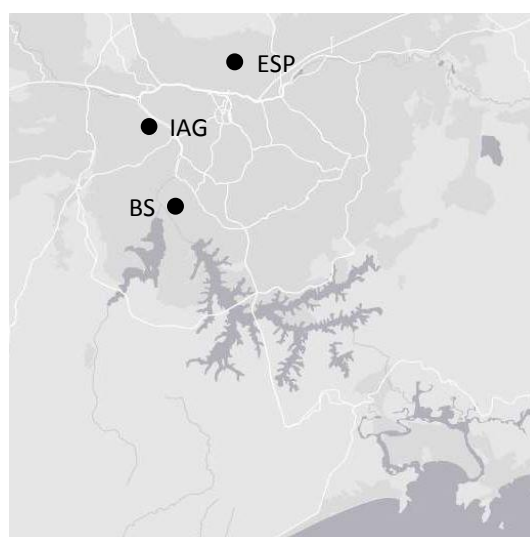


Figura 6.6 – BS: Localização dos postos de precipitação próximos do centro comercial.

(Adaptada de: ArcGIS 2015b)

Quadro 6.3 – BS: Dados relativos aos postos de precipitação considerados na simulação.

Localização	Coordenadas (lat., long.)	Distância ao EVS (aproximada)	Intervalo de tempo (anos)	Número de anos considerado
Boavista Shopping	-23.655, -46.701	-	-	-
ESP	-23.496, -46.620	19,5 km	2007-2014	8
IAG	-23.560, -46.734	11,1 km	1950-2014	65

Realizaram-se simulações para os dois postos de precipitação, tendo-se considerado adequado que os resultados fossem apresentados de acordo com uma ponderação de 2/3 quanto ao IAG e de 1/3 para a ESP do INMET, de forma a valorizar o facto do IAG se encontrar mais próximo do BS. Os resultados da ponderação espacial são apresentados graficamente nas Figura 6.7 a Figura 6.10.

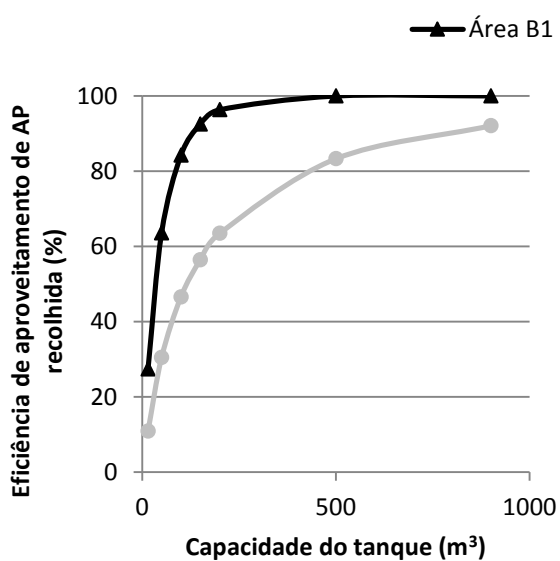


Figura 6.7 – BS: Eficiência de aproveitamento de AP recolhida (%).

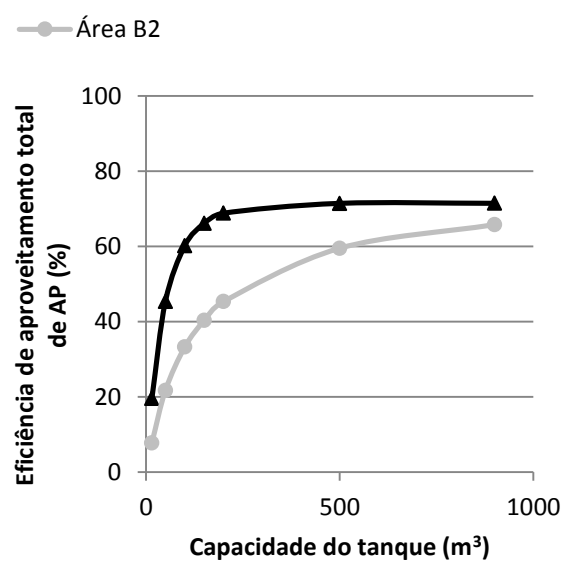


Figura 6.8 – BS: Eficiência de aproveitamento total de AP (%).

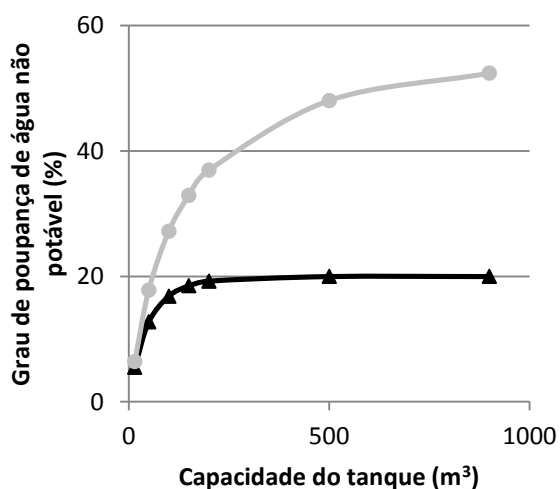


Figura 6.9 – BS: Grau de poupança de água não potável (%).

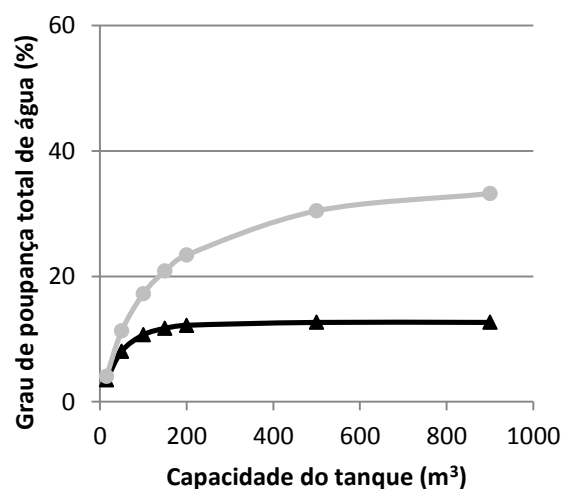


Figura 6.10 – BS: Grau de poupança total de água (%).

É possível concluir que a implementação de um SAAP na área B1 (4190m²) é bem complementada com a instalação de um tanque até 200m³, não revelando diferenças muito significativas entre os 100, 150 e 200m³ em nenhum dos gráficos apresentados, pelo que estes são os três tamanhos que se consideram mais interessantes.

Quanto à área B2 (12240m²), significativamente maior do que a área B1, é possível observar que os gráficos tendem a estabilizar para volumes superiores, considerando-se que seria mais adequado instalar um reservatório com 200, 300 ou 400m³.

6.3 Viabilidade financeira

A análise da viabilidade financeira associada à instalação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais foi feita de acordo com uma série de considerações.

Primeiramente foi necessário identificar que seria interessante estudar a implementação do sistema em duas áreas, B1 e B2, para tamanhos distintos de tanques: 100, 150 e 200 m³ para a área B1, e 200, 300 e 400m³ para a área B2, o que resulta num total de 6 situações analisadas.

A análise dos custos de implementação do EVS permitiu assumir que a variação de custos de implementação dependentes da área (ou seja, excluindo as componentes do reservatório) não é muito significativa, pelo que se assumiu que essa parcela de custos relativos ao BS seria considerada como independente da área de implementação selecionada.

Consultaram-se depois as plantas disponibilizadas pela Sonae Sierra, apresentadas no Anexo J, a partir das quais foi possível estimar os comprimentos de tubagens necessárias. Uma vez que as plantas não dispunham do traçados das redes prediais, foi necessário arbitrar o ponto de entrada de abastecimento de água na rede, a possível localização do reservatório e o traçado tanto da rede de abastecimento de água como da rede de drenagem de águas residuais. Os comprimentos estimados resultam da soma das distâncias verticais (medidas através das cotas das plantas) com o dobro das distâncias representadas nas plantas, de modo a suprimir quaisquer condicionantes de percurso. Admitiu-se que a rede de drenagem a remodelar tem um comprimento que corresponde a cerca de 4% da rede de abastecimento das instalações sanitárias, de acordo com o que foi medido no EVS (ver Anexo F).

Os valores apresentados no Anexo K constituem a estimativa das poupanças associadas a cada hipotético SAAP (à semelhança do que foi realizado para o EVS no Anexo E) com base nos custos de água providenciados pela Sonae Sierra.

No Anexo L é possível consultar os custos de implementação que foram estimados, que resultam da adaptação do mapa de trabalhos-tipo (apresentado no **Error! Reference source not found.**) ao mercado brasileiro, devidamente preenchido de acordo com o Boavista Shopping.

Através do cálculo dos custos totais associados ao EVS (Anexo H) foi possível averiguar que os custos de operação e manutenção do SAAP correspondem, em média, a cerca de 1,56% dos custos de implementação, pelo que se admitiu que no Boavista Shopping corresponderiam a 2%.

Todas essas considerações possibilitaram a sumarização dos custos envolvidos e a determinação do período de retorno do investimento associado a cada opção, que podem ser consultados de forma sumarizada no Quadro 6.4.

Quadro 6.4 – BS: Quadro resumo.

Situação	Tanque (m ³)	AP utilizada (m ³ /ano)	Período de retorno do investimento
Área B1 4190 m ²	100	3802,3	1 anos , 6 meses
	150	4173,1	1 anos , 6 meses
	200	4344,0	1 anos , 8 meses
Área B2 12240 m ²	200	8337,4	0 anos , 10 meses
	300	9563,7	0 anos , 11 meses
	400	10323,0	1 ano , 0 meses

6.4 Análise de resultados

A análise de viabilidade financeira realizada demonstrou que a implementação de um SAAP seria altamente benéfica, possibilitando a reutilização de uma grande quantidade de água pluvial e, portanto, uma grande poupança de água potável que não estaria a ser desperdiçada em utilizações não potáveis.

O investimento em qualquer uma das áreas de recolha consideradas é bastante reduzido face às poupanças anuais estimadas, proporcionando estimativas de períodos de retorno do investimento realmente apelativas.

Salienta-se ainda que nos últimos meses tem-se verificado uma evolução crescente das tarifas de água e saneamento praticadas no Brasil de acordo com a tendência representada no Anexo K, que terá sido motivada pela implementação de nova legislação. A continuação da subida dos preços, que não foi considerada na análise realizada, implica que o benefício económico associado ao sistema de aproveitamento de água pluvial seja superior ao apresentado e que, consequentemente, o período de retorno do investimento seria ainda menor.

7. CONCLUSÕES

Nesta dissertação abordaram-se diversos aspetos que são essenciais para a compreensão do funcionamento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, e esse conhecimento permitiu que fosse selecionado um método de dimensionamento adequado para aplicar em edifícios comerciais, complementado por uma análise de viabilidade técnico-económica do sistema a instalar.

Para além de o problema da escassez de água potável ser uma problemática atual a nível global, o seu tratamento de modo a ser utilizada para consumo humano consome ainda uma quantidade substancial de recursos, nomeadamente energia. Ainda assim, identificou-se que a utilização da água pluvial constitui uma alternativa interessante à complementação ou substituição de fontes de água convencionais, contribuindo também para a redução do caudal afluente à rede pública e conseqüente redução de cheias.

A presente dissertação pretende contribuir para a promoção da eficiência hídrica neste tipo de edifícios, tendo-se selecionado o Método da Simulação como método de dimensionamento do sistema. Este método consiste numa simulação de um hipotético sistema instalado, tendo em conta fatores como a precipitação, a área de recolha, o tanque instalado, o padrão de consumo, o coeficiente de escoamento, a quantidade de água inicialmente rejeitada (*first flush*), a fração de precipitação antes do consumo, entre outros.

A necessidade de comparar várias hipóteses de combinações entre áreas de recolha, tanques instalados e padrões de consumo, de modo a entender quais os sistemas que apresentam maior eficiência, levou a que se desenvolvesse uma ferramenta de avaliação técnica em *software* Matlab. A ferramenta providencia como resultados os parâmetros essenciais para a caracterização da eficiência do sistema, das poupanças associadas e também do potencial de redução do caudal afluente à rede pública, sendo este último especialmente relevante em análises que sejam feitas a nível urbano.

Uma vez que a presente dissertação incidiu sobre casos de estudo concretos da Sonae Sierra, a entidade forneceu dados concretos relativos ao ano de 2012, 2013 e 2014 sobre o funcionamento e eficiência de um sistema de aproveitamento de água pluvial que foi instalado em 2011 no Centro Comercial Colombo, em Lisboa, Portugal, com o objetivo de validar a ferramenta de avaliação técnica que foi desenvolvida.

Com base nos registos disponibilizados determinou-se que a poupança de água não potável média real correspondeu a 9,4%. Introduziram-se depois todos os dados relevantes na ferramenta de avaliação técnica e utilizaram-se as séries de precipitação relativas a esses mesmos anos do local mais próximo possível (neste caso, de uma estação meteorológica instalada na estação da Transtejo, no Cais do Sodré), e a ferramenta estimou que, para um sistema com aquelas características, a poupança não potável estimada correspondia a 9,4%. Os resultados obtidos (9,4% em ambos) serviram para validar a ferramenta desenvolvida, de modo a que pudesse ser utilizada como método de dimensionamento de futuros sistemas a instalar. A análise técnica desses futuros sistemas viria a ser complementada com a análise de viabilidade financeira das opções de investimento, de forma a determinar qual a melhor opção a tomar.

Os benefícios associados à implementação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em grandes superfícies, como centros comerciais, traduzem-se em vantagens financeiras, na medida em que se compra uma quantidade menor de água da rede pública (além de que a taxa variável de saneamento é cobrada sobre a quantidade de água consumida), vantagens ambientais e também em vantagens não mensuráveis, na medida em

que a “componente verde” de uma empresa pode ter fortes impactos sobre os consumidores e é por isso cada vez mais valorizada.

Foram abordados dois casos de estudo, sendo que o primeiro corresponde ao Estação Viana Shopping, localizado em Viana do Castelo, Portugal, para o qual se analisaram duas áreas de recolha distintas (4280m² e 9920m²) em função de três cenários distintos de consumo, já que não foi possível averiguar com todo o detalhe que quantidade de água correspondia a consumo não potável. Admitindo um dos cenários de consumo como sendo aquele que provavelmente se encontrava mais próximo da realidade, aconselhou-se a instalação de um tanque de 200m³ independentemente da área considerada, para o qual se estimou um período de retorno do investimento de cerca de 43 e de 25 anos, conforme instalado na menor ou na maior área, respetivamente.

As reduzidas tarifas de água e de saneamento praticadas atualmente em Portugal e os elevados custos de implementação de SAAP em edifícios já existentes revelam-se os principais responsáveis. Averiguou-se, através de uma análise de sensibilidade, que o período de retorno do investimento poderia reduzir cerca de 20% se acompanhado de um aumento das tarifas de água e saneamento que fosse da mesma ordem de grandeza.

O segundo caso de estudo abordado foi o Boavista Shopping (BS), localizado em São Paulo, no Brasil, e também para este se estudou a implementação do sistema em duas áreas distintas (4190m², 12240m²), recomendando-se a instalação de tanques entre os 100m³ e os 200m³ em conjugação com a menor área de recolha, e entre os 200m³ e os 400m³ se o sistema fosse implementado na maior área de recolha. Para todas as hipóteses estudadas o período de retorno expectável é inferior a dois anos, o que é facilmente justificado pela prática de tarifas bastante mais elevadas no Brasil e pelo custo bastante mais reduzido do material e da mão-de-obra envolvida na implementação de um sistema de aproveitamento de água pluvial num centro comercial.

Concluiu-se que a utilização da água pluvial em centros comerciais se revela altamente benéfica tanto a nível ambiental como económico, além de acrescentar um valor não mensurável à imagem da empresa que decida enveredar por esta opção.

Apesar de o dimensionamento ter sido realizado de forma minuciosa, procurando-se justificar todas as opções tomadas e todos os parâmetros relevantes, isso não significa que a realidade corresponda sempre ao que foi estimado. O método de dimensionamento adotado tem como base as séries de precipitação históricas de um local, e portanto fornece resultados tanto mais próximos de situações futuras reais quanto menos alterações se verificarem nos padrões de distribuição e de intensidade da precipitação. A sua aplicação em Portugal ganha uma dificuldade acrescida já que se verificou uma diminuição do número de estações que possibilitavam a recolha dessa informação ao longo dos últimos anos, coincidindo precisamente com a altura em que as condições meteorológicas mais se alteraram.

Sabendo-se que as alterações climáticas que se têm registado nos últimos anos são uma consequência do passado, e que influenciarão com certeza o futuro, torna-se essencial que sejam desenvolvidos trabalhos futuros no sentido de entender essas alterações, de modo a apoiar o correto dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial e, conseqüentemente, a sua implementação, com todo o valor acrescido que isso traz a um mundo mais sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulla, F.A. & Al-Shareef, A.W., 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243(1-3), pp.195–207. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916409002677> [Accessed December 4, 2014].
- Agência Portuguesa do Ambiente, 2012. Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água. Available at: http://www.apambiente.pt/_zdata/consulta_publica/2012/pnuea/implementacao-pnuea_2012-2020_junho.pdf [Accessed November 30, 2014].
- Al-Jayyousi, O.R., 2003. Greywater reuse: Towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1-3), pp.181–192.
- Amorim, S. de & Pereira, D. de A., 2008. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. *Ambiente Construído*, 8(2), pp.53–66. Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Estudo+comparativo+dos+m?todos+de+dimensionamento+para+reservat?rios+utilizados+em+aproveitamento+de+?gua+pluvial#0>.
- ANQIP, 2009. Especificação Técnica ANQIP ETA 0701 - Versão 4. , pp.1–24. Available at: <http://www.anqip.com/images/stories/comissoes/0701/ETA0701.pdf>.
- ANQIP, 2015. Especificação Técnica ANQIP ETA 0701 - Versão 9.
- Antonopoulou, G., Kirkou, A. & Stasinakis, A.S., 2013. Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. *The Science of the total environment*, 454-455, pp.426–32. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23563256> [Accessed December 7, 2014].
- Arbués, F., García-Valiñas, M.Á. & Martínez-Espiñeira, R., 2003. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *The Journal of Socio-Economics*, 32(1), pp.81–102. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053535703000052> [Accessed November 4, 2014].
- ArcGIS, 2015a. ArcGIS - World Imagery. Available at: <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?layers=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9&useExisting=1> [Accessed July 25, 2015].
- ArcGIS, 2015b. ArcGIS - World Light Gray Base. Available at: <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?layers=ed712cb1db3e4bae9e85329040fb9a49&useExisting=1> [Accessed July 25, 2015].
- Atitudes Sustentáveis, O que São Edifícios Verdes? Available at: <http://www.atitudessustentaveis.com.br/residencia-sustentavel/edificios-verdes/> [Accessed January 28, 2015].
- Barrett, G., 2004. Water conservation: the role of price and regulation in residential water consumption. *Economic Papers*, 23(3), pp.271–285. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1759-3441.2004.tb00371.x/abstract>.
- Basinger, M., Montalto, F. & Lall, U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), pp.105–118. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169410004786> [Accessed November 17, 2014].
- Beal, C.D., Stewart, R. a. & Fielding, K., 2013. A novel mixed method smart metering approach to reconciling differences between perceived and actual residential end use water consumption. *Journal of Cleaner*

- Production*, 60, pp.116–128. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611003386> [Accessed July 15, 2014].
- Belmeziti, A., Coutard, O. & de Gouvello, B., 2013. A New Methodology for Evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by Using Rainwater Harvesting at the Urban Level: The Case of the Municipality of Colombes (Paris Region). *Water*, 5(1), pp.312–326. Available at: <http://www.mdpi.com/2073-4441/5/1/312/> [Accessed November 17, 2014].
- Belo-Pereira, M., Dutra, E. & Viterbo, P., 2011. Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 116(20), pp.1–16.
- Birrell, B. & Smith, P.T.F., 2005. Impact of Demographic Change and Urban Consolidation on Domestic Water Use Authors : *Urban Water*, (15).
- Brånvall, G. et al., 1999. Water accounts Physical and monetary data connected to abstraction , use and discharge of water in the Swedish NAMEA. *Water*, (December).
- Chilton, J.C. et al., 2000. Case study of a rainwater recovery system in a commercial building with a large roof. , 1(1999).
- CINTEP, Digital And Electric Power Showers. Available at: <http://www.recyclingshower.com.au/> [Accessed November 30, 2014].
- CMVC, 2015. Edital - Anexo 4 do Regulamento Municipal do Abastecimento de Água e Drenagem de Águas Residuais.
- Coombes, P.J. et al., 2006. An overview of a decade of research into the quality of rainwater supplies collected from roofs. *Proceedings of the 12th International Rainwater Catchment Systems Conference, "Mainstreaming Rainwater Harvesting."*
- Data 360, Average Water Use Per Person Per Day. Available at: http://www.data360.org/dsg.aspx?Data_Set_Group_Id=757# [Accessed December 17, 2014].
- Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 Agosto. Diário da República. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Drenagem de Águas Residuais.
- Eroksuz, E. & Rahman, A., 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), pp.1449–1452. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344910001576> [Accessed November 18, 2014].
- Farreny, R. et al., 2011. Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain. *Water research*, 45(10), pp.3245–54. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21492898> [Accessed September 2, 2014].
- Fewkes, A., 2000. Modelling the performance of rainwater collection systems : towards a generalised approach. *Urban Water*, 1(1999), pp.323–333.
- Fewkes, A., 1999. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment*, 34(6), pp.765–772. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132398000638>.
- Fulton, L. V. et al., 2013. Rainwater harvesting system using a non-parametric stochastic rainfall generator. *Simulation*, 89(6), pp.693–702. Available at: <http://sim.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0037549713479037> [Accessed November 19, 2014].

- 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), pp.1731–1742. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306000370> [Accessed November 20, 2014].
- Ghisi, E. & Schondermark, P.N., 2013. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. *Water Resources Management*, 27(7), pp.2555–2576. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-013-0303-6> [Accessed November 20, 2014].
- Ghisi, E., Tavares, D.D.F. & Rocha, V.L., 2009. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(2), pp.79–85. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344909001360> [Accessed November 20, 2014].
- Gikas, G.D. & Tsihrintzis, V. a., 2012. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *Journal of Hydrology*, 466-467, pp.115–126. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169412006993> [Accessed November 20, 2014].
- Guillon, A. et al., 2008. Rain water reusing for watering purposes : what storage capacity is needed and what benefits for the sewer networks ? , pp.1–9.
- Imteaz, M.A. et al., 2012. Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model. *Resources, Conservation and Recycling*, 62, pp.51–55. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344912000341> [Accessed November 22, 2014].
- Imteaz, M.A., Ahsan, A. & Shanableh, A., 2013. Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: Variations within a large city. *Resources, Conservation and Recycling*, 77, pp.37–43. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344913001158> [Accessed November 22, 2014].
- Jenkins, D. et al., 1978. Feasibility of rainwater collection systems in California Contribution No.173 (California Water Resources Centre).
- Kahinda, J.M., Taigbenu, A.E. & Boroto, J.R., 2007. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 32(15-18), pp.1050–1057. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474706507000915> [Accessed November 22, 2014].
- Kim, H., Han, M. & Lee, J.Y., 2012. The application of an analytical probabilistic model for estimating the rainfall-runoff reductions achieved using a rainwater harvesting system. *The Science of the total environment*, 424, pp.213–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22444055> [Accessed November 22, 2014].
- König, K.W. & Sperfeld, D., 2007. Rainwater harvesting—A global issue matures. *Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.* Available at: <http://www.ime-medawater-rmsu.org/archive/projects/ZERO-M project/reports/06 Rainwater harvesting/Rainwater harvesting - a global issue matures.pdf>.
- Lall, U., Rajagopalan, B. & Tarboton, D.G., 1996. A Nonparametric Wet/Dry Spell Model for Resampling Daily Precipitation. *Water Resources Research*, 32(9), pp.2803–2823. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/96WR00565>.
- Lima, M., 2008. Divisões Administrativas de Portugal. Available at: <http://www.mslima.com/sop/divisoaes/> [Accessed July 19, 2015].
- Lu, T. & Smout, I., 2008. Domestic Water Consumption : A field study in Harbin , China. In *33rd WEDC International Conference, Ghana*. pp. 1 – 4.
- Lúcio, C.A., 2015. *Redução potencial de consumo de água potável por reutilização da água da chuva em centros urbanos*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

- LUSA, 2014. Mais de um terço da água distribuída em Portugal não é facturada. *Público*. Available at: <http://www.publico.pt/sociedade/noticia/mais-de-um-terco-da-agua-distribuida-em-portugal-nao-e-facturada-1678254> [Accessed December 6, 2014].
- Machado, A.A. de S., 2014. Contaminação de aquíferos e implicações para qualidade ambiental. *Portal Resíduos Sólidos*. Available at: <http://www.portalresiduossolidos.com/contaminacao-de-aquiferos-e-implicacoes-para-qualidade-ambiental/#> [Accessed November 30, 2014].
- March, J., Gual, M. & Orozco, F., 2004. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*, 164(3), pp.241–247. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916404001924>.
- Marinoski, A.K., 2007. *Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis - SC*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Matos, C. et al., 2013a. Domestic water uses: characterization of daily cycles in the north region of Portugal. *The Science of the total environment*, 458-460, pp.444–50. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23685370> [Accessed November 24, 2014].
- Matos, C. et al., 2013b. Rainwater storage tank sizing: Case study of a commercial building. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2(2), pp.109–118. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609014000181> [Accessed October 1, 2014].
- Meera, V. & Ahammed, M.M., 2006. Water quality of rooftop rainwater harvesting systems : a review. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 55(4), pp.257–268.
- Mendez, C.B. et al., 2011. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water research*, 45(5), pp.2049–59. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21232781> [Accessed November 19, 2014].
- Mintz, E.D. et al., 2001. Not just a drop in the bucket: Expanding access to point-of-use water treatment systems. *American Journal of Public Health*, 91(10), pp.1565–1570.
- Mitchell, V.G., 2007. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling? *Hydrological Processes*, 21(21), pp.2850–2861.
- Mitchell, V.G. et al., 2008. Urban stormwater harvesting - sensitivity of a storage behaviour model. *Environmental Modelling and Software*, 23(6), pp.782–793.
- Morais, V. & Vieira, C., 2006. *Matlab 7 & 6 - Curso Completo*, FCA - Editora de Informática.
- Moreira Neto, R.F. et al., 2012. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 68, pp.36–43. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344912001437> [Accessed November 24, 2014].
- Mourad, K. a, Berndtsson, J.C. & Berndtsson, R., 2011. Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. *Journal of environmental management*, 92(10), pp.2447–53. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21621904> [Accessed November 22, 2014].
- Mun, J.S. & Han, M.Y., 2012. Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: definition, sensitivity and verification. *Journal of environmental management*, 93(1), pp.147–53. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22054581> [Accessed November 24, 2014].
- Muthukumaran, S., Baskaran, K. & Sexton, N., 2011. Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse – A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), pp.945–952. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344911000796> [Accessed November 24, 2014].

- Naddeo, V., Scannapieco, D. & Belgiorno, V., 2013. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of Hydrology*, 498, pp.287–291. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169413004472> [Accessed October 15, 2014].
- Neves, M.V. & Afonso, A. da S., 2010. Especificações técnicas para o aproveitamento da água das chuvas e das águas cinzentas nos edifícios. In *5.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*.
- OFWAT, 2013. Surface water drainage charges - Information for non-household customers.
- Openclipart, 2006. Brazilian map - by nferraz. Available at: <https://openclipart.org/detail/625/brazilian-map> [Accessed July 20, 2015].
- Palla, A., Gnecco, I. & Lanza, L.G., 2011. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 401(1-2), pp.65–76. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169411001144> [Accessed November 24, 2014].
- Parker, J.M. & Wilby, R.L., 2012. Quantifying Household Water Demand: A Review of Theory and Practice in the UK. *Water Resources Management*, 27(4), pp.981–1011. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-012-0190-2> [Accessed November 24, 2014].
- Perlman, H., 2013. Where is Earth's water? - USGS Water Science School. Available at: <http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html> [Accessed November 30, 2014].
- Proença, L.C. et al., 2011. Potential for electricity savings by reducing potable water consumption in a city scale. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), pp.960–965. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344911000863> [Accessed November 24, 2014].
- Proença, L.C. & Ghisi, E., 2010. Water end-uses in Brazilian office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(8), pp.489–500. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344909002298> [Accessed November 21, 2014].
- Rahman, A., Keane, J. & Imteaz, M.A., 2012. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. *Resources, Conservation and Recycling*, 61, pp.16–21. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344911002473> [Accessed November 24, 2014].
- Rashidi Mehrabadi, M.H., Saghafian, B. & Haghghi Fashi, F., 2013. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, pp.86–93. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344913000244> [Accessed November 10, 2014].
- Roccaro, P., Falciglia, P.P. & Vagliasindi, F.G.A., 2011. Effectiveness of water saving devices and educational programs in urban buildings. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 63(7), pp.1357–1365. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21508547> [Accessed November 24, 2014].
- Ruijs, A., Zimmermann, A. & van den Berg, M., 2008. Demand and distributional effects of water pricing policies. *Ecological Economics*, 66(2-3), pp.506–516. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800907005174> [Accessed November 24, 2014].
- Rupp, R.F., Munarim, U. & Ghisi, E., 2011. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Ambiente Construído*, 11(4), pp.47–64.
- Rygaard, M., Binning, P.J. & Albrechtsen, H.-J., 2011. Increasing urban water self-sufficiency: new era, new challenges. *Journal of environmental management*, 92(1), pp.185–94. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20888683> [Accessed November 24, 2014].

- SANT'ANA, D., 2012. Domestic Water End-Uses and Water Conservation in Multi-Storey Buildings in the Federal District, Brazil. In *PLEA2012*. Available at: <http://www.plea2012.pe/pdfs/T10-20120424-0017.pdf>.
- Santos, C. & Taveira-Pinto, F., 2013. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 71, pp.1–6. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344912002030> [Accessed November 10, 2014].
- Sazakli, E., Alexopoulos, A. & Leotsinidis, M., 2007. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water research*, 41(9), pp.2039–47. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17363028> [Accessed November 24, 2014].
- Schets, F.M. et al., 2010. Rainwater harvesting: quality assessment and utilization in The Netherlands. *Journal of Water and Health*, 8(2), pp.224–35. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20154386> [Accessed November 24, 2014].
- Schuetze, T. & Santiago-Fandiño, V., 2013. Quantitative Assessment of Water Use Efficiency in Urban and Domestic Buildings. *Water*, 5(3), pp.1172–1193. Available at: <http://www.mdpi.com/2073-4441/5/3/1172/> [Accessed November 24, 2014].
- Shahidian, S. et al., 2008. Optimizing rain harvesting for Mediterranean climate. In *4th IASME/WSEAS*. pp. 291–293. Available at: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/18670>.
- Silva-Afonso, A. & Pimentel-Rodrigues, C., 2011. The importance of water efficiency in buildings in Mediterranean countries. The Portuguese experience. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, 5(1), pp.17–24.
- Simmons, G. et al., 2001. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research*, 35(6), pp.1518–1524. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135400004206>.
- SindusConMS, 2015. Boletim de Preços Unitários da Construção.
- SNIG, SNIG - (Visualizador). Available at: <http://snig.dgterritorio.pt/geoportalMapView/index.html> [Accessed July 20, 2015].
- SNIRH, Água Subterrânea: Exploração e Poluição de Aquíferos. Available at: <http://snirh.apambiente.pt/junior/?menu=2.2&item=4> [Accessed November 30, 2014].
- Soares, A.M., 2010. *Análise dos Consumos de Água em Edifícios não Habitacionais*. Universidade do Porto. Available at: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59840/1/000144748.pdf>.
- Sonae Sierra, 2004. Boavista Shopping: Informação à Imprensa - 27/04/2004. Available at: http://www.sonaesierra.com/uploadfiles/pressreleases/A555E3C0807C616FAE04DF367026DEF7_2742004115056.pdf.
- Sonae Sierra, 2003. Estação Viana Shopping: Informação à Imprensa - 18/11/2003. Available at: http://www.sonaesierra.com/uploadfiles/pressreleases/74F2B6C44EA3B9A90EC35683B3D1F43B_622004155116.PDF.
- Suh, D. & Chang, S., 2012. An Energy and Water Resource Demand Estimation Model for Multi-Family Housing Complexes in Korea. *Energies*, 5(12), pp.4497–4516. Available at: <http://www.mdpi.com/1996-1073/5/11/4497/> [Accessed November 24, 2014].
- Tahir, S. et al., 2009. Rainwater harvesting for a sustainable and resilient London. Available at: <http://discovery.ucl.ac.uk/174799/>.

- Tam, V.W.Y., Tam, L. & Zeng, S.X., 2010. Cost effectiveness and tradeoff on the use of rainwater tank: An empirical study in Australian residential decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(3), pp.178–186. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344909001621> [Accessed November 24, 2014].
- Teixeira, P., 2015. *Custo do ciclo de vida de medidas de eficiência hídrica em edifícios comerciais – Caso de estudo da Sonae Sierra*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- The World Bank, 2015a. Annual freshwater withdrawals, agriculture (% of total freshwater withdrawal). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWAG.ZS> [Accessed January 18, 2015].
- The World Bank, 2015b. Annual freshwater withdrawals, domestic (% of total freshwater withdrawal). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWDM.ZS> [Accessed January 18, 2015].
- The World Bank, 2015c. Annual freshwater withdrawals, industry (% of total freshwater withdrawal). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWIN.ZS> [Accessed January 18, 2015].
- The World Bank, 2015d. Annual freshwater withdrawals, total (billion cubic meters). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.K3> [Accessed January 18, 2015].
- The World Bank, 2015e. Average precipitation in depth (mm per year). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.PRCP.MM> [Accessed January 20, 2015].
- The World Bank, 2015f. Land area (sq. km). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.TOTL.K2> [Accessed January 20, 2015].
- The World Bank, 2015g. Population, total. Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> [Accessed January 20, 2015].
- Umapathi, S., Chong, M.N. & Sharma, A.K., 2013. Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: a real-time monitoring study. *Journal of Cleaner Production*, 42, pp.204–214. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652612005951> [Accessed November 24, 2014].
- United Nations, 2015. United Nations Millennium Development Goals. Available at: <http://www.un.org/millenniumgoals/enviro.html> [Accessed January 28, 2015].
- Villarreal, E.L. & Dixon, A., 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9), pp.1174–1184. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132304003178> [Accessed November 24, 2014].
- Ward, S., Memon, F.A. & Butler, D., 2010. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 61(1), pp.85–96. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20057094> [Accessed November 24, 2014].
- Willis, R. et al., 2011. Residential potable and recycled water end uses in a dual reticulated supply system. *Desalination*, 272(1-3), pp.201–211. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916411000336> [Accessed November 24, 2014].
- Willis, R. et al., 2008. Revealing the Impact of Socio-Demographic Factors and Efficient Devices on End Use Water Consumption: Case of Gold Coast, Australia.
- Willis, R.M. et al., 2011. Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. *Journal of environmental management*, 92(8), pp.1996–2009. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21486685> [Accessed August 8, 2014].

- Wong, L.T. & Mui, K.W., 2007. Modeling water consumption and flow rates for flushing water systems in high-rise residential buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, 42(5), pp.2024–2034. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132306000643> [Accessed November 24, 2014].
- Yaziz, M.I. et al., 1989. Variations in Rainwater Quality from Roof Catchments. , 23(6), pp.761–765.
- Zadeh, S. et al., 2013. Shared Urban Greywater Recycling Systems: Water Resource Savings and Economic Investment. *Sustainability*, 5(7), pp.2887–2912. Available at: <http://www.mdpi.com/2071-1050/5/7/2887/> [Accessed November 24, 2014].
- Zaizen, M. et al., 2000. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban Water*, 1(4), pp.355–359.
- Zhang, B. et al., 2012. The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: a case study in Beijing, China. *Journal of environmental management*, 100, pp.65–71. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22366359> [Accessed November 24, 2014].
- Zhang, Y. et al., 2009. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of environmental management*, 91(1), pp.222–6. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19744767> [Accessed November 24, 2014].
- Zhu, K. et al., 2004. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. *Journal of Arid Environments*, 57(4), pp.487–505. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140196303001186> [Accessed November 24, 2014].

ANEXOS

Os anexos desta dissertação são confidenciais.

- Anexo A – Mapa de quantidades e trabalhos referentes ao Centro Comercial Colombo**
- Anexo B – Comparação entre resultados do estudo prévio e da ferramenta desenvolvida**
- Anexo C – Estação Viana Shopping: Plantas de abastecimento de água**
- Anexo D – Estação Viana Shopping: Plantas de drenagem de águas residuais**
- Anexo E – Estação Viana Shopping: Benefícios associados à implementação de um SAAP**
- Anexo F – Estação Viana Shopping: Resultados das simulações e poupanças previstas em cada sistema**
- Anexo G – Estação Viana Shopping: Custos de implementação**
- Anexo H – Estação Viana Shopping: Custos de operação e manutenção**
- Anexo I – Estação Viana Shopping: Determinação do Período de Retorno do Investimento**
- Anexo J – Estação Viana Shopping: Análise de sensibilidade referente ao aumento da tarifa da água**
- Anexo K – Boavista Shopping: Plantas disponibilizadas**
- Anexo L – Boavista Shopping: Resultados das simulações e poupanças previstas em cada sistema**
- Anexo M – Boavista Shopping: Custos de implementação**