



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

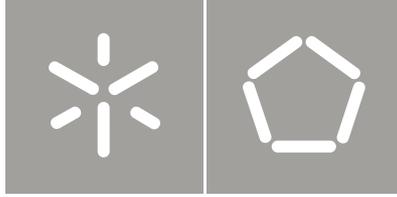
Tiago Miguel Antunes Machado

Simulação do
Aproveitamento de Água da Chuva

Tiago Miguel Antunes Machado
Simulação do
Aproveitamento de Água da Chuva

UMinho | 2012

Outubro de 2012



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tiago Miguel Antunes Machado

Simulação do
Aproveitamento de Água da Chuva

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Naim Haie
Professor Doutor Shakib Shahidian

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço aos meus orientadores, o Prof. Naim Haie da Universidade do Minho pelo acompanhamento e palavras de incentivo e ao Prof. Shakib Shahidian que apesar da distância sempre se mostrou extremamente interessado e prestável.

Agradeço ao Henrique Costa da empresa “Construções Henrique Costa” e às empresas “Ecoagua” e “Ambientel” pela informação disponibilizada.

À Universidade do Minho pelos momentos singulares que me proporcionou, contribuindo para o meu enriquecimento como estudante e como pessoa.

À minha família, em especial aos meus pais pelo apoio, estímulo e sacrifícios que me permitiram superar mais um capítulo da minha vida.

Aos meus amigos pela diversão, pelos conselhos e pelo apoio que fez desta experiência académica algo ímpar.

À Alexandra Antunes, pela compreensão, companheirismo, amor e por tudo aquilo que temos e teremos.

A todos que fazem parte da minha vida, um muito obrigado.

Resumo

A procura de estratégias de racionalização no consumo de água ou de fontes alternativas de água têm levado ao surgimento de várias soluções, sendo algumas já utilizadas no passado mas caídas em desuso com o desenvolvimento das sociedades. Uma das soluções já adotada de forma significativa em vários países é o aproveitamento da chuva em todo o tipo de utilizações.

Neste trabalho explora-se a viabilidade da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial (SAAP) para fins domésticos em Portugal continental.

Esta dissertação pretende ajudar a resolver a problemática do aproveitamento de água pluvial em contexto doméstico, determinando onde um SAAP pode constituir um sistema economicamente atraente e uma fonte alternativa credível de água não potável.

O investimento inicial na implantação de um SAAP constitui o maior entrave na expansão deste tipo de sistema, sendo o reservatório de armazenamento de água pluvial o elemento mais dispendioso.

Desenvolveu-se um programa denominado *PSAAP*, para fazer a simulação do aproveitamento de água pluvial. O *PSAAP* foi desenvolvido com o objetivo de dimensionar a capacidade ideal do reservatório e estudar a viabilidade económica do SAAP.

Para um determinado SAAP, este simulador calcula iterativamente até encontrar a capacidade ideal. A capacidade ideal do reservatório de um SAAP será a capacidade que levar a que o SAAP tenha o menor período de recuperação do investimento (PRI) possível.

Através do *PSAAP*, o utilizador pode obter a capacidade do reservatório recomendável para a sua localização, consumo e capacidade de captação da chuva, conseguindo também perceber qual o investimento inicial e o PRI associados ao respetivo SAAP.

Na aplicação da ferramenta, estuda-se a implantação de um SAAP em cidades de diferentes regiões de Portugal continental, de forma a perceber a sua viabilidade em condições distintas.

Estudou-se numa primeira análise a utilização de um SAAP que abastece-se apenas uma moradia unifamiliar e numa segunda análise estudou-se a utilização de um SAAP que

abastece-se um conjunto de quatro moradias unifamiliares, de forma a verificar se o projeto beneficia economicamente por ser um sistema de maior dimensão.

Através das simulações efetuadas no *PSAAP*, conclui-se que quanto mais elevado for o nível de consumo, o custo da água consumida, área de captação e a precipitação disponível, menor é o PRI do SAAP.

Palavras-chave: SAAP, sistema de aproveitamento de água pluvial, reservatório, programa, viabilidade económica.

Abstract

The demand for rationalizing strategies or alternative sources of water have led to the appearance of several solutions, some already used in the past, but have fell into disuse with the development of societies. One of the significantly solutions, already adopted in several countries, is the use of rainwater.

This work explores the economic viability of implementing a rainwater harvesting system (RWHS) for domestic purposes in Portugal mainland.

This dissertation aims to help solve the problem of use rainwater in the domestic context, determining where a RWHS can be an economically attractive system and a credible alternative source of non-potable water.

The initial investment in the implementation of a RWHS is the major obstacle in the expansion of this type of system where the rainwater storage tank is the most expensive element.

In order to study the economic viability of a RWHS and calculate the ideal capacity to the storage tank under different conditions, was developed a program for simulation of rainwater harvesting called *PSAAP*.

For a RWHS with different storage capacities, this simulator calculates iteratively to find the ideal capacity. The ideal capacity of a RWHS's storage tank is the capacity that leads to the RWHS has the lowest possible payback period.

Through PSAAP, the user can get the recommended capacity of the reservoir to its location, consumption and ability to capture the rain. This program can also help the user realize the initial investment and the payback period associated with the respective RWHS.

In the application of this tool, was study the implementation of a RWHS in cities of different regions of Portugal mainland in order to understand its viability in different conditions.

It was studied the use of a RWHS that supplies just one dwelling unfamiliar house and has also been studied the use of a RWHS which supplies a set of four dwelling unfamiliar houses in order to benefit from a larger dimension.

Through simulations performed on PSAAP, it is concluded that the higher the level of consumption, the cost of water consumed and precipitation available, the lower is the payback period.

Keywords: RWHS, rainwater harvesting system, rainwater storage tank, program, economic viability

Índice geral

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1	Escassez de água.....	4
2.2	Aproveitamento das águas da chuva.....	5
2.2.1	História do aproveitamento da chuva	5
2.2.2	Projetos em Portugal.....	8
2.3	Aspetos técnicos e legais - Portugal	9
2.4	Qualidade das águas pluviais	10
2.5	Vantagens VS Desvantagens	12
2.5.1	Vantagens dos SAAP	12
2.5.2	Desvantagens dos SAAP	13
2.6	Caracterização de um sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP).....	13
2.6.1	Descrição de cada componente	16
2.6.2	Manutenção dos componentes do SAAP.....	25
2.7	Programas já existentes na simulação do aproveitamento da chuva.....	25
3	METODOLOGIA NO DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL (<i>PSAAP</i>).....	27
3.1	Interface para o utilizador	27
3.1.1	Dados de entrada	29
3.1.2	Resultados.....	30
3.2	Ambiente Excel.....	31
3.2.1	Folha de Dados	31

3.2.2	Folha de Resultados	32
3.3	Algoritmo do simulador <i>PSAAP</i>	34
3.4	Precipitação e evapotranspiração	36
3.5	Usos de água da chuva	38
3.5.1	Uso diário de água para lavagem de pavimentos	39
3.5.2	Uso diário de água para lavagem de automóveis	39
3.5.3	Uso diário de água para descarga de autoclismos	40
3.5.4	Uso diário de água para lavagem de roupa	40
3.5.5	Uso diário de água para rega de jardins	40
3.6	Volume de desvio do escoamento inicial	41
3.7	Volume diário de água pluvial captada através da cobertura	42
3.8	Volume diário de água pluvial armazenado no reservatório	43
3.9	Volume diário de água da rede pública usado em todas as utilizações consideradas	44
3.10	Volume diário de água pluvial usado em todas as utilizações consideradas	44
3.11	Volume em excesso no reservatório	45
3.12	Volumes no período de análise de dez anos	45
3.12.1	Volume total consumido em todas as utilizações num período de dez anos	45
3.12.2	Volume total captado para armazenamento num período de dez anos	46
3.12.3	Volume total de água da rede pública utilizado num período de dez anos	46
3.12.4	Volume total de água pluvial utilizado num período de dez anos	46
3.12.5	Volume total em excesso no reservatório num período de dez anos	47
3.13	Eficiência do SAAP	47
3.13.1	Eficiência no armazenamento de água pluvial	47
3.13.2	Eficiência no consumo de água pluvial	48
3.14	Análise económica	48
3.14.1	Custos individuais	48
3.14.2	Análise económica anual	52

3.14.3	Análise económica no período de análise de dez anos.....	55
3.15	Período de recuperação do investimento atualizado.....	57
4	APLICAÇÃO DO PROGRAMA <i>PSAAP</i>	59
4.1	Descrição da habitação unifamiliar tipo	59
4.1.1	Projeto da habitação.....	60
4.2	Resultados da simulação do aproveitamento de água pluvial.....	63
4.2.1	Tarifário.....	63
4.2.2	Simulação A: Simulação no programa <i>PSAAP</i> do aproveitamento de água pluvial para uma moradia unifamiliar	64
4.2.3	Simulação B: Simulação no programa <i>PSAAP</i> do aproveitamento de água pluvial para um conjunto de quatro moradias unifamiliares	82
4.2.4	SAAP recomendado para cada cidade na simulação A e B	98
4.3	Discussão de resultados	100
5	CONCLUSÃO	104
6	BIBLIOGRAFIA.....	106
6.1	Lista de sites consultados.....	108
7	ANEXOS.....	110
7.1	Anexo A – Estimar consumo de água.....	110
7.2	Anexo B – Características do equipamento de bombagem	111
7.3	Anexo C – Custo do reservatório de água pluvial	112
7.4	Anexo D – Custos da rede de distribuição de água pluvial	113
7.5	Anexo E – Custos de escavação para acomodação do reservatório.....	113
7.6	Anexo F – Custos do sistema de bombagem, acessórios, filtro e mão-de-obra.....	114
7.7	Anexo G – Tarifários domésticos de água, saneamento e resíduos sólidos urbanos	
	116	
7.7.1	Cidade de Braga.....	116
7.7.2	Cidade de Bragança	119
7.7.3	Cidade de Coimbra	120

7.7.4	Cidade de Beja.....	122
7.7.5	Tarifas calculadas para as quatro cidades analisadas	124

Índice de Figuras

Figura 1: Disponibilidade de água doce em metros cúbicos por pessoa e por ano (WRI, 2006)	5
Figura 2: Sistema de armazenamento de águas pluviais comunitário no Irão (Gnadlinger, 2000)	6
Figura 3: Chultun no século X (Gnadlinger, 2000)	6
Figura 4: Reservatório escavado em Massada (Tomaz, 2003)	7
Figura 5: SAAP em Leça do Balio	8
Figura 6: Esquema do SAAP na torre de controlo	9
Figura 7: Esquematização de um SAAP (Ambientel, 2011)	14
Figura 8: Grelha na calha para filtração de materiais grosseiros (RH, 2010)	17
Figura 9: Dispositivo de desvio do escoamento inicial (RH, 2010)	18
Figura 10: Filtro de água pluvial (Ecoagua, 2011)	18
Figura 11: Reservatório em PEAD para água pluvial (Roth, 2009)	20
Figura 12: Bomba MQ3-45 (Grundfos, 2012)	21
Figura 13: Tubagem ppr (Polipropileno reticulado) (Coprax, 2012)	22
Figura 14: Conjunto de sucção flutuante (Ecoagua, 2011)	23
Figura 15: Entrada anti Turbulência (Ecoagua, 2011)	24
Figura 16: Sifão (Ecoagua, 2011)	24
Figura 17: Frequência da manutenção aos componentes de um SAAP (Afonso et al., 2009)	25
Figura 18: Interface principal da ferramenta <i>PSAAP</i>	28
Figura 19: Interface secundário para visualização dos gráficos obtidos pelo <i>PSAAP</i>	29
Figura 20: Folha de dados no “Excel” do simulador <i>PSAAP</i>	32
Figura 21: Folha de resultados gráficos do simulador <i>PSAAP</i> no Excel (exemplo)	33
Figura 22: Fluxograma do programa <i>PSAAP</i>	34
Figura 23: Precipitação média anual e evapotranspiração de referência média (SNIRH, 2005)	36
Figura 24: Custo do reservatório em função do volume	49
Figura 25: Custo do filtro em função da área de captação	52
Figura 26: Planta do andar rés-do-chão (sem escala)	61
Figura 27: Planta do 1º andar (sem escala)	62
Figura 28: Planta da cobertura (sem escala)	63

Figura 29: Interface respetivo á simulação na cidade de Braga.	66
Figura 30: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	67
Figura 31: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	67
Figura 32: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	68
Figura 33: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	69
Figura 34: Interface respetivo á simulação na cidade de Bragança.	70
Figura 35: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	71
Figura 36: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	71
Figura 37: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	72
Figura 38: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	73
Figura 39: Interface respetivo á simulação na cidade de Coimbra.	74
Figura 40: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	75
Figura 41: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	75
Figura 42: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	76
Figura 43: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	77
Figura 44: Interface respetivo á simulação na cidade de Beja.	78
Figura 45: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	79
Figura 46: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	79
Figura 47: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	80
Figura 48: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	81
Figura 49: Interface respetivo á simulação na cidade de Braga.	83
Figura 50: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	84
Figura 51: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	84
Figura 52: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	85
Figura 53: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	86
Figura 54: Interface respetivo á simulação na cidade de Bragança.	87
Figura 55: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	88
Figura 56: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	88
Figura 57: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	89

Figura 58: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	90
Figura 59: Interface respetivo á simulação na cidade de Coimbra.	91
Figura 60: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	92
Figura 61: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	92
Figura 62: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	93
Figura 63: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	94
Figura 64: Interface respetivo á simulação na cidade de Beja.	95
Figura 65: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	96
Figura 66: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.	96
Figura 67: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.	97
Figura 68: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.	98
Figura 69: Consumo de água em edifícios de habitação (Afonso et al., 2009).	110
Figura 70: Características da Bomba MQ3-45 (Grundfos, 2012)	111
Figura 71: Tarifa de água (sem IVA) na cidade de Braga (Agere, 2012)	117
Figura 72: Tarifa de saneamento (sem IVA) em Braga (Agere, 2012)	117
Figura 73: Tarifa de resíduos sólidos urbanos (sem IVA) em Braga (Agere, 2012).....	118
Figura 74: Tarifário (sem IVA) em Bragança (CMB, 2012).....	119
Figura 75: Tarifário de água e saneamento (sem IVA) na cidade de Coimbra (AC, 2012) ...	120
Figura 76: Tarifário de resíduos sólidos urbanos (sem IVA) na cidade de Coimbra (AC, 2012)	121
Figura 77: Tarifário de água (sem IVA) na cidade de Beja (Emas, 2012)	122
Figura 78: Tarifário de saneamento (sem IVA) na cidade de Beja (Emas, 2012).....	123
Figura 79: Tarifário de resíduos sólidos urbanos (sem IVA) na cidade de Beja (Emas, 2012)	123

Índice de Tabelas

Tabela 1: Estações do SNIRH consultadas (SNIRH, 2011).....	37
Tabela 2: Tarifas com IVA de 6 % das quatro cidades analisadas.....	64
Tabela 3: Características da habitação tipo abastecida pelo SAAP.....	65
Tabela 4: Características das quatro habitações abastecidas pelo SAAP.....	82
Tabela 5: SAAP recomendado pelo programa para cada cidade na simulação A e B.....	99
Tabela 6: Precipitação, evapotranspiração e custo por m ³ de água consumida.....	101
Tabela 7: Custo de um reservatório em PEAD em função da capacidade de armazenamento (Cepex, 2012).....	112
Tabela 8: Custo do material da rede de distribuição com um diâmetro exterior de 25 mm (Sanidelos, 2012).....	113
Tabela 9: Custos dos filtros e respetiva área de captação máxima para filtração [(Cepex, 2012) e (Ecoagua, 2011)].....	114
Tabela 10: Custo do sistema de bombagem MQ3-45 para água pluvial (Cepex, 2012).....	114
Tabela 11: Custos de acessórios no interior do reservatório [(Ecoagua, 2011) e (RH, 2010)].....	115
Tabela 12: Tempo de trabalho e respetivos custos na realização do trabalho.....	115
Tabela 13: Tarifas (sem IVA) das cidades analisadas.....	124

Lista de variáveis

Simbologia	Descrição	Unidades
a	Ano num período de 10 anos	ano
Ac	Área de captação da água pluvial	m ²
Aj	Área de jardim	m ²
Ap	Área de pavimentos	m ²
b	Coefficiente de rugosidade	m
B(a)	Benefício anual atualizado	€
Bt(v)	Benefício de exploração num período de 10 anos	€
C	Coefficiente de escoamento	-
Cc	Custo da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício	€
Ce(a)	Custo de exploração anual atualizado	€
Cet(v)	Custo de exploração num período de 10 anos	€
Cesc(v)	Custo da escavação	€
Cit(v)	Investimento inicial total	€
Citr	Investimento inicial total no SAAP com a capacidade do reservatório recomendada pelo programa	€
Crp(v)	Custo do reservatório de armazenamento em PEAD	€
Cma	Custo de manutenção anual	€
Cout	Outros custos	€
Ctub	Custo por metro da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício	€/m
Ct(v)	Custo total do SAAP num período de 10 anos	€

Cuni	Consumo unitário segundo a ETA 0701	-
d	Dia no período de 10 anos	dia
Diam	Diâmetro interior da canalização de água pluvial no interior do edifício	m
Earm(v)	Eficiência no armazenamento de água pluvial	%
Econs(v)	Eficiência no consumo de água pluvial	%
Eo(d)	Evapotranspiração potencial diária	mm/dia
Hgmax	Altura geométrica de elevação de água máxima	m
Hmmax	Altura manométrica máxima	m
hprec	Altura de precipitação pré-definida	mm
J	Perdas de carga na canalização	m/m
η	Rendimento da operação de bombagem	-
ηf	Eficiência hidráulica da filtração	-
n	Número de períodos da análise do projeto de investimento	-
Na	Número de automóveis	Automóvel
Nh	Número de habitantes na habitação	Habitante
Nlma	Número de lavagens mensais a automóveis	-
Nlmp	Número de lavagens mensais ao pavimento	-
P(d)	Precipitação diária	mm/dia
PRIr	Período de recuperação do investimento para o SAAP constituído pelo reservatório recomendado	anos
PRI(v)	Período de recuperação do investimento	anos
S(v)	Saldo num período de 10 anos	€
Ta	Taxa de atualização	-
Tma	Tarifa média da água da rede pública	€/ m ³

Tme	Tarifa média da eletricidade	€/ Kwh
Tmrs	Tarifa média dos resíduos sólidos	€/ m ³
Tms	Tarifa média do saneamento	€/ m ³
Tub	Comprimento da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício	m
v	Capacidade do reservatório de armazenamento de água pluvial	m ³
Va(d)	Volume diário de água pluvial armazenado no reservatório	m ³ /dia
Vap(d)	Volume diário de água pluvial utilizado	m ³ /dia
Vapt(v)	Volume total de água pluvial utilizado num período de 10 anos	m ³
Vaut(d)	Volume diário consumido na lavagem de automóveis	m ³ /dia
Vcap(d)	Volume diário de água pluvial captado na cobertura	m ³ /dia
Vcapt(v)	Volume total captado para armazenamento num período de 10 anos	m ³
Vcons(d)	Volume diário consumido em todas as utilizações	m ³ /dia
Vconst(v)	Volume total consumido em todas as utilizações num período de 10 anos	m ³
Vda(d)	Volume diário consumido na descarga de autoclismos	m ³ /dia
Vexc(d)	Volume diário de água pluvial em excesso no reservatório	m ³ /dia
Vexct(v)	Volume total em excesso no reservatório num período de 10 anos	m ³
Vff	Volume de desvio do escoamento inicial	m ³
Vlr(d)	Volume diário consumido na lavagem de roupa	m ³ /dia
Vmax	Capacidade máxima possível para o reservatório de armazenamento de água pluvial	m ³
Vout(d)	Volume diário consumido em outras utilizações	m ³ /dia

V_{pav(d)}	Volume diário consumido na lavagem de pavimentos	m ³ /dia
V_{rede(d)}	Volume diário de água da rede pública utilizado	m ³ /dia
V_{redet(v)}	Volume total de água da rede pública utilizado num período de 10 anos	m ³
V_r	Capacidade do reservatório recomendado	m ³
V_{rj(d)}	Volume diário consumido na rega de jardins	m ³ /dia

Lista de Abreviaturas e Siglas

Sigla	Significado
ANQIP	Associação nacional para a qualidade nas instalações prediais
ETA 0701	Especificação técnica da ANQIP
ETA 0702	Especificação técnica da ANQIP
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
ppr	Polipropileno reticulado
PSAAP	Programa de simulação do aproveitamento de água pluvial
SAAP	Sistema de aproveitamento de água pluvial
SNIRH	Sistema Nacional de informação de Recursos Hídricos
VBA	Visual Basic for Applications

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A água sempre foi um condicionante decisivo no desenvolvimento socioeconómico de qualquer sociedade, sendo portanto a escassez ou a qualidade diminuta da água, uma limitação determinante para o desenvolvimento humano e das atividades económicas, mas também para o equilíbrio do ecossistema.

Mas em algumas regiões do globo como a Europa, devido á abundancia de água, este bem sempre foi considerado um bem inesgotável e de baixo valor. Este facto tem sido posto em causa durante as ultimas décadas, devido a vários fatores como as alterações climáticas, a poluição crescente, o aumento populacional global e o aumento do consumo de água (devido ao desenvolvimento económico e social de muitos países). Todos estes fatores têm colocado imensa pressão nos recursos hídricos de determinadas regiões, que levam á escassez e á deterioração da qualidade da água, fazendo da água um bem cada vez mais valioso e estratégico no panorama internacional. Por isso, o acesso á agua têm gerado ultimamente diversos conflitos regionais e nacionais, prevendo-se no futuro um crescendo na disputa desse bem, levando a água a ser cada vez mais uma preocupação global.

A escassez quantitativa e qualitativa de água tem levado as sociedades modernas a procurar maneira de racionalizar o uso da água e procurar novas fontes de água, de forma a promover um desenvolvimento sustentável.

Uma das fontes alternativas de água consideradas atualmente como uma opção com potencial é o aproveitamento local das águas pluviais, que dependendo da qualidade da água da chuva e dos fins a que se destina, poderá sofrer tratamento no local. Esta fonte de água constitui uma alternativa utilizada atualmente em alguns países do mundo, para fins domésticos, industriais, agrícolas, espaços públicos e controlo de cheias.

Da utilização local das águas pluviais obtém-se inúmeras vantagens associadas á proteção dos recursos hídricos, à redução de custos (que resultam da diminuição do consumo de água do sistema de distribuição público), mas também á diminuição do desperdício de água potável (do sistema publico) para fins que não obrigam á potabilidade da água (rega, lavagens, descarga sanitária, etc.).

A viabilidade económica da utilização de um sistema de aproveitamento de águas pluviais doméstico está dependente da procura (consumo) e da oferta (produção ou compra) da água, ou seja, está dependente de vários fatores como número de ocupantes, questões culturais, precipitação disponível, desperdício doméstico, área de captação e tarifa da água no sistema de distribuição publico (associada normalmente ao custo do saneamento, resíduos sólidos e outros).

1.2 Objetivos

Pretende-se que este trabalho constitua uma abordagem no sentido de estudar a viabilidade económica da implantação e manutenção de um sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) para fins domésticos e em usos que empregam água não potável (rega, lavagens exteriores, lavagem de roupa e descarga de autoclismos).

Primeiro, pretende-se desenvolver um programa em VBA (Visual Basic for Applications) a partir do programador do Excel, que possibilite fazer a simulação do aproveitamento de água pluvial. O programa deve dimensionar a capacidade ideal do reservatório e estudar a viabilidade económica do SAAP.

Posteriormente, o objetivo é utilizar o programa para simular o aproveitamento de água pluvial em diferentes regiões de Portugal Continental (Norte Litoral, Norte Interior, Centro e Sul), de modo a perceber onde a exploração de um SAAP constitui um investimento mais atraente do ponto de vista económico. Em paralelo e a partir do programa também se pretende perceber qual o grau de aproveitamento da precipitação disponível numa determinada localização, em função da capacidade de captação e armazenamento da chuva e do nível de consumo.

1.3 Estrutura da dissertação

O primeiro capítulo faz o enquadramento do tema da dissertação, onde é referido as razões que motivaram este trabalho. Neste capítulo são também referidos os objetivos que se esperam alcançar.

O segundo capítulo diz respeito á revisão bibliográfica que se inicia com a problemática da escassez quantitativa e qualitativa de água no mundo. Segue-se uma descrição histórica do aproveitamento da chuva no passado e posteriormente são apresentados exemplos de edificações atuais em Portugal com utilização de um SAAP. Por fim, é descrito as potencialidades, limitações, constituintes e funcionamento de um SAAP.

No terceiro capítulo é exposta a metodologia utilizada na elaboração do programa *PSAAP*. Primeiro é descrito o programa desenvolvido para simular o aproveitamento de águas pluviais (*PSAAP*). Na descrição do *PSAAP* é visualizado e descrito os dois interfaces do programa e os respetivos dados de entrada e saída, sendo também apresentado o algoritmo e as equações matemáticas utilizadas pelo programa.

No quarto capítulo é aplicado o programa *PSAAP* em duas simulações (simulação A e B), sendo que na simulação A é simulado o abastecimento de um SAAP a uma moradia unifamiliar em cada uma de quatro cidades (Braga, Bragança, Coimbra e Beja) que se localizam em regiões com níveis de precipitação significativamente diferentes. Na simulação B é simulado o abastecimento de um SAAP a um conjunto de quatro moradias unifamiliares em cada uma das quatro cidades já referidas. Em cada uma destas simulações serão obtidos resultados a partir do programa, em função das características das habitações, da capacidade do reservatório do SAAP e das condições (precipitação, evapotranspiração e tarifários) em cada uma das cidades. Em seguida serão explorados e discutidos os resultados obtidos, de forma a perceber os factos relevantes nas análises efetuadas.

Por ultimo, o quinto capítulo diz respeito á conclusão, onde são retiradas ilações do trabalho realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Escassez de água

A água constitui um bem de primeira necessidade, não só para o ser humano mas também para toda a vida no planeta. A água é utilizada em todas as atividades do ser humano, desde a agricultura, indústria, consumo doméstico, etc., sendo por isso um bem muito solicitado á escala global e cada vez mais procurado.

Devido a vários fatores como o crescimento global, o desenvolvimento económico, as alterações climáticas e a poluição, a água está cada vez mais sujeita á escassez quantitativa e qualitativa, obrigando as sociedades atuais a implementar medidas para o aumento da eficiência no uso da água, de forma a reduzir a pressão nos recursos hídricos e a construir um desenvolvimento sustentável.

Enquanto a quantidade de água doce não aumentará no futuro (podendo mesmo diminuir), a sua procura crescerá exponencialmente devido a fatores já mencionados, este facto criará uma disputa dos recursos hídricos por entidades individuais, regionais e nacionais podendo levar a conflitos armados. A agravar esta diferença entre a oferta e a procura de água doce, existirá também a desigualdade na distribuição da água doce no mundo que pode ser consultada na figura 1. O grau de escassez de água doce é medido pelos hidrologistas através da relação da água com a população, considerando assim que $1700\text{m}^3/\text{pessoa}$ é o limite mínimo para responder aos consumos das várias atividades humanas, enquanto valores abaixo de $1000\text{m}^3/\text{pessoa}$ representa uma situação de escassez de água e mais grave serão valores inferiores a $500\text{m}^3/\text{pessoa}$ que constitui um estado de escassez absoluta (ONU, 2006).

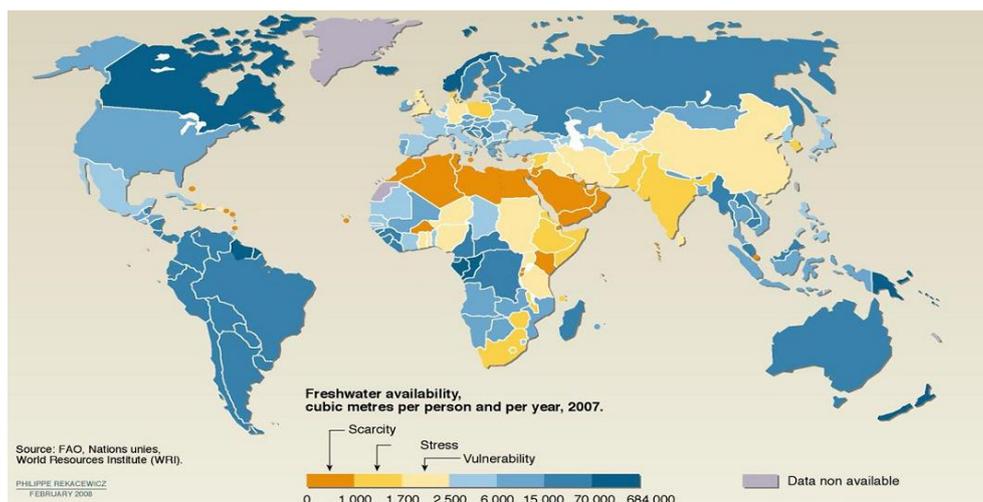


Figura 1: Disponibilidade de água doce em metros cúbicos por pessoa e por ano (WRI, 2006)

Devido á escassez de água em crescendo em muitas regiões do globo, a distribuição de água potável constitui um enorme problema de difícil resolução para a humanidade, no presente e no futuro.

2.2 Aproveitamento das águas da chuva

2.2.1 História do aproveitamento da chuva

Como referido anteriormente, o aumento na eficiência do uso da água tornou-se obrigatório para as sociedades modernas, de forma a promover um desenvolvimento sustentável. Uma das soluções passa pelo aproveitamento da água da chuva, que é já uma realidade em alguns países. Esta prática não é recente, sendo utilizada por várias civilizações há milhares de anos, tais como Incas, Maias, Astecas, China ou Sri Lanka que utilizavam essa água para diversos usos. Por exemplo nas vilas romanas, as águas pluviais eram recolhidas pelo telhado e armazenada para uso domestico, inclusivamente para beber (Gnadlinger, 2000). Outro exemplo ainda visível no dia de hoje são os Abanbars (figura 2) no Irão, que são um sistema antigo e comunitário de armazenamento de água das chuvas.

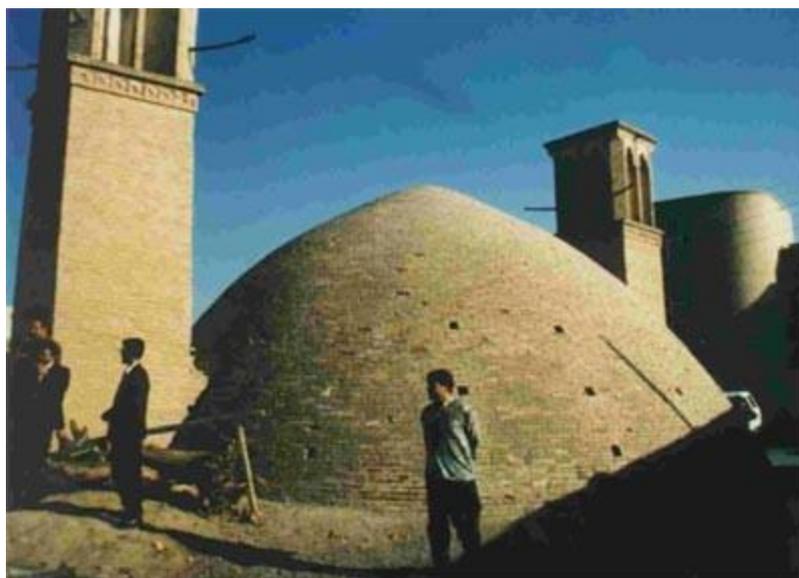


Figura 2: Sistema de armazenamento de águas pluviais comunitário no Irão (Gnadlinger, 2000)

Os Maias nas regiões montanhosas utilizavam sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais (SAAP) subterrâneos que podem ser vistos hoje em dia na cidade de Oxkutzcab, localizada nas encostas de montanhas (Gnadlinger, 2000). Nessa cidade, há mil anos a água era fornecida por reservatórios de águas pluviais escavados no solo calcário e revestido com reboco impermeável chamados chultuns (figura 3).

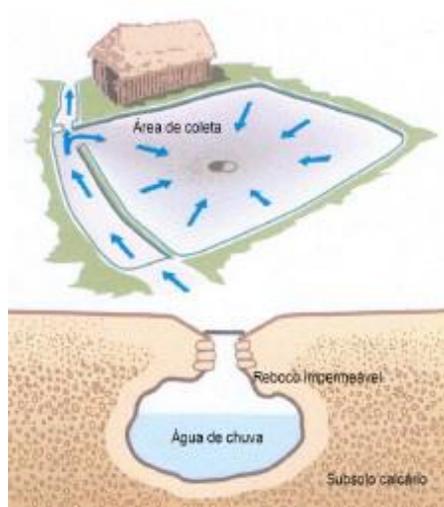


Figura 3: Chultun no século X (Gnadlinger, 2000)

Em Israel na cidade de Massada, classificada como património mundial da humanidade, existiu em tempos uma luxuosa fortaleza, que para ser autossuficiente foi necessário escavar na pedra reservatórios gigantescos para volumes superiores aos 40 milhões de litros como é visível na figura 4 (Tomaz, 2003).

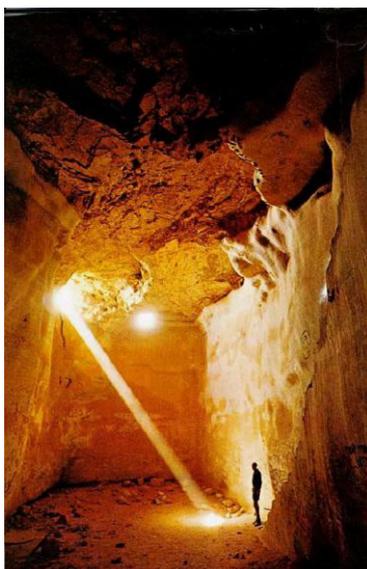


Figura 4: Reservatório escavado em Massada (Tomaz, 2003)

Além destes exemplos aqui apresentados, existem muitos outros casos ao longo da história que demonstram que as águas das chuvas constituíram um fator essencial na sobrevivência de vários povos. Mas com o desenvolvimento socioeconómico, estas práticas foram sendo esquecidas, pois foram substituídas por sistemas de abastecimento público modernos de qualidade superior aos antigos SAAP.

Atualmente existem países onde se pratica o aproveitamento das águas da chuva de uma forma significativa, como Japão, Alemanha, Singapura, EUA e Austrália. Dois casos de sucesso que mais se tem destacado nesta prática, têm sido o Japão e a Alemanha (Sacadura, 2011), onde os estádios, ginásios e outros grandes edifícios utilizam as suas enormes coberturas como áreas de captação das águas pluviais, de modo a empregarem-na por exemplo nas descargas em retretes, rega de jardins/parques próximos ou abastecimento de lagos e espelhos de água.

Historicamente em Portugal também há casos da utilização de aproveitamento da água da chuva, como se pode verificar ainda hoje a existência de reservatórios em alguns castelos, de

forma a constituir uma reserva fundamental no caso de cerco às muralhas (Sacadura, 2011). Alguns dos castelos que constituem exemplo são o castelo dos templários e convento de Cristo em Tomar e o castelo de Silves.

2.2.2 Projetos em Portugal

Atualmente já existe em Portugal alguns projetos de aproveitamento da chuva, sendo de realçar alguns pela sua dimensão. Um destes projetos está situado em Leça do Balio (Matosinhos) e é constituído por 101 habitações. Nesse empreendimento utiliza-se a água da chuva em descarga de autoclismos e para rega de jardins. A captação da água é feita através da cobertura dos edifício e posterior transporte desta para um reservatório em betão armado. Um sistema de bombagem faz a elevação da água para pequenos reservatórios no sótão que distribuem a água pelo edifício de forma gravítica (Bertolo, 2006).



Figura 5: SAAP em Leça do Balio

Fonte: (Bertolo, 2006)

Na Torre de controlo do aeródromo de Castelo Branco existe um SAAP para abastecer os WC nos pisos 0 e 1. O reservatório (7 m^3) está localizado no 4º piso e recebe água da cobertura da torre com cerca de 120 m^2 . Quando o reservatório atingir um nível mínimo, este SAAP têm um sistema de abastecimento automático que alimenta o reservatório com água proveniente da rede pública.

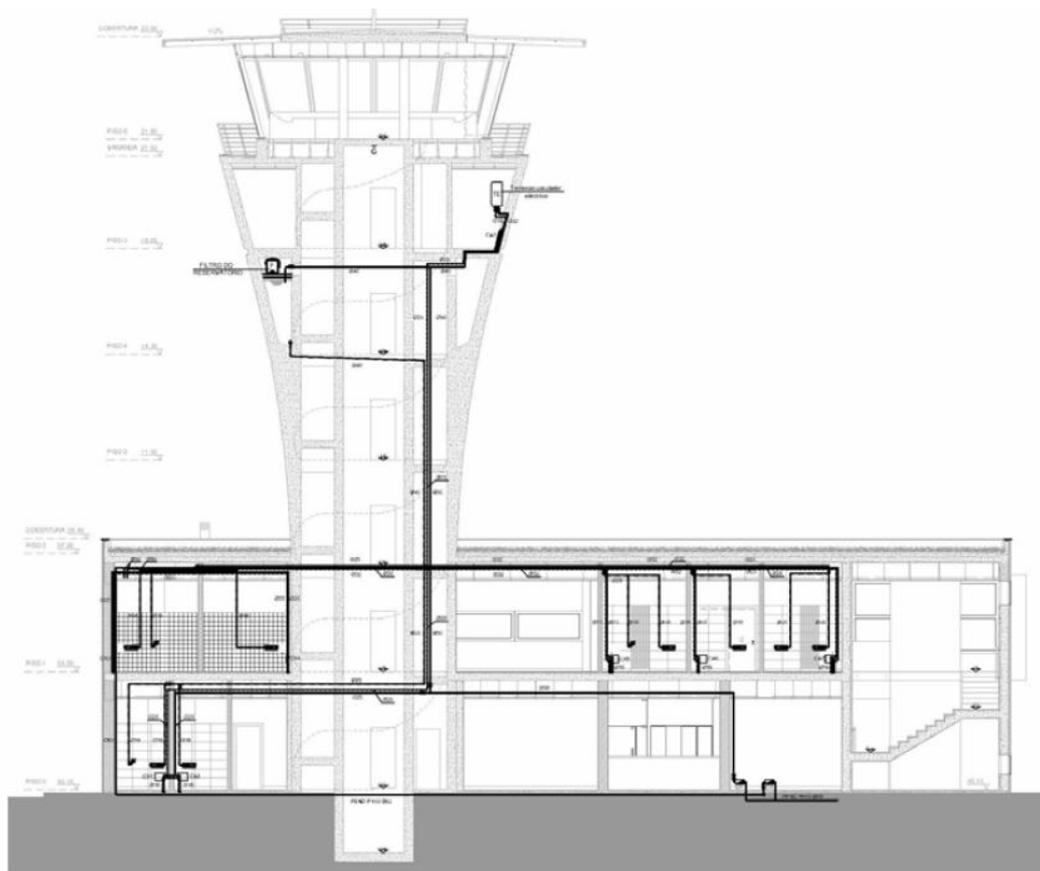


Figura 6: Esquema do SAAP na torre de controlo.

Fonte: (Bertolo, 2006)

2.3 Aspetos técnicos e legais - Portugal

Em 2005 foi editado no Diário da Republica o relatório relativo ao Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) (Baptista, et al., 2001) que propôs medidas para o aproveitamento das águas pluviais para alguns fins não potáveis, sendo elas:

- Reutilização ou uso de água de qualidade inferior;
- Utilização da água da chuva em jardins e similares;
- Utilização da água da chuva em lagos e espelhos de água;
- Utilização de água da chuva em campos desportivos, golf e outros espaços recreativos;

Posteriormente, para clarificar algumas medidas propostas pelo PNUEA, a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP) desenvolveu duas especificações técnicas, a ETA 0701 (Afonso, et al., 2009) e ETA 0702 (Afonso et al., Certificação de

Sistemas de Aproveitamento de águas Pluviais, 2009) Estas duas especificações técnicas foram desenvolvidas com a colaboração de profissionais provenientes de Universidades de alto prestígio (Aveiro, Coimbra e Porto), constituindo portanto uma fonte credível.

A ETA 0701 indica a necessidade de um projeto técnico segundo a portaria nº 701-H/2008, de 29 de Julho e o cumprimento de regulamentação nacional ou europeia aplicável a estas instalações.

Já a ETA 0702 indica requisitos para a certificação dos SAAP, construídos segundo a ETA 0701. Segundo a ETA 0702, os requisitos para certificação de um SAAP devem ser:

- Certificação do Projeto;
- Intervenção de um Instalador Certificado;
- Certificação da Instalação;

2.4 Qualidade das águas pluviais

Apesar de no passado a água da chuva ser considerada potável e utilizada para todos os fins (inclusivamente para ser consumida), o mesmo não se verifica atualmente, devido principalmente ao desenvolvimento industrial.

A contaminação da água pluvial pode existir em três fases distintas (Sacadura, 2011):

- Chuva atmosférica;
- Chuva durante a passagem pela área de captação e sistema de dreno (canalizações);
- Água acumulada no reservatório de armazenamento;

Alguns fatores influenciam determinadamente a qualidade da água da chuva, como a localização (litoral, zonas rurais ou urbanas), materiais constituintes do SAAP, tipo e quantidade de vegetação, condições meteorológicas (vento, intensidade e duração da precipitação), época do ano e a proximidade e tipo de fontes poluidores.

As chuvas, principalmente nas grandes metrópoles, podem conter vários poluentes dissolvidos, como por exemplo o dióxido de carbono, compostos de azoto e enxofre que dão

origem á chamada chuva ácida. Durante a captação e armazenamento das águas pluviais, também existe contaminação química, física e biológica dessas águas devido á presença de poeira/sujidade, excrementos de pássaros e dissolvência de contaminantes dos próprios materiais do SAAP (Afonso, et al., 2009). Os poluentes podem também acumular-se no reservatório, levando à criação de condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos.

Segundo a especificação técnica ETA 0701 (Afonso, et al., 2009) devem ser tomadas algumas medidas, de forma a salvaguardar aspetos qualitativos na utilização de águas pluviais. Algumas dessas medidas são:

- Análises à água do reservatório até um período máximo de 6 meses;
- Para as utilizações previstas nesta especificação técnica, aconselha-se a realização de tratamento básico de filtração (filtro a montante do reservatório) e sedimentação no reservatório.
- A lavagem de pavimentos e rega não implica normalmente qualquer tratamento complementar;
- A água da chuva apenas pode ser utilizada para lavagem de roupa quando a temperatura da água atingir pelo menos 55°C;
- A utilização de água da chuva sem tratamento em descargas de autoclismo, apenas deve ser admitida quando a água respeite, no mínimo, as normas de qualidade de águas balneares, nos termos da legislação nacional e das Diretivas europeias aplicáveis (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1/8, que transpõe a Diretiva n.º 76/160/CEE, do Conselho, de 8/12).
- Na situação referida no item anterior, não sendo cumpridos os valores máximos admissíveis estabelecidos para os parâmetros microbiológicos, deve prever-se uma desinfeção da água por ultravioletas, cloro ou outro processo adequado. No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfeção, recomenda-se que o cloro residual livre se situe entre 0,2 e 0,6 mg/l.
- Nas regiões onde existe libertação significativa de pólen, deve conceber-se o reservatório e o overflow de modo a que se verifiquem transbordamentos regulares que permitam o arrastamento da camada flutuante que se forma nestas situações

2.5 Vantagens VS Desvantagens

2.5.1 Vantagens dos SAAP

A vantagem mais óbvia para o consumidor individual será a poupança com a não utilização da água de abastecimento público, que será substituída em alguns fins pela água produzida pelo SAAP.

As alterações climáticas (AC) constituem um problema que se tem vindo a agravar recentemente, levando a situações de cheias e secas ao longo do globo. Estes desastres têm consequências na forma quantitativa e qualitativa da água, limitando o acesso a água potável por parte de inúmeras populações. Uma medida de mitigação das consequências das AC pode ser a utilização do SAAP em larga escala, de forma a constituir reservas de água fundamentais nos casos de secas pontuais ou constantes. A nível ambiental, traria ainda uma alternativa benéfica, ao substituir água superficial ou subterrânea na agricultura e indústria, diminuindo a pressão crescente sobre os recursos hídricos (UNEP, 2009).

Uma outra vantagem da utilização de SAAP é a contribuição para a redução da emissão de gases poluentes e substâncias utilizadas decorrentes do processo de tratamento de água para abastecimento público. Segundo o quarto relatório de avaliação do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sobre mudanças climáticas (IPCC, 2007), o uso generalizado de SAAP e outras tecnologias semelhantes, podem levar à redução de emissões de CO² na ordem das 6 Giga toneladas/ano em 2030.

Devido às cidades atuais terem o solo largamente impermeabilizado, a infiltração da água diminui drasticamente, levando ao aumento dos caudais escoados no sistema de drenagem de águas pluviais. Na maioria das cidades o sistema de drenagem de águas pluviais está ligado ao sistema de esgotos que tem que ser por isso sobredimensionados. Além disso, a água pluvial ao ser misturada com os esgotos é direcionada para as estações de tratamento de águas residuais (ETAR), o que leva a maiores encargos no tratamento dessa água que não necessitava de ser tratada. Em alguns casos nas ETAR, quando os caudais afluentes são superiores à capacidade de tratamento da ETAR, as águas em excesso que chegam através do

sistema de drenagem, são despejadas diretamente no meio ambiente levando á contaminação do mesmo.

2.5.2 Desvantagens dos SAAP

O facto de a chuva ser uma fonte limitada e incerta de água constitui o maior inconveniente para a utilização de SAAP. Outros inconvenientes para a cimentação dos SAAP nas nações desenvolvidas são (Quadros, 2010):

- Falta de informação quanto aos custos de implantação e manutenção;
- Falta de informação acerca deste tipo de sistema pelo publico em geral;
- Dificuldade em manter níveis de qualidade da água aceitáveis;
- Custos do consumo de água do sistema público são maioritariamente baixos;
- Capacidade limitada quanto á quantidade de água pluvial passível de ser armazenada;
- Quantidades excessivas de água pluvial captada pelos SAAP levam á diminuição dos caudais das linhas de água que são alimentados por essa água das chuvas.

2.6 Caracterização de um sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP)

Um SAAP consiste num sistema construído de forma a captar a chuva através de alguma superfície e direccionar essa água para um reservatório, de forma a poder ser utilizada posteriormente para diversos fins.



Figura 7: Esquemática de um SAAP (Ambientel, 2011)

Normalmente, por uma questão de facilidade a superfície utilizada para captar a água das chuvas são as coberturas do próprio edifício onde vai ser implantado o SAAP. Nesse caso, a chuva depois de lá cair será recolhida por caldeiras (com ou sem uma malha para filtração de folhas, ramos, etc.) e direcionada para tubos de drenagem, onde existe um outro sistema de filtração mais apurado, de maneira a retirar alguns sedimentos e detritos, antes de a água alcançar o reservatório.

Um SAAP pode ser implantado durante a construção do edifício, mas também pode ser instalado num edifício já construído, sendo que em cada um dos casos deve encontrar-se a melhor solução para a sua instalação e funcionamento. Cada SAAP tem uma constituição base similar, mas os componentes escolhidos dependem de vários fatores:

- Precipitação
- Área de captação
- Espaço disponível
- Nível de consumo de água não potável

- Tipo de utilizações da água não potável
- Aspectos económicos

Os principais componentes que constituem um SAAP podem ser divididos em (Afonso, et al., 2009):

- **Superfície de captação:** a superfície onde cai a chuva, que pode ser um telhado (preferencialmente) ou pavimento;
- **Sistema de drenagem:** dispositivos que direcionam a água até o reservatório, sendo constituído por algerozes, caleiras e tubos de queda;
- **Dispositivo de desvio da primeira chuvada:** pequeno reservatório que desvia a água da primeira chuvada que faz a primeira “lavagem do telhado”;
- **Dispositivos de filtração:** faz a remoção de detritos da água;
- **Reservatório:** armazena a água pluvial para posterior utilização;
- **Sistema de bombagem:** Possibilita o transporte de água a pontos inacessíveis por gravidade.
- **Rede de distribuição:** Faz o transporte da água do reservatório até ponto de consumo, por gravidade ou bombagem;
- **Tratamento da água:** é obrigatório quando a água se destina a uso potável, o que não é o caso neste trabalho;
- **Suprimento:** Abastecimento do reservatório através da rede pública, quando este estiver vazio.

Além dos principais componentes, existem acessórios também importantes no funcionamento de um SAAP (Afonso, et al., 2009), tais como:

- Conjunto de sucção flutuante
- Entrada anti-turbulência
- Sifão

2.6.1 Descrição de cada componente

2.6.1.1 Superfície de captação

A área da superfície de captação é fundamental para a viabilidade de um SAAP, já que quanto maior for essa área, maior é o volume de água captado.

A qualidade da água captada no telhado é influenciada pelo material constituinte do telhado, assim como as substâncias que lá se depositam. Para evitar a deterioração da água pluvial ao passar pelo telhado devem ser tomadas algumas medidas como lavar o telhado regularmente, podar as árvores sobre o telhado e limitar o acesso a animais à cobertura. A lavagem do telhado é especialmente importante no fim da época seca, quando acumula maior poeira e outras substâncias.

O material que constitui a cobertura é um fator importante nas perdas, sendo por isso relevante a escolha de um material com um coeficiente de escoamento elevado (Afonso, et al., 2009). Os materiais têm associados diferentes coeficientes de escoamento, relacionados com a absorção de água, sendo que esse coeficiente representa a relação entre o volume de água aproveitado pelo SAAP e o volume de água precipitado.

2.6.1.2 Sistema de drenagem

Os componentes responsáveis pelo transporte da água desde a superfície de captação até ao reservatório são primeiramente as caldeiras e em seguida os tubos de queda e os algerozes. Esses componentes de transporte têm que estar corretamente dimensionados de forma a escoar todo o caudal afluyente e transporta-lo ao reservatório. Para uma primeira filtração de detritos de maior dimensão, podem ser instaladas umas grelhas em toda a extensão das caldeiras. As partículas de menores dimensões serão filtradas posteriormente num segundo sistema de filtração.



Figura 8: Grelha na calha para filtração de materiais grosseiros (RH, 2010)

2.6.1.3 Dispositivo de desvio do escoamento inicial

Este dispositivo tem por objetivo o desvio da água da chuva que cai no telhado após um período de seca, durante o qual se acumularam substâncias que podem diminuir a qualidade da água. Segundo a especificação técnica ETA 0701 (Afonso, et al., 2009), o volume que deve ser desviado, pode ser determinado de duas maneiras:

- Baseado num critério de tempo: em que se deve desviar a água que caiu durante os 10 minutos iniciais da chuvada ou durante um tempo inferior (até um mínimo de 2 minutos), quando o intervalo entre precipitações não for superior a 4 dias.
- Baseado na área de cobertura e altura de precipitação pré-definida (superior a 0,5mm), dependendo das condições locais. Esta será a forma utilizada no programa PSAAP para a obtenção do volume inicial a ser desviado.

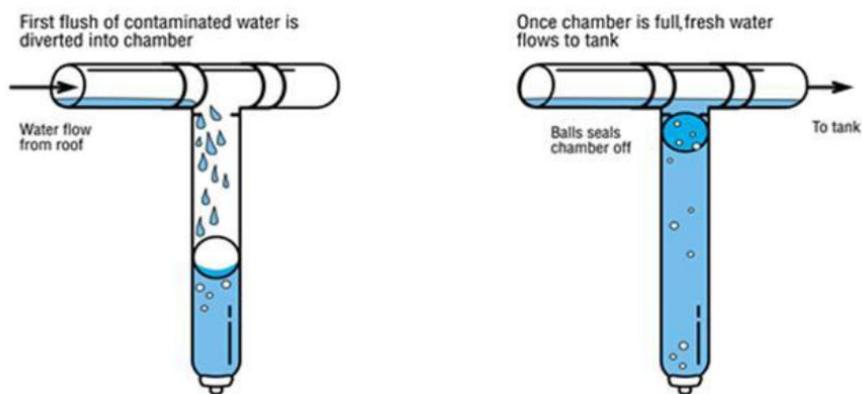


Figura 9: Dispositivo de desvio do escoamento inicial (RH, 2010)

2.6.1.4 Dispositivos de filtração

Antes da água pluvial entrar no reservatório de armazenamento terá que passar por um sistema de filtração de substâncias de pequena dimensão. A filtração de detritos leva à perda de alguma água (água suja), logo a filtração está associada à diminuição da quantidade de água armazenada no reservatório. O filtro terá que ser limpo no mínimo, no princípio e no fim da época das chuvas para garantir o seu bom funcionamento. Todos os filtros têm uma eficiência associada, sendo essa eficiência a razão entre o volume de água que é filtrada e chega ao reservatório e o volume de água que sai do SAAP para o exterior. Normalmente o filtro tem uma eficiência hidráulica na ordem dos 90, ou seja 90% da água chega ao reservatório (Afonso, et al., 2009).

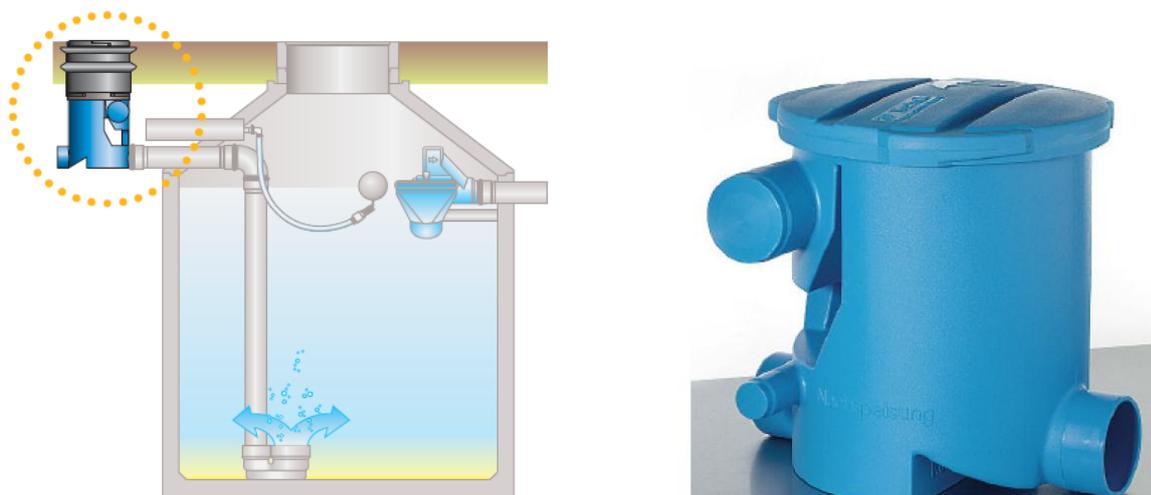


Figura 10: Filtro de água pluvial (Ecoagua, 2011)

2.6.1.5 Reservatório de armazenamento

Os reservatórios de armazenamento podem estar enterrados, ao nível do solo ou elevados dependendo a sua localização do espaço disponível, da superfície de captação (telhado ou pavimento), do tipo de distribuição de água pretendido (gravítico ou por bombagem) ou do material do qual são constituídos (betão armado, fibra de vidro, aço, PEAD, etc.). Para situações em que o caudal afluyente ao reservatório supere o volume máximo do reservatório, a água terá que ser drenada para o sistema público de drenagem de águas pluviais (sifão com válvula backflow). Por outro lado, quando a água do reservatório não for suficiente para suprimir a demanda de água, essa água em falta terá que ser fornecida através do sistema público de abastecimento (suprimento) (Ecoagua, 2011). Os reservatórios situados em locais com baixas temperaturas devem ser enterrados e as tubagens isoladas de forma a prevenir o congelamento da água armazenada. No caso de os reservatórios serem constituídos por PEAD ou por outros materiais plásticos, deve-se seguir eventuais recomendações do fabricante de forma a impedir possíveis deformações estruturais. De forma a garantir a qualidade da água, o reservatório deve estar protegido da luz solar, ventilado e ter os cantos arredondados para facilitar a manutenção e evitar o desenvolvimento de microrganismos (Afonso, et al., 2009). O reservatório deve facilitar a inspeção e manutenção segundo as normas de segurança. Quanto ao volume do reservatório, deve ser escolhido com cuidado, já que é o componente mais caro de um SAAP. Sendo o volume dependente de vários fatores: climatérico, de consumo e da própria habitação, o seu correto dimensionamento implica alguma complexidade. O volume total do reservatório poderá ser consideravelmente maior que o volume útil, dependendo por exemplo dos equipamentos no seu interior.



Figura 11: Reservatório em PEAD para água pluvial (Roth, 2009)

2.6.1.6 Sistema de bombagem

A utilização de bombas só acontece quando é necessário a elevação da água desde o reservatório para cotas superiores, como é o caso de reservatórios enterrados. Para garantir poupança energética, a bomba só deve ligar quando existe consumo da água e desligar quando o consumo termina. As instalações de bombagem devem seguir a regulamentação em vigor, devendo a bomba ser eficientemente dimensionado segundo as condições locais. Quando a bomba estiver no exterior do reservatório, esta deve respeitar os limites de ruído e deve estar suficientemente protegida de condições climáticas prejudiciais. Quando a bomba escolhida deverá se utilizar um dispositivo de sucção flutuante para evitar a aspiração de sedimentos ou partículas flutuantes. Deve-se ainda facilitar a remoção da bomba submersível para manutenção. A bomba escolhida para a constituição do SAAP idealizado na ferramenta PSAAP foi a MQ3-45 da Grundfos (Anexo B). A escolha deste equipamento foi realizada a partir de uma aplicação (WebCAPS) no endereço eletrónico da Grundfos (Grundfos, 2012), que escolhe a bomba adequada a partir dos dados introduzidos. Este equipamento é indicado segundo o fabricante, para a bombagem de água pluvial. A MQ3-45 é um sistema completo pois inclui bomba, depósito de membrana, transdutor de pressão, sensor de caudal,

controlador e válvula de retenção. O controlador da bomba permite que a bomba arranque de forma automática quando existe consumo de água e pare quando o consumo termina. O controlador também protege a bomba no caso de avarias. Este sistema permite também a possibilidade de reposição automática, ou seja se for acionado algum alarme de funcionamento em seco ou de temperatura excessiva, a bomba para e tenta reiniciar a cada 30 minutos durante 24h. Como se trata de um equipamento auto-ferrante, a bomba consegue bombear água a partir de um ponto abaixo da própria bomba, sendo isto particularmente importante no caso de um reservatório enterrado. A bomba como tem incorporado um reservatório de pressão, permite uma redução no número de arranques e paragens no caso de fugas no sistema de tubagem, diminuindo assim o desgaste da bomba. Segundo o fabricante, a MQ3-45 não necessita de manutenção.



Figura 12: Bomba MQ3-45 (Grundfos, 2012)

2.6.1.7 Rede de distribuição de água pluvial

Segundo a ETA 0701 (Afonso, et al., 2009) as tubagens da rede não potável devem ser dimensionadas segundo os mesmos critérios que o dimensionamento da rede potável, de forma a atingir as mesmas exigências de funcionamento e conforto. A rede não potável deve ser visualmente diferenciada da rede potável, através da cor, fita adesiva ou com texto “Água não potável”.



Figura 13: Tubagem ppr (Polipropileno reticulado) (Coprax, 2012)

2.6.1.8 Suprimento

No caso de escassez de água pluvial, terá que existir uma fonte alternativa para alimentar os usos de água pluvial. Sendo assim é necessário uma ligação da rede pública ao reservatório do SAAP, para que quando este estiver vazio, possa assegurar o abastecimento. Deve-se obrigatoriamente evitar conexões cruzadas entre a rede não potável e a rede potável, de forma a não contaminar a rede potável. Como o suprimento está ligado diretamente ao reservatório, deverá estar a uma distância não inferior a 30 mm do nível máximo da água no reservatório (Afonso, et al., 2009).

2.6.1.9 Conjunto de secção flutuante

Como a água é mais límpida perto da superfície e com mais partículas suspensas no fundo do reservatório, a bomba deve bombear de pontos longe do fundo, mas para garantir que isso aconteça é necessário cumprir o disposto na ETA 0701 (ligação do dispositivo de sucção a flutuadores para evitar o transporte de sedimentos) (Afonso, et al., 2009).

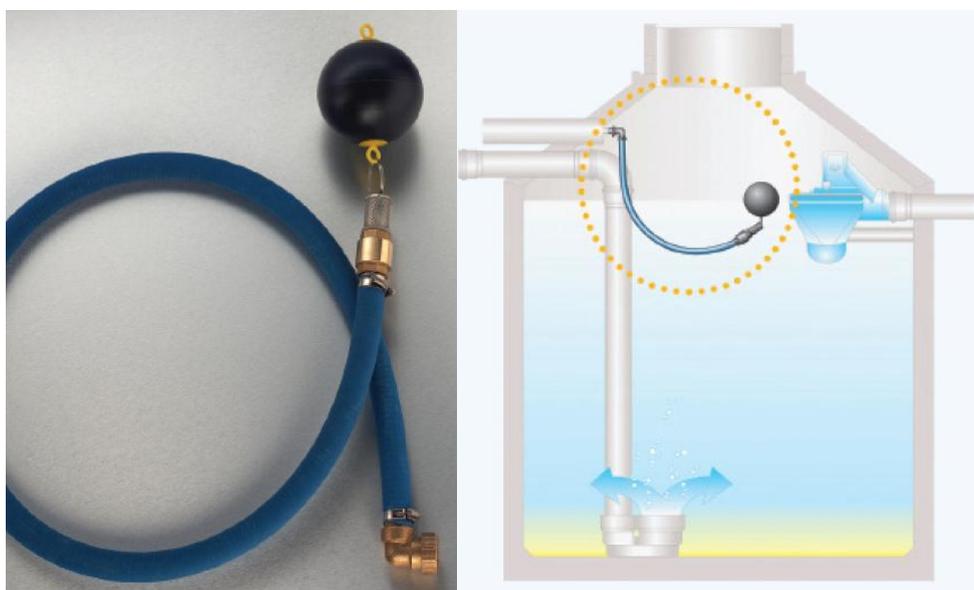


Figura 14:Conjunto de sucção flutuante (Ecoagua, 2011)

2.6.1.10 Entrada anti-turbulência

A entrada anti-turbulência é um elemento recomendado pela ETA 0701 (Afonso, et al., 2009) e tem como objetivo receber a água vinda do filtro e fazê-la sair no sentido ascendente, não revolvendo os sedimentos no fundo do reservatório.

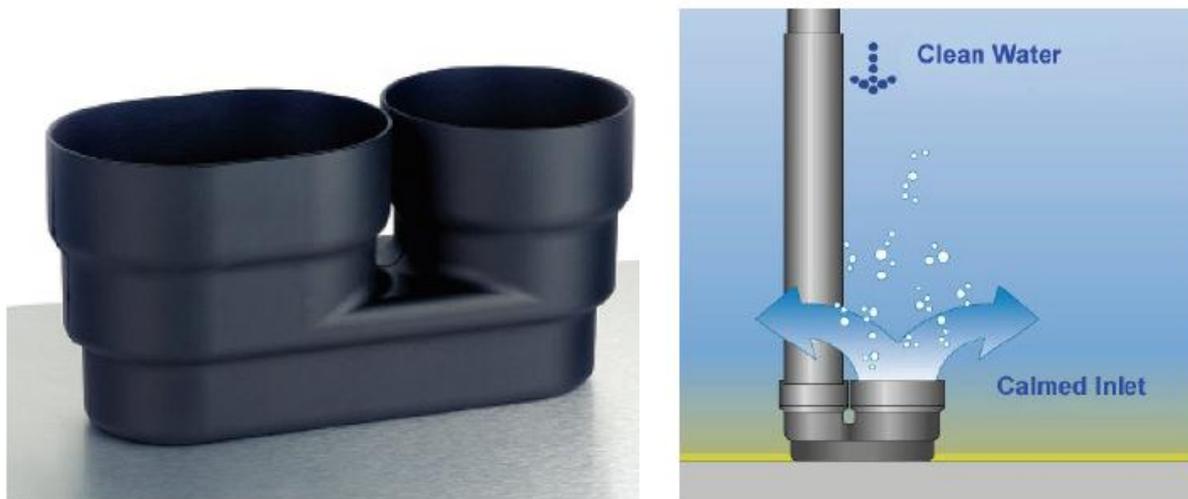


Figura 15: Entrada anti-turbulência (Ecoagua, 2011)

2.6.1.11 Sifão

O sifão garante a descarga da água pluvial em excesso no reservatório. Periodicamente deve-se garantir que o reservatório esteja completamente cheio, de modo ao sifão limpar a camada superficial da água do reservatório, retirando partículas muito pequenas como pólen (Afonso, et al., 2009).

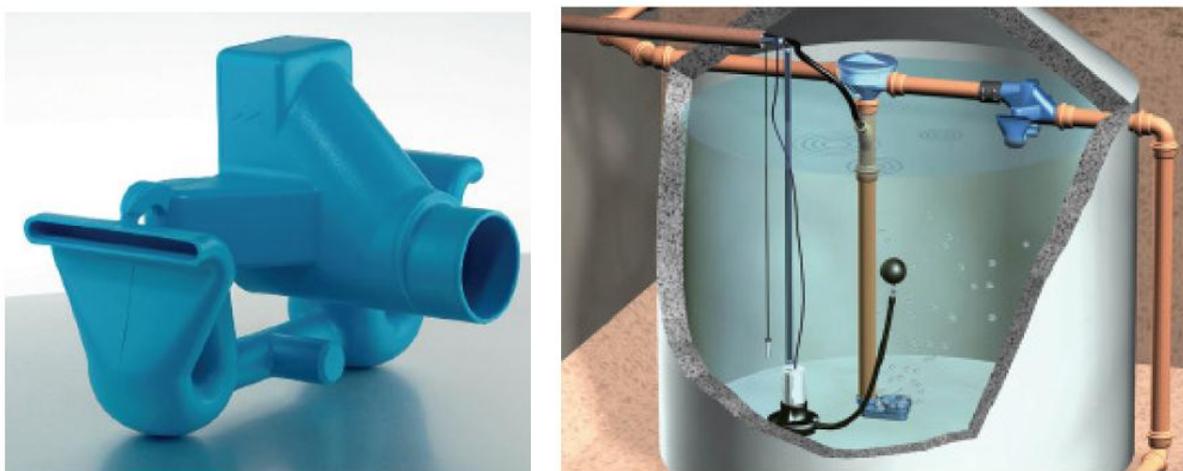


Figura 16: Sifão (Ecoagua, 2011)

2.6.2 Manutenção dos componentes do SAAP

Pondera-se adotar como recomendável para manutenção do SAAP o disposto na ETA 0701 (Afonso, et al., 2009), caso não haja avarias ou condições locais que recomendem maior frequência. As frequências mínimas de manutenção segundo a ETA 0701 são as seguintes:

Componentes	Frequência da manutenção
Filtros	Inspeção e limpeza semestrais
Sistema de desvio do <i>first flush</i>	Inspeção semestral e limpeza anual (se automático) 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	<i>De acordo com as indicações do fabricante</i>
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

Figura 17: Frequência da manutenção aos componentes de um SAAP (Afonso, et al., 2009)

As tarefas semestrais de manutenção devem iniciar e finalizar na época das chuvas.

As operações de manutenção podem ser executadas pelos utilizadores, excetuo no caso do sistema de bombagem que deve ter intervenção de técnico especializado.

2.7 Programas já existentes na simulação do aproveitamento da chuva

Na pesquisa de informação efetuada, encontrou-se alguns simuladores de origem portuguesa e estrangeira. Um dos simuladores bastante difundidos na internet é o RainCycle que constitui uma ferramenta bastante completa, pois permite analisar a exploração de um SAAP do ponto de vista do funcionamento mas também do ponto de vista económico (SudSolutions, 2009). De origem Portuguesa encontrou-se duas ferramentas, uma desenvolvida na Universidade Técnica de Lisboa (Oliveira, 2008) e outra desenvolvida na Universidade do Porto (Bertolo,

2006). A ferramenta desenvolvida na Universidade Técnica de Lisboa faz uma análise diária do aproveitamento da chuva, da qual se obtêm informação acerca do volume de chuva aproveitado em função da capacidade de armazenamento, mas também consegue elaborar uma análise económica simplificada. O programa criado na Universidade do Porto faz a análise do aproveitamento da chuva, calculando a capacidade do reservatório que conduzirá a maior eficiência do SAAP, ou seja ao aproveitamento do maior volume de precipitação possível, de forma a satisfazer o melhor possível o consumo de água na habitação. Estes simuladores foram uma referência na elaboração do programa *PSAAP* descrito neste trabalho.

3 METODOLOGIA NO DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL (PSAAP)

3.1 Interface para o utilizador

Os PSAAP têm como objetivo dimensionar a capacidade do reservatório de um SAAP, o qual depende:

- Precipitação local;
- Evapotranspiração local;
- Área e material da superfície de captação;
- Tarifa da água da rede pública;
- Tarifa do saneamento e resíduos sólidos (quando associados ao consumo de água);
- Consumo de água na habitação;
- Componentes constituintes do SAAP;

A ferramenta *PSAAP* foi desenvolvida através do programa Excel e utilizando a linguagem de programação Visual Basic for Applications (VBA). Ao abrir a ferramenta, é apresentado ao utilizador um interface para introdução dos dados relativos á habitação. O interface apresentado automaticamente com a iniciação do programa pode ser visualizado através da figura 18.

Dados

The screenshot displays the main interface of the PSAAP software, titled "Sistema de captação de águas pluviais". It is divided into two main sections: "Introdução de dados" and "SAAP".

Introdução de dados: This section contains various input fields for user data, organized into two columns. The left column includes:

- Área de captação [m²]
- Área de pavimento [m²]
- Área de jardim [m²]
- Altura máxima [m]
- Capacidade máxima [L]
- Canalização no edifício [m]
- Tarifa média da água [€/m³]
- Tarifa média do saneamento [€/m³]
- Tarifa média de resíduos sólidos [€/m³]
- Tarifa média da electricidade [€/Kwh]
- Outros consumos [L/d]

 The right column contains grouped options:

- Localização:** Radio buttons for "Norte litoral", "Norte interior", "Centro", and "Sul".
- Número:** Input fields for "Habitantes" and "Automoveis".
- Lavagens mensais:** Input fields for "Pavimento" and "Automoveis".
- Reservatório:** Radio buttons for "Enterrado" and "Não enterrado".

SAAP: This section contains three input fields: "Capacidade reservatório [L]", "Investimento inicial [€]", and "PRI".

At the bottom of the interface, there are four buttons: "Calcular", "Sair", "Gráficos", and "Apagar".

Figura 18: Interface principal da ferramenta PSAAP

Resultados

Para além do interface principal, existe outro interface secundário para visualização dos gráficos obtidos. Este segundo interface é visível ao pressionar o botão “Gráficos”, e pode ser visto na figura 19.

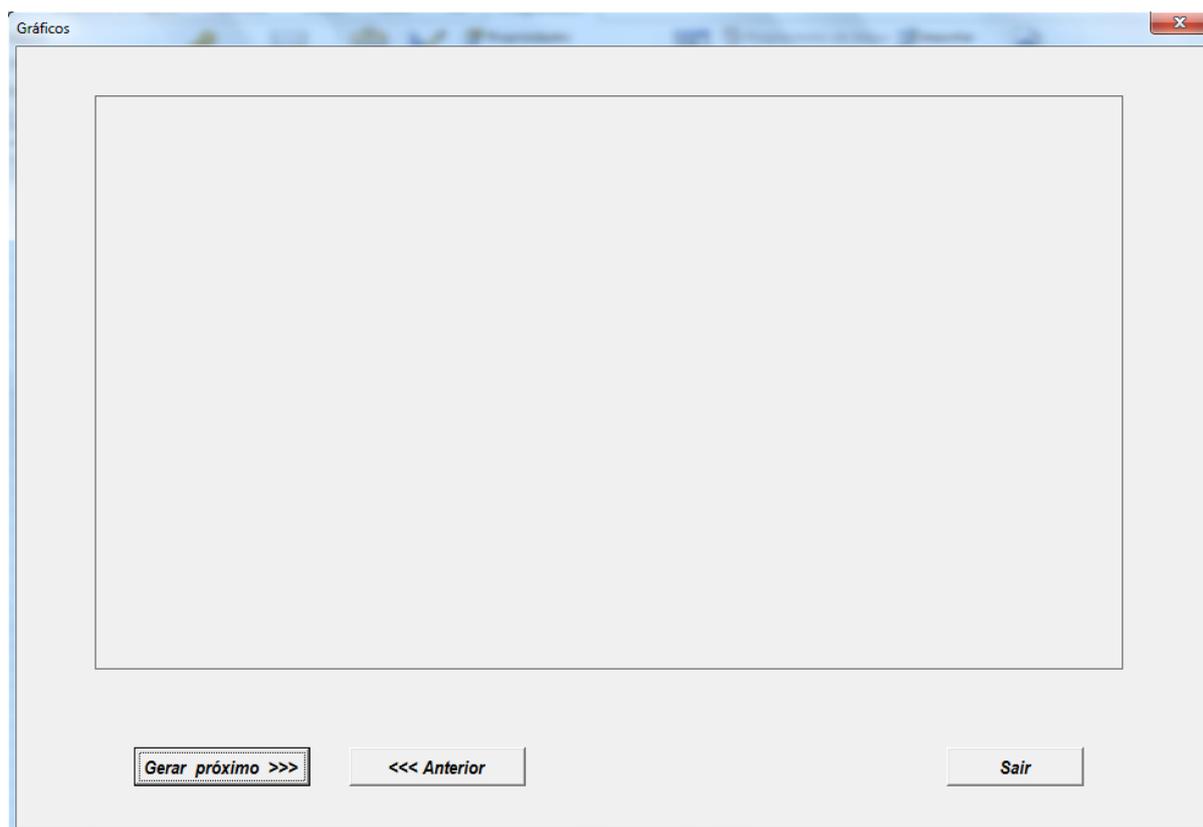


Figura 19: Interface secundário para visualização dos gráficos obtidos pelo *PSAAP*

3.1.1 Dados de entrada

No interface principal, os dados de entrada que devem ser introduzidos nas caixas de texto selecionadas pela cor verde na figura 18, são:

- Localização da habitação;
- Número de habitantes;
- Número de automóveis;
- Número lavagens mensais aos pavimentos;
- Número de lavagens mensais aos automóveis;
- Reservatório enterrado ou á superfície;
- Área de captação (m²);
- Área de pavimento (m²);
- Área de jardim (m²);
- Altura máxima de elevação da água (m);

- Capacidade máxima possível para o reservatório (Litros);
- Tarifa média da água na rede pública (€/ m³);
- Tarifa média do saneamento (€/ m³);
- Tarifa média de resíduos sólidos (€/ m³);
- Tarifa média da energia elétrica da EDP (€/ kwh);
- Outros consumos diários para além dos contemplados pelo *PSAAP* (Litros/dia);

3.1.2 Resultados

Os resultados são obtidos pela parte do interface principal que está selecionado pela cor azul na figura 18.

Os dados de saída do programa *PSAAP* apresentados diretamente no interface principal são:

- Capacidade do reservatório recomendada;
- Período de recuperação do investimento (PRI) do SAAP constituído por um reservatório com a capacidade recomendada e restantes equipamentos e mão-de-obra;
- Investimento inicial necessário para a implantação do SAAP constituído por um reservatório com a capacidade recomendada e restantes equipamentos e mão-de-obra;

Em conjunto com os dados mostrados no interface principal, existe a possibilidade de consultar graficamente outros dados de saída no interface secundário. Esses dados são acerca do SAAP com as diferentes capacidades de armazenamento analisadas. Nesses gráficos existe as seguintes informações sobre o SAAP com cada uma dessas capacidades:

- PRI do SAAP;
- Volumes médios anuais de água:
 - Volume médio anual total consumido na habitação;
 - Volume médio anual em excesso no reservatório para descarregar;
 - Volume médio anual captado pela cobertura para armazenamento;
 - Volume médio anual de água pluvial utilizada na habitação;
 - Volume médio anual da rede pública utilizado na habitação;
- Eficiência quanto ao consumo de água pluvial;

- Eficiência quanto ao armazenamento de água pluvial;
- Custo, benefício e saldo do SAAP, obtidos para um período de exploração de dez anos;

Para visualizar os resultados, o utilizador deve pressionar o botão “calcular”, obtendo assim os resultados diretamente no interface principal e pressionar o botão “gráficos” para abrir o interface secundário com gráficos.

3.2 Ambiente Excel

Neste capítulo é mostrado o aspeto das folhas de “Excel” que fazem parte da ferramenta *PSAAP*. Essas folhas constituem uma parte importante do simulador, pois fornecem dados importantes no funcionamento do programa, tanto a nível de dados de entrada como a nível de dados de saída. As folhas no Excel são apenas duas, sendo a primeira denominada de “Dados” e a segunda de “Resultados”.

3.2.1 Folha de Dados

As folhas de dados contem dados diários de precipitação e evapotranspiração diária para quatro regiões distintas. O programa *PSAAP* quando inicia a simulação do aproveitamento de água pluvial, obtêm automaticamente os dados de precipitação e evapotranspiração diária desta folha.

Dia	Norte Litoral			Sul			Centro			Norte Interior		
	GONDIZALVES (04G/06C)			BARRAGEM DO RIO DO (26A/02C)			MONTE REAL (14D/03C)			FOLGARES (06N/01C)		
	DATA	Precipitação diária (mm)	Eto (mm/dia)	DATA	Precipitação diária (mm)	Eto (mm/dia)	DATA	Precipitação diária (mm)	Eto (mm/dia)	DATA	Precipitação diária (mm)	Eto (mm/dia)
1	01-10-1980 09:00	0,00	3,77	01-10-1980 09:00	0,00	4,50	01-10-1980 09:00	0,00	4,41	01-10-1980 09:00	0,00	1,56
2	02-10-1980 09:00	0,00	3,96	02-10-1980 09:00	0,00	4,54	02-10-1980 09:00	0,00	3,98	02-10-1980 09:00	0,00	1,86
3	03-10-1980 09:00	0,00	3,36	03-10-1980 09:00	0,00	3,69	03-10-1980 09:00	0,00	3,30	03-10-1980 09:00	0,00	2,49
4	04-10-1980 09:00	0,00	2,47	04-10-1980 09:00	1,30	3,28	04-10-1980 09:00	0,00	3,60	04-10-1980 09:00	0,80	1,68
5	05-10-1980 09:00	0,00	3,30	05-10-1980 09:00	0,00	3,45	05-10-1980 09:00	16,00	3,24	05-10-1980 09:00	0,00	1,10
6	06-10-1980 09:00	0,00	3,02	06-10-1980 09:00	0,00	3,74	06-10-1980 09:00	0,00	2,51	06-10-1980 09:00	0,00	1,64
7	07-10-1980 09:00	0,00	1,88	07-10-1980 09:00	0,00	3,38	07-10-1980 09:00	0,00	2,44	07-10-1980 09:00	0,00	2,28
8	08-10-1980 09:00	3,70	1,51	08-10-1980 09:00	0,40	2,27	08-10-1980 09:00	0,90	1,72	08-10-1980 09:00	0,00	1,97
9	09-10-1980 09:00	0,00	1,97	09-10-1980 09:00	0,00	2,96	09-10-1980 09:00	0,00	2,02	09-10-1980 09:00	0,00	1,92
10	10-10-1980 09:00	7,30	1,92	10-10-1980 09:00	0,00	3,23	10-10-1980 09:00	0,00	2,53	10-10-1980 09:00	0,00	2,34
11	11-10-1980 09:00	10,50	1,68	11-10-1980 09:00	2,80	2,75	11-10-1980 09:00	2,10	1,71	11-10-1980 09:00	1,10	1,93
12	12-10-1980 09:00	0,00	2,20	12-10-1980 09:00	0,00	2,99	12-10-1980 09:00	0,00	2,78	12-10-1980 09:00	0,00	1,94
13	13-10-1980 09:00	5,90	1,42	13-10-1980 09:00	1,30	2,80	13-10-1980 09:00	0,00	2,19	13-10-1980 09:00	4,30	2,08
14	14-10-1980 09:00	0,50	1,76	14-10-1980 09:00	0,00	2,76	14-10-1980 09:00	0,00	2,07	14-10-1980 09:00	0,00	2,24
15	15-10-1980 09:00	35,00	1,12	15-10-1980 09:00	0,60	1,68	15-10-1980 09:00	14,20	0,62	15-10-1980 09:00	10,10	2,02
16	16-10-1980 09:00	10,40	1,64	16-10-1980 09:00	23,50	2,06	16-10-1980 09:00	17,80	1,73	16-10-1980 09:00	3,90	2,33
17	17-10-1980 09:00	10,00	1,65	17-10-1980 09:00	0,60	2,10	17-10-1980 09:00	10,00	1,81	17-10-1980 09:00	2,60	1,45
18	18-10-1980 09:00	0,00	2,07	18-10-1980 09:00	0,00	2,34	18-10-1980 09:00	3,50	2,12	18-10-1980 09:00	0,00	1,48
19	19-10-1980 09:00	0,00	2,38	19-10-1980 09:00	0,00	2,74	19-10-1980 09:00	0,00	2,56	19-10-1980 09:00	0,00	1,92
20	20-10-1980 09:00	0,00	2,41	20-10-1980 09:00	0,00	2,55	20-10-1980 09:00	0,00	2,20	20-10-1980 09:00	0,00	2,13
21	21-10-1980 09:00	0,00	2,36	21-10-1980 09:00	0,00	2,58	21-10-1980 09:00	0,00	2,59	21-10-1980 09:00	0,00	1,68
22	22-10-1980 09:00	2,80	1,42	22-10-1980 09:00	0,00	2,69	22-10-1980 09:00	0,00	2,17	22-10-1980 09:00	0,00	1,58
23	23-10-1980 09:00	9,00	1,26	23-10-1980 09:00	0,00	2,16	23-10-1980 09:00	3,80	1,60	23-10-1980 09:00	2,00	1,66
24	24-10-1980 09:00	4,90	1,54	24-10-1980 09:00	19,50	1,87	24-10-1980 09:00	8,00	1,26	24-10-1980 09:00	0,80	1,67
25	25-10-1980 09:00	0,00	2,11	25-10-1980 09:00	0,00	2,48	25-10-1980 09:00	0,00	2,33	25-10-1980 09:00	0,00	1,52
26	26-10-1980 09:00	0,00	2,29	26-10-1980 09:00	0,00	2,84	26-10-1980 09:00	0,00	2,70	26-10-1980 09:00	0,00	1,43
27	27-10-1980 09:00	0,00	2,44	27-10-1980 09:00	0,00	2,73	27-10-1980 09:00	0,00	1,59	27-10-1980 09:00	0,00	1,64
28	28-10-1980 09:00	0,00	2,07	28-10-1980 09:00	0,00	2,60	28-10-1980 09:00	0,00	2,52	28-10-1980 09:00	0,00	1,68
29	29-10-1980 09:00	0,00	2,40	29-10-1980 09:00	0,00	3,00	29-10-1980 09:00	0,00	3,17	29-10-1980 09:00	0,00	1,66
30	30-10-1980 09:00	0,00	2,35	30-10-1980 09:00	0,00	2,29	30-10-1980 09:00	0,00	2,44	30-10-1980 09:00	0,00	1,60
31	31-10-1980 09:00	0,00	2,32	31-10-1980 09:00	0,00	2,34	31-10-1980 09:00	0,00	2,52	31-10-1980 09:00	0,00	1,85
32	01-11-1980 09:00	0,00	2,02	01-11-1980 09:00	0,00	2,43	01-11-1980 09:00	0,00	1,71	01-11-1980 09:00	0,00	1,77

Figura 20: Folha de dados no “Excel” do simulador PSAAP

Conforme a região de Portugal selecionada no interface pelo utilizador, o simulador PSAAP lê apenas a precipitação e evapotranspiração correspondente a essa região, sendo esses dados utilizados pelo programa nos cálculos para a obtenção dos resultados.

3.2.2 Folha de Resultados

A folha de resultados fornece gráficos com os dados obtidos da simulação do programa PSAAP, em função de cada capacidade do reservatório analisada. Para um SAAP com diferentes capacidades de armazenamento é possível consultar informação acerca dos respetivos períodos de recuperação do investimento, volumes anuais médios, eficiências do SAAP e custos e benefícios monetários. Na figura 21 está um exemplo onde podemos visualizar os quatro gráficos que são apresentados no interface secundário.

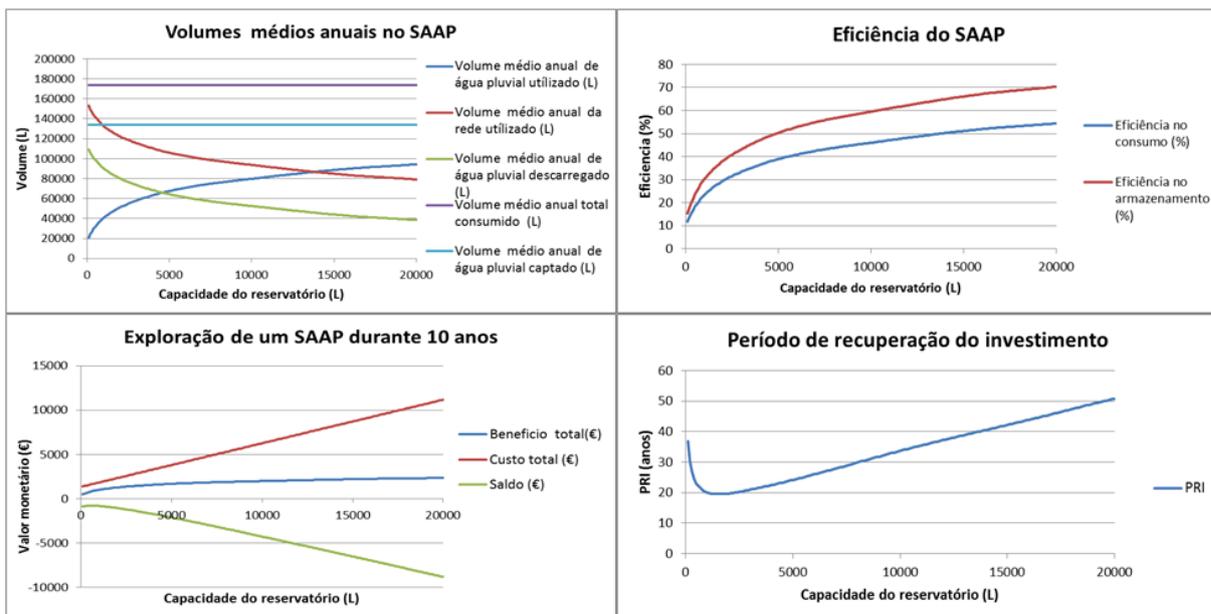


Figura 21: Folha de resultados gráficos do simulador *PSAAP* no Excel (exemplo)

3.3 Algoritmo do simulador *PSAAP*

Seguidamente é apresentado o algoritmo do programa *PSAAP* na forma de fluxograma, onde é possível perceber o processo sequencial no cálculo das variáveis.

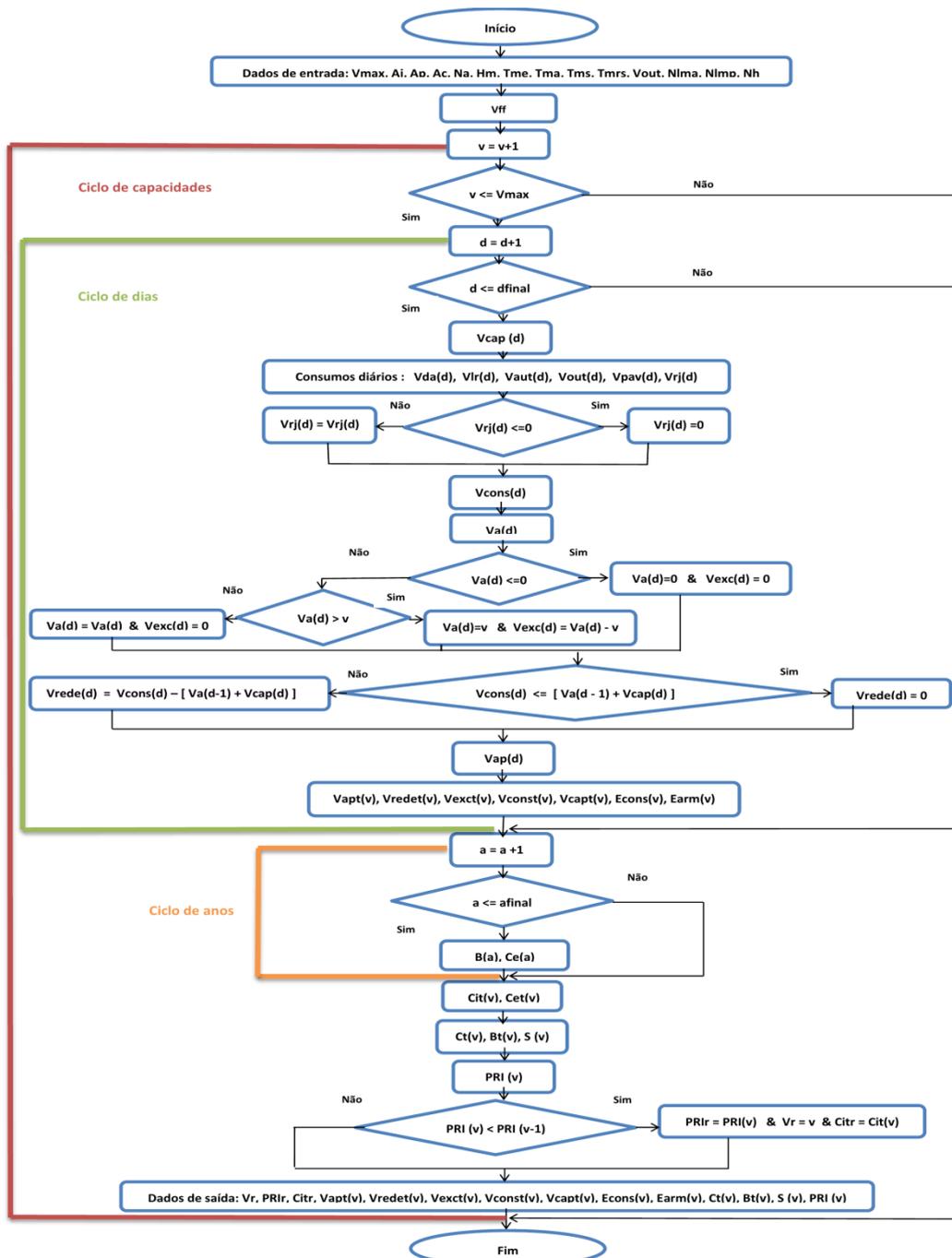


Figura 22: Fluxograma do programa *PSAAP*

O programa *PSAAP* contém 3 ciclos de repetição, o ciclo das capacidades dos reservatórios (vermelho), o ciclo dos dias (verde) e o ciclo dos anos (laranja) durante o período de análise de dez anos. O ciclo das capacidades do reservatório constitui o ciclo base do programa, agregando os restantes dois ciclos no seu “interior”.

O ciclo das capacidades dos reservatórios (vermelho), utiliza iterativamente uma capacidade “v” para o reservatório de armazenamento. A capacidade “v” toma um valor desde um valor inicial de 100 litros até uma capacidade máxima introduzida pelo utilizador (utilizando um incremento de 100 litros).

No ciclo de dias (verde), através dos dados de entrada são calculados todos os volumes diários em função da capacidade “v” do reservatório de armazenamento. A partir da soma dos volumes diários, são calculados os volumes totais no período de análise (dez anos).

No ciclo dos anos (laranja), a ferramenta utiliza os volumes totais e os dados de entrada para o cálculo dos benefícios e custos anuais de um SAAP com a capacidade de armazenamento “v”.

Já “fora” do ciclo de dias e do ciclo de anos é possível obter o PRI e movimentos monetários de um SAAP com cada uma das capacidades “v” analisadas.

Por fim, o programa *PSAAP* seleciona uma capacidade “v” do reservatório como a ideal. Quando um SAAP com uma determinada capacidade de armazenamento apresentar um PRI menor que com as restantes capacidades analisadas, então foi encontrada a capacidade ideal.

No interface principal é apresentada a capacidade ideal, o investimento inicial num SAAP com essa capacidade ideal e ainda o PRI correspondente a esse SAAP. No interface secundário são apresentados gráficos com informação relativa a um SAAP com cada uma das capacidades de armazenamento “v” analisadas. Esses dados de saída são informação acerca de períodos de recuperação do investimento, volumes médios anuais, eficiência do SAAP e também sobre custos, benefícios e saldo monetário durante o período de análise (dez anos).

3.4 Precipitação e evapotranspiração

A precipitação em Portugal varia significativamente ao longo do território. É perceptível através de uma carta pluviométrica que existe uma diminuição dos níveis de precipitação da região Norte para Sul, com exceção do Norte Interior. Devida a esta variação ao longo do território e de forma a abranger e caracterizar as condições climáticas de Portugal continental, considerou-se na ferramenta quatro diferentes regiões: Norte Litoral (Minho e Douro Litoral), Norte Interior (Trás-os-Montes), Centro e Sul (a sul do Tejo).

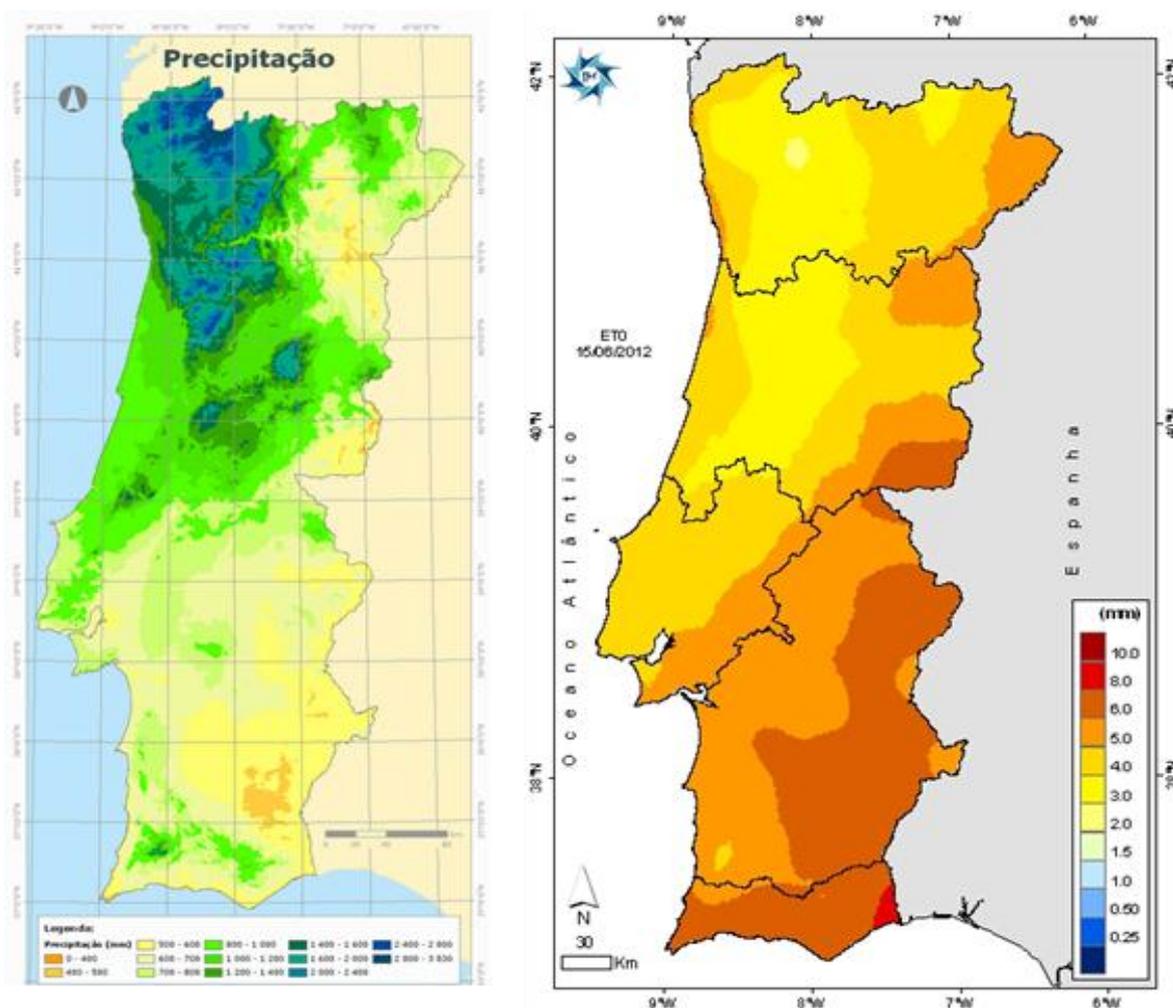


Figura 23: Precipitação média anual e evapotranspiração de referência média (SNIRH, 2005)

Para cada uma das quatro regiões já mencionadas, selecionou-se uma estação do SNIRH, de forma a conseguir dados diários de precipitação e de temperatura mínima e máxima. Os dados obtidos dizem respeito a um período de análise de dez anos, pois segundo a ETA 0701 (Afonso, et al., 2009) o período de análise deve ser igual ou superior a dez anos, de forma a realizar uma análise o mais rigorosa possível. Uma análise diária permite ter em conta a grande variação da precipitação ao longo do ano em Portugal, permitindo também calcular os diversos volumes diários de uma forma mais rigorosa. Os dados de precipitação e temperatura mínima e máxima diária dizem respeito ao período entre 01-10-1980 e 30-09-1990, devido á escassez de dados recentes no SNIRH relativos á temperatura mínima e máxima diária. As estações do SNIRH escolhidas em cada uma das referidas regiões são as constantes na tabela 1:

Tabela 1: Estações do SNIRH consultadas (SNIRH, 2011)

Região	Estação
Norte Litoral	Gondizalves (04G/06C)
Norte interior	Folgares (26I/02C)
Centro	Monte Real (14D/03C)
Sul	Barragem do roxo (06N/01C)

Os dados de evapotranspiração real são difíceis de conseguir, por isso utiliza-se a evapotranspiração de referência. Como o jardim é regado, admite-se que a evapotranspiração de referência é próxima da evapotranspiração real, pois as necessidades de água das culturas são totalmente satisfeitas.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência diária utilizou-se o método Hargreaves-Samani, que constitui um método simples, pois só precisa de dados sobre a temperatura diária mínima e máxima, latitude do local e dia do ano. Neste método utiliza-se a seguinte equação (Shahidian, Serralheiro, Serrano, Teixeira, Haie, & Santos, 2012) :

$$ET_o = 0,0135 \times K_t \times (T + 17,78) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times R_a \quad (1)$$

- E_{To} – Evapotranspiração de referência (mm/dia)
- K_t – Coeficiente empírico (0,17)
- T – Temperatura média diária ($^{\circ}C$)
- T_{max} – Temperatura máxima diária ($^{\circ}C$)
- T_{min} – Temperatura mínima diária ($^{\circ}C$)
- R_a – Radiação solar (mm/dia)

3.5 Usos de água da chuva

Neste trabalho considera-se a utilização de água pluvial em cinco utilizações: lavagem de pavimentos, lavagem de automóveis, descarga de sanitários, lavagem de roupa e rega de jardim. Para além destas utilizações, o programa considera a possibilidade de introduzir outros consumos diários a partir do interface.

O consumo diário de água em todos os usos considerados é calculado pela equação 2.

$$V_{cons}(d) = V_{pav}(d) + V_{aut}(d) + V_{da}(d) + V_{lr}(d) + V_{rj}(d) + V_{out}(d) \quad (2)$$

- $V_{cons}(d)$ – Volume diário consumido em todas as utilizações [m^3/dia]
- $V_{pav}(d)$ – Volume diário consumido na lavagem de pavimentos [m^3/dia]
- $V_{aut}(d)$ – Volume diário consumido na lavagem de automóveis [m^3/dia]
- $V_{da}(d)$ – Volume diário consumido na descarga de autoclismos [m^3/dia]
- $V_{lr}(d)$ – Volume diário consumido na lavagem de roupa [m^3/dia]
- $V_{rj}(d)$ – Volume diário consumido na rega de jardins [m^3/dia]
- $V_{out}(d)$ – Volume diário consumido em outras utilizações [m^3/dia]

Com exceção do consumo de água para rega, cada um dos elementos estimou-se a partir das indicações da ETA 0701 (Afonso, et al., 2009), que pode ser consultado no anexo A.

De seguida são apresentados o método de cálculo para cada um dos elementos da equação 2.

3.5.1 Uso diário de água para lavagem de pavimentos

Para estimar este volume diário considerou-se um consumo unitário igual a 5 L/m² (Afonso, et al., 2009). Por simplificação na programação, considerou-se o volume mensal gasto neste uso, dividido pelos trinta dias do mês.

$$V_{pav(d)} = \frac{C_{uni} \times A_p \times N_{lmp}}{30} \quad (3)$$

- $V_{pav(d)}$ – Volume diário consumido na lavagem de pavimentos [m³/dia]
- A_p – Área de pavimentos [m²]
- N_{lmp} – Número de lavagens mensais ao pavimento
- C_{uni} – Consumo unitário [m³/m²]

3.5.2 Uso diário de água para lavagem de automóveis

Para a obtenção deste consumo diário, usou-se um consumo unitário igual a 50 L/automovel (Afonso, et al., 2009). Também aqui, por simplificação considerou-se o volume mensal gasto neste fim, dividido pelos trinta dias do mês.

$$V_{aut(d)} = \frac{C_{uni} \times N_a \times N_{lma}}{30} \quad (4)$$

- $V_{aut(d)}$ – Volume diário consumido na lavagem de automóveis [m³/dia]
- N_a – Número de automóveis [automóvel]
- N_{lma} – Número de lavagens mensais a automóveis
- C_{uni} – Consumo unitário [m³ /automovel]

3.5.3 Uso diário de água para descarga de autoclismos

O consumo unitário utilizado no cálculo deste componente é 24 Litros /habitante.dia (Afonso, et al., 2009). Este consumo unitário é estimado considerando que se trata de um autoclismo categoria A de 6 litros com dupla descarga.

$$Vda(d) = Cuni \times Nh \quad (5)$$

- Vda(d) – Volume diário consumido na descarga de autoclismos [m³/dia]
- Nh – Número de habitantes na habitação [habitante]
- Cuni – Consumo unitário [m³ /habitante. dia]

3.5.4 Uso diário de água para lavagem de roupa

O consumo unitário utilizado neste cálculo é 10 Litros /habitante.dia baseando-se na estimativa da ETA 0701, que considerou uma máquina categoria A com consumo de 9 a 12 litros por kg.

$$Vlr(d) = Cuni \times Nh \quad (6)$$

- Vlr(d) – Volume diário consumido na lavagem de roupa [m³/dia]
- Nh – Número de habitantes na habitação [habitante]
- Cuni – Consumo unitário [m³ /habitante. dia]

3.5.5 Uso diário de água para rega de jardins

Pelas razões já referidas, no cálculo do volume diário necessário para rega, será utilizado a evapotranspiração de referência calculada pelo método Hargreaves-Samani. Aqui o volume

por m^2 necessário para rega é dado pela diferença entre a evapotranspiração e a precipitação, sendo depois multiplicado pela área em m^2 . Neste cálculo existe duas possibilidades:

- Resultado da equação é um valor negativo, logo a precipitação superioriza-se á evapotranspiração, não sendo preciso regar.
- No caso de o resultado ser positivo, a evapotranspiração é superior á precipitação, sendo portanto necessário proceder á rega de modo a repor a água perdida.

$$V_{rj}(d) = [E_o(d) - P(d)] \times A_j \quad (7)$$

- $V_{rj}(d)$ – Volume diário consumido na rega de jardins [m^3 /dia]
- $E_o(d)$ – Evapotranspiração potencial diária [mm/dia]
- $P(d)$ – Precipitação diária [mm/dia]
- A_j – Área de jardim [m^2]

3.6 Volume de desvio do escoamento inicial

Este volume corresponde ao volume diário que deve subtraído ao volume precipitado nesse dia. Devido á sujidade acumulada na cobertura, é necessário permitir que o escoamento inicial faça uma lavagem á superfície de captação. Segundo a ETA 0701, o volume utilizado deve ser em função da área de captação e de uma altura de precipitação pré-definida (superior a 0,5mm) dependente das condições locais. O dispositivo de desvio do escoamento inicial deve estar calibrado para desviar a altura de precipitação pré-definida por metro quadrado. Na ferramenta considerou-se uma altura de precipitação de 1 mm.

$$V_{ff} = h_{prec} \times A_c \quad (8)$$

- V_{ff} – Volume de desvio do escoamento inicial [m^3]
- A_c – Área de captação da água pluvial [m^2]
- h_{prec} – Altura de precipitação pré-definida [mm]

3.7 Volume diário de água pluvial captada através da cobertura

A partir da cobertura, é realizada a captação da água pluvial, que é conduzida pelas caldeiras e canalização ao reservatório. O volume diário total que chove na cobertura do edifício é dado pela multiplicação da precipitação pela área de captação, mas existe a necessidade de contabilizar perdas durante o processo de captação da chuva (Afonso, et al., 2009). Essas perdas são representadas na equação 9 por três elementos: o coeficiente de escoamento (C), a eficiência hidráulica da filtragem (η_f) e o volume de desvio do escoamento inicial (Vff). O coeficiente de escoamento representa a razão entre o volume de água pluvial recolhido pelo sistema de drenagem e o volume precipitado na cobertura. O coeficiente de escoamento refere-se portanto a perdas por retenções, absorções e desvios, sendo utilizado neste caso um coeficiente com o valor de 0,8, segundo as recomendações da ETA 0701 para coberturas impermeáveis. A eficiência hidráulica de filtragem representa a razão entre o volume de água pluvial que sai do filtro e o volume que entra no filtro, referindo-se portanto às perdas no processo de filtragem. O volume de desvio do escoamento inicial já foi descrito no capítulo 3.6.

$$V_{cap}(d) = P(d) \times A_c \times C \times \eta_f - V_{ff} \quad (9)$$

- $V_{cap}(d)$ – Volume diário captado na cobertura [m^3/dia]
- $P(d)$ – Precipitação diária [mm/dia]
- A_c – Área de captação da água pluvial [m^2]
- C – Coeficiente de escoamento
- η_f – Eficiência hidráulica da filtração
- V_{ff} – Volume de desvio do escoamento inicial [m^3/dia]

3.8 Volume diário de água pluvial armazenado no reservatório

O volume diário captado é transportado até ao reservatório de armazenamento, existindo três possibilidades (Oliveira, 2008):

- O reservatório está completamente preenchido, logo o volume captado é totalmente descarregado no sistema de drenagem de águas pluviais;
- O reservatório possui um volume disponível suficiente para armazenar todo o volume captado.
- O reservatório possui um volume disponível inferior ao volume captado. Neste caso o volume captado é armazenado parcialmente, sendo o restante descarregado no sistema público de recolha de águas pluviais;

No cálculo desta variável, soma-se o volume armazenado no dia anterior ao volume captado nesse dia. A essa soma, subtrai-se o volume consumido nesse mesmo dia.

$$Va(d) = Va(d - 1) + Vcap(d) - Vcons(d) \quad (10)$$

- $Va(d)$ – Volume diário de água pluvial armazenado no reservatório [m^3/dia]
- $Va(d - 1)$ – Volume de água pluvial armazenado no reservatório no dia anterior [m^3/dia]
- $Vcap(d)$ – Volume diário captado na cobertura [m^3/dia]
- $Vcons(d)$ – Volume diário consumido em todas as utilizações [m^3/dia]

3.9 Volume diário de água da rede pública usado em todas as utilizações consideradas

No caso do volume de água pluvial armazenado no reservatório ser inferior ao volume necessário para consumo, é utilizada uma fonte alternativa de água, a rede pública. Esta variável é calculada pela diferença entre o volume necessário para consumo e a soma do volume armazenado no dia anterior com o volume captado nesse dia (Oliveira, 2008).

$$V_{rede}(d) = V_{cons}(d) - [V_a(d - 1) + V_{cap}(d)] \quad (11)$$

- $V_{rede}(d)$ – Volume diário de água da rede pública utilizado [m^3/dia]
- $V_{cons}(d)$ – Volume diário consumido em todas as utilizações [m^3/dia]
- $V_a(d - 1)$ – Volume de água pluvial armazenado no reservatório no dia anterior [m^3/dia]
- $V_{cap}(d)$ – Volume diário captado na cobertura [m^3/dia]

3.10 Volume diário de água pluvial usado em todas as utilizações consideradas

Para se conhecer a quantidade diária de água pluvial que foi usada em todas as utilizações consideradas, é apenas necessário subtrair o volume consumido do volume da rede pública utilizado (Oliveira, 2008).

$$V_{ap}(d) = V_{cons}(d) - V_{rede}(d) \quad (12)$$

- $V_{ap}(d)$ – Volume diário de água pluvial utilizado [m^3/dia]
- $V_{cons}(d)$ – Volume diário consumido em todas as utilizações [m^3/dia]

- $V_{rede}(d)$ – Volume diário de água da rede pública utilizado [m^3/dia]

3.11 Volume em excesso no reservatório

Quando o volume captado se dirige para o reservatório, existe a possibilidade do reservatório se encontrar totalmente preenchido ou então não possuir um volume disponível suficiente para permitir o armazenamento total da água (Oliveira, 2008). Nesse caso o volume em excesso será descarregado no sistema de drenagem de águas pluviais. O volume em excesso calcula-se pela diferença entre o volume para armazenar e a capacidade do reservatório.

$$V_{exc}(d) = V_a(d) - v \quad (13)$$

- $V_{exc}(d)$ – Volume diário de água pluvial em excesso no reservatório [m^3/dia]
- $V_a(d)$ – Volume diário de água pluvial armazenado no reservatório [m^3/dia]
- v – Capacidade do reservatório de armazenamento de água pluvial [m^3]

3.12 Volumes no período de análise de dez anos

Os volumes diários calculados durante um período de análise de dez anos são somados, de forma a obter os volumes totais nesse período. Os volumes totais calculados no período de análise são os seguintes:

3.12.1 Volume total consumido em todas as utilizações num período de dez anos

$$V_{const}(v) = \sum_{d=1}^{3652} V_{cons}(d) \quad (14)$$

$V_{const}(v)$ – Volume total consumido em todas as utilizações num período de dez anos [m^3]

$V_{cons}(d)$ – Volume diário consumido em todas as utilizações [m^3/dia]

3.12.2 Volume total captado para armazenamento num período de dez anos

$$V_{capt}(v) = \sum_{d=1}^{3652} V_{cap}(d) \quad (15)$$

- $V_{capt}(v)$ – Volume total captado para armazenamento num período de dez anos [m^3]
- $V_{cap}(d)$ – Volume diário captado na cobertura [m^3/dia]

3.12.3 Volume total de água da rede pública utilizado num período de dez anos

$$V_{redet}(v) = \sum_{d=1}^{3652} V_{rede}(d) \quad (16)$$

- $V_{redet}(v)$ – Volume total de água da rede pública utilizado num período de dez anos [m^3]
- $V_{rede}(d)$ – Volume diário de água da rede pública utilizado [m^3/dia]

3.12.4 Volume total de água pluvial utilizado num período de dez anos

$$V_{apt}(v) = \sum_{d=1}^{3652} V_{ap}(d) \quad (17)$$

- $V_{apt}(v)$ – Volume total de água pluvial utilizado num período de dez anos [m^3]

- $V_{ap}(d)$ – Volume diário de água pluvial utilizado [m^3/dia]

3.12.5 Volume total em excesso no reservatório num período de dez anos

$$V_{exct}(v) = \sum_{d=1}^{3652} V_{exc}(d) \quad (18)$$

- $V_{exct}(v)$ – Volume total em excesso no reservatório num período de dez anos [m^3]
- $V_{exc}(d)$ – Volume diário de água pluvial em excesso no reservatório [m^3/dia]

3.13 Eficiência do SAAP

De forma a perceber o grau de aproveitamento de água pluvial pelo SAAP, foram desenvolvidos dois indicadores: a eficiência no consumo de água pluvial e a eficiência no armazenamento de água pluvial.

3.13.1 Eficiência no armazenamento de água pluvial

A eficiência quanto ao armazenamento representa a percentagem de água pluvial captada que chega a ser utilizada. Esta análise é revelante, pois parte da água pluvial captada não é armazenada por falta de espaço no reservatório, sendo portanto descarregada no sistema de drenagem de águas pluviais. Esta eficiência depende obviamente da capacidade do reservatório, mas também da simultaneidade dos períodos de maior consumo com os períodos de maior precipitação.

$$E_{arm}(v) = \frac{V_{apt}(v)}{V_{capt}(v)} \times 100 \quad (19)$$

- $E_{arm}(v)$ – Eficiência no armazenamento de água pluvial [%]
- $V_{apt}(v)$ – Volume total de água pluvial utilizado num período de dez anos [m^3]
- $V_{capt}(v)$ – Volume total captado para armazenamento num período de dez anos [m^3]

3.13.2 Eficiência no consumo de água pluvial

Este indicador representa a percentagem de água consumida na habitação (nas utilizações consideradas) que é de origem pluvial. A eficiência quanto ao consumo está ligada essencialmente á disponibilidade de água armazenada no reservatório quando existe consumo, sendo essa disponibilidade dependente da ocorrência de chuva.

$$E_{cons}(v) = \frac{V_{apt}(v)}{V_{const}(v)} \times 100 \quad (20)$$

- $E_{cons}(v)$ – Eficiência no consumo de água pluvial [%]
- $V_{apt}(v)$ – Volume total de água pluvial utilizado num período de dez anos [m^3]
- $V_{const}(v)$ – Volume total consumido em todas as utilizações num período de dez anos [m^3]

3.14 Análise económica

Os custos e benefícios foram calculados tendo em conta o respetivo IVA.

3.14.1 Custos individuais

3.14.1.1 Custo do reservatório em PEAD

Para calcular o custo do reservatório em PEAD, foi criada uma função linear que expressa o custo do reservatório em função do volume. Para obter essa função construiu-se um gráfico a partir de dados de um catálogo (Anexo C), como se pode ver de seguida.

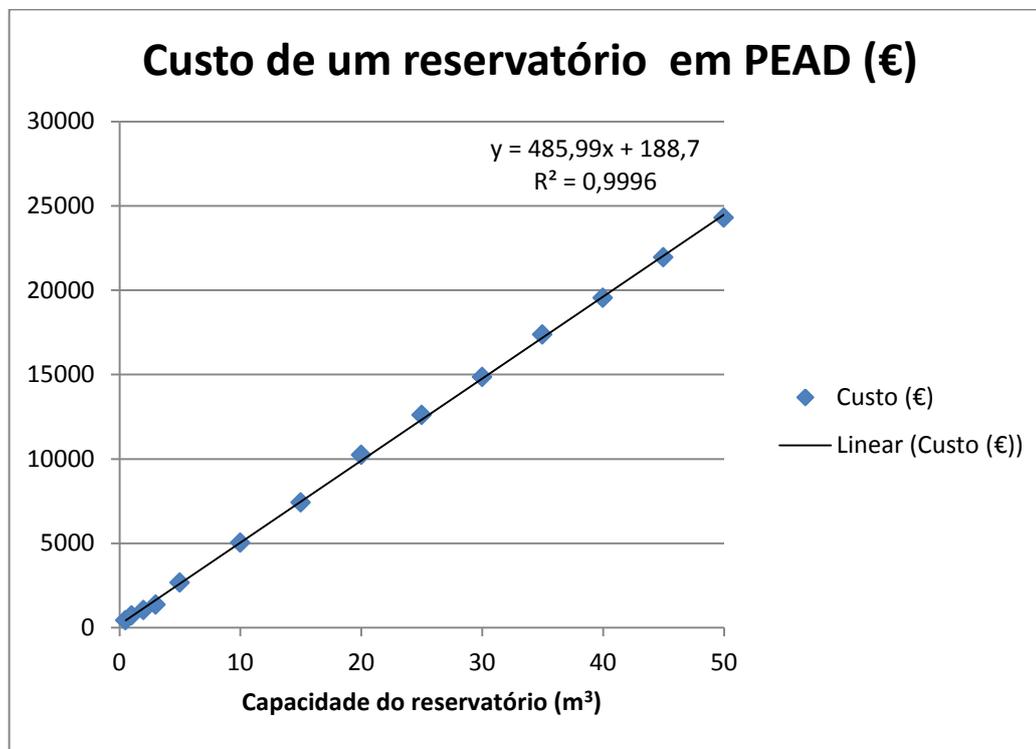


Figura 24: Custo do reservatório em função do volume

A função obtida pelo gráfico é utilizada no programa na forma da seguinte equação:

$$C_{rp}(v) = 485,9 \times v + 188,7 \quad (21)$$

- $C_{rp}(v)$ – Custo do reservatório de armazenamento em PEAD [€];
- v – Capacidade do reservatório de armazenamento de água pluvial [m³];

3.14.1.2 Custo da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício

O custo do sistema de canalização no interior do edifício constitui um componente pouco significativo comparativamente ao investimento inicial total (no caso de novas instalações), mas foi considerado nesta análise de forma a explorar o mais possível o projeto.

Estimou-se apenas o custo da rede da canalização interior, pois a canalização exterior para rega não representa um custo acrescido na utilização de um SAAP. A canalização interior para água pluvial terá que ser independente da canalização de água potável, constituindo um custo acrescido na utilização de um SAAP, enquanto a canalização exterior para rega já era necessária mesmo sem um SAAP, não constituindo por isso um custo acrescido. Também é ignorado o ramal de ligação entre o edifício e o reservatório, pois deve ser de baixo comprimento. Segundo informações disponibilizadas pela empresa “Construções Henrique Costa” (CHC, 2012) os diâmetros (exteriores) mais frequentes em tubagens (ppr) no interior de edifícios unifamiliares são os diâmetros de 20 e 25 mm. A canalização para água pluvial transportará água apenas para alguns dispositivos, portanto o seu diâmetro é igual ou menor que o diâmetro da canalização de água potável. Para estimar o custo da rede de distribuição interior foi admitido um diâmetro médio (exterior) de 25 mm na tubagem em ppr.

O custo da tubagem interior é dado pela multiplicação do comprimento da tubagem pelo custo por metro. O custo por metro da tubagem inclui o custo do material e do operário e têm o valor de 1,1975 €/m (Anexo D).

$$C_c = \text{Custo}(\text{€/m}) \times \text{Tub} \quad (22)$$

- Custo(€/m) – Custo por metro da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício;
- C_c – Custo da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício [€];
- Tub – Comprimento da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício [m];

3.14.1.3 Custo de escavação

No caso de o reservatório ser enterrado, há a necessidade de contabilizar os custos com a escavação. Os custos de escavação constituem uma pequena parcela do investimento inicial, mas é contabilizado para que a análise seja o mais rigorosa possível. Foi estimado o custo por metro cúbico de terreno escavado (5 €/m³) contabilizando o custo da máquina e do condutor (Anexo E). O volume de escavação necessário para a instalação do reservatório deve ser superior ao volume do mesmo, de modo a facilitar o processo e a ter em conta a profundidade do reservatório no solo. Por esse motivo considera-se um acréscimo de 20 % em relação ao volume do reservatório.

$$C_{esc}(v) = [Custo(€/m^3) \times v] \times 1,2 \quad (23)$$

- $C_{esc}(v)$ – Custo da escavação [€]
- $Custo(€/m^3)$ – Custo por metro cúbico de terreno escavado
- v – Capacidade do reservatório de armazenamento de água pluvial [m³]

3.14.1.4 Outros custos

Esta variável engloba os custos de vários equipamentos e mão-de-obra contabilizados no Anexo F. Os equipamentos tidos em conta nesta variável são o sistema de bombagem, filtro da água pluvial, o dispositivo de desvio do escoamento inicial e acessórios no interior do reservatório (dispositivo de Sucção Flutuante com mangueira, entrada anti-turbulência, sifão Duo, válvula de prevenção de backflow). A mão-de-obra é a necessária para a instalação destes equipamentos e do reservatório, sendo constituída por um picheleiro e um electricista.

Para estimar o custo do filtro em função da área de captação foi desenvolvida uma função polinomial numa folha de cálculo utilizando preços de mercado retirados de catálogos (Anexo F).

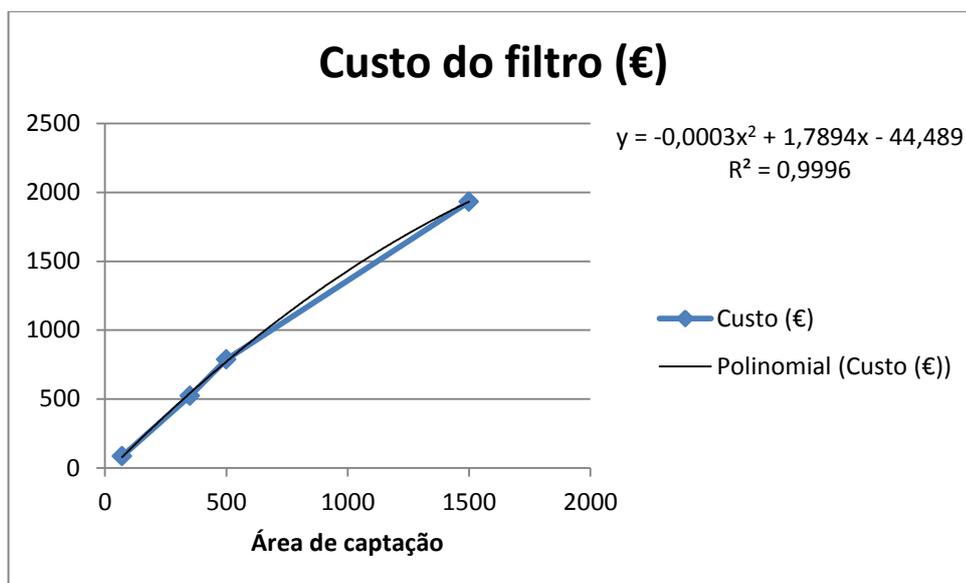


Figura 25: Custo do filtro em função da área de captação

A seguinte equação traduz o somatório do custo do filtro (função) e dos restantes equipamentos e mão-de-obra. Admite-se que a área de captação é sempre superior a zero.

$$C_{out} = 714,731 - 0,0003 \times Ac^2 + 1,7894 \times Ac \quad (24)$$

- C_{out} – Outros custos [€]
- Ac – Área de captação da água pluvial [m²]

3.14.2 Análise económica anual

Para ter em conta a atualização dos benefícios e custos foi utilizada nesta análise uma taxa de atualização. A taxa de atualização constitui uma variável de grande complexidade no sector económico, portanto por simplificação assumiu-se uma taxa de atualização de 3%.

3.14.2.1 Benefício de exploração anual atualizado

É habitual o custo do saneamento e dos resíduos sólidos estar dependente do volume de água consumida na habitação. Sendo assim, o benefício de exploração corresponde ao valor da água da rede pública que é substituída por água pluvial, mas também ao custo de saneamento e resíduos sólidos correspondente á água poupada. O custo total da água consumida (€/ m³) é multiplicado pelo volume médio anual de água pluvial utilizado.

$$B(a) = \frac{[Tms + Tma + Tmrs] \times \left[\frac{Vapt(v)}{10} \right]}{(1 + Ta)^a} \quad (25)$$

- B(a) – Benefício anual atualizado [€]
- Tms – Tarifa média do saneamento [€/ m³]
- Tma – Tarifa média da água da rede pública [€/ m³]
- Tmrs – Tarifa média dos resíduos sólidos [€/ m³]
- Vapt(v) – Volume total de água pluvial utilizado num período de dez anos [m³]
- Ta – Taxa de atualização
- a – Ano num período de dez anos [anos]

3.14.2.2 Custo de exploração anual atualizado

O custo de exploração diz respeito aos gastos em eletricidade (Valencia, 1987) e manutenção do sistema.

A manutenção considerada diz respeito apenas á lavagem de alguns equipamentos pelo utilizador e considera-se por simplificação um valor de 20 €.

O rendimento da bomba depende essencialmente do sistema de bombagem e da altura manométrica que variam em cada edifício. Devido a esta variação definiu-se no programa um rendimento, mais concretamente um rendimento elevado de 80%. A eletricidade consumida diz respeito a toda a água consumida proveniente do reservatório, ou seja, água pluvial e por

vezes água da rede pública que abastece o reservatório em caso de seca. Para este cálculo considerou-se um volume médio anual da água consumida na habitação.

$$C_e(a) = \frac{\left[\frac{\left(\frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{\eta} \right)}{Q \times 3600} \right] \times T_{me} \times \left[\frac{V_{const}(v)}{10} \right] + C_{ma}}{(1 + T_a)^a} \quad (26)$$

- $C_e(a)$ – Custo de exploração anual atualizado [€]
- T_{me} – Tarifa média da eletricidade [€/ m³]
- η – Rendimento da operação de bombagem
- γ – Peso volúmico da água [KN/ m³]
- Q – Caudal [m³/s]
- H_{man} – Altura manométrica [m]
- $V_{const}(v)$ – Volume total consumido em todas as utilizações num período de 10 anos [m³]
- C_{ma} – Custo de manutenção anual [€]
- T_a – Taxa de atualização
- a – Ano num período de dez anos [anos]

A altura manométrica máxima é calculada a partir da altura geométrica máxima introduzida pelo utilizador somado às perdas de carga continua e localizadas. É considerado que as perdas de carga localizadas constituem 20 % das perdas de carga continua.

$$H_{max} = H_{gmax} + J \times T_{ub} \times 1,2 \quad (27)$$

- H_{max} – Altura manométrica máxima [m]
- H_{gmax} – Altura geométrica de elevação da água máxima [m]
- T_{ub} – Comprimento do segmento mais extenso da rede de distribuição de água pluvial [m]
- J – Perdas de carga na canalização [m/m]

As perdas de carga por metro podem ser calculadas pela equação 28, mas por simplificação no programa considera-se uma perda de carga de 0,095 m/m, correspondente num ábaco a uma tubagem em ppr com diâmetro exterior de 25 mm e velocidade de 1 m/s (Coprax, 2012).

$$J = 4 \times b \times u^{\frac{7}{4}} \times \text{Diam}^{\frac{-5}{4}} \quad (28)$$

- J – Perdas de carga na canalização [m/m]
- b – Coeficiente de rugosidade [m]
- u – Velocidade [m/s]
- Diam – Diâmetro interior da canalização de água pluvial no interior do edifício [m]

3.14.3 Análise económica no período de análise de dez anos

A partir da soma dos benefícios e custos anuais e do investimento inicial obtêm-se os custos e benefícios num período de análise de dez anos.

3.14.3.1 Custo de exploração num período de dez anos

É dado pela soma dos custos de exploração anuais num período de dez anos.

$$C_{et}(v) = \sum_{a=0}^9 C_e(a) \quad (29)$$

- $C_{et}(v)$ – Custo de exploração num período de dez anos [€]
- $C_e(a)$ – Custo de exploração anual atualizado [€]

3.14.3.2 Investimento inicial

O investimento inicial refere-se aos custos no ano zero, ou seja durante a instalação do SAAP. Os custos iniciais referem-se ao somatório do custo do reservatório, canalização, escavação, filtro, acessórios, bomba e mão-de-obra.

$$Cit(v) = Crp(v) + Cc + Cesc(v) + Cout \quad (30)$$

- $Cit(v)$ – Investimento inicial total [€]
- $Crp(v)$ – Custo do reservatório de armazenamento em PEAD [€]
- Cc – Custo da rede de distribuição de água pluvial no interior do edifício [€]
- $Cesc(v)$ – Custo da escavação [€]
- $Cout$ – Outros custos [€]

3.14.3.3 Custo total num período de dez anos

O custo total do SAAP no período de análise refere-se ao investimento inicial somado ao custo de exploração num período de dez anos.

$$Ct(v) = Cit(v) + Cet(v) \quad (31)$$

- $Ct(v)$ – Custo total do SAAP num período de dez anos [€]
- $Cit(v)$ – Investimento inicial total [€]
- $Cet(v)$ – Custo de exploração num período de dez anos [€]

3.14.3.4 Benefício de exploração num período de dez anos

O benefício no período de análise de dez anos é o somatório dos benefícios anuais durante esse período.

$$Bt(v) = \sum_{a=0}^9 B(a) \quad (32)$$

- $Bt(v)$ – Benefício de exploração num período de dez anos [€]
- $B(a)$ – Benefício anual atualizado [€]

3.14.3.5 Saldo num período de dez anos

O saldo do projeto neste período obtém-se pela diferença entre o benefício e o custo num período de dez anos.

$$S(v) = Bt(v) - Ct(v) \quad (33)$$

- $S(v)$ – Saldo num período de dez anos [€]
- $Bt(v)$ – Benefício de exploração num período de dez anos [€]
- $Ct(v)$ – Custo total do SAAP num período de dez anos [€]

3.15 Período de recuperação do investimento atualizado

O período de recuperação do investimento (PRI) é uma ferramenta simples e valiosa na análise da viabilidade económica de um projeto (Zunido & Vasco, 2006). O PRI é usado para estimar o período necessário de exploração de um projeto até recuperar o respetivo investimento. Neste caso utilizou-se esta ferramenta para um período de análise de dez anos. Os custos de manutenção após o período de análise não são considerados. O benefício e o

custo utilizados nesta equação já são atualizados, pois no seu cálculo foi utilizada uma taxa de atualização.

$$PRI(v) = \frac{n \times \text{Investimento inicial}}{\sum_{a=0}^n \frac{\text{Cash flow}}{(1 + Ta)^a}} = \frac{n \times Cit(v)}{Bt(v) - Cet(v)} \quad (34)$$

- $PRI(v)$ – Período de recuperação do investimento [anos]
- $Cit(v)$ – Investimento inicial total [€]
- $Bt(v)$ – Benefício de exploração num período de dez anos [€]
- $Cet(v)$ – Custo de exploração num período de dez anos [€]
- n – Número de períodos da análise do projeto de investimento [anos]
- Ta – Taxa de atualização
- a – Ano num período de dez anos [anos]

4 APLICAÇÃO DO PROGRAMA PSAAP

Pretende-se inicialmente fazer a simulação do aproveitamento de água da chuva numa moradia unifamiliar em quatro regiões de Portugal continental (Norte Litoral, Norte Interior, Centro e Sul). Posteriormente faz-se a mesma análise mas para um SAAP que abastece um conjunto de quatro habitações unifamiliares. Assim, será possível tirar conclusões acerca do aumento da dimensão do sistema de aproveitamento de água pluvial.

A simulação do aproveitamento de água pluvial foi realizada para as quatro regiões disponíveis no programa *PSAAP*. Para a região Norte Litoral foi escolhida a cidade de Braga, no Norte Interior foi escolhida a cidade de Bragança, no caso da zona centro foi selecionada a cidade de Coimbra e na zona sul foi escolhida a cidade de Beja. A escolha destas cidades baseou-se no facto do saneamento e resíduos sólidos urbanos serem pagos em função do consumo de água. Este facto aumenta o custo total do consumo de água da rede pública, aumentando por isso a viabilidade económica da utilização de um SAAP.

Nas análises utiliza-se uma habitação tipo, o que permitirá comparações dos resultados da mesma habitação em localizações diferentes (tarifários, precipitação e evapotranspiração).

4.1 Descrição da habitação unifamiliar tipo

A habitação tipo utilizada será uma moradia unifamiliar de dois andares, sendo o projeto fornecido pela empresa “Construções Henrique Costa” (CHC, 2012). A área da cobertura (área de captação) é 132 m² e a área do pavimento circundante é cerca de 110 m², considerou-se também que teria um jardim com uma área de 100 m². Para além do jardim e do pavimento, considera-se que também a descarga das retretes e a lavagem de roupa será abastecida pelo SAAP.

Considera-se uma altura máxima de elevação de 5,3 m, correspondentes á soma da altura do reservatório (considerou-se 1,5 m pois é variável em função do volume), profundidade do reservatório (considera-se 0,5 m), pé-direito do piso rés-do-chão (2,8 m) e altura da ligação da rede pluvial às retretes no primeiro piso (0,5 m).

4.1.1 Projeto da habitação

A seguir são visíveis as plantas dos dois andares com a rede de drenagem de água pluvial (azul escuro) já dimensionada no projeto da habitação que foi fornecido pela empresa “Construções Henrique Costa” (CHC, 2012). Esta rede é necessária para um SAAP, mas não constitui um custo acrescentado pois teria que existir obrigatoriamente mesmo que não houvesse um SAAP na habitação.

Também é visível a azul claro, o traçado da rede de abastecimento de água pluvial acrescentada ao projeto.

O programa PSAAP calcula os custos da canalização de abastecimento considerando um tubo com o diâmetro nominal de 25mm, logo a rede de abastecimento de água pluvial não é dimensionada, sendo apenas mostrado o seu traçado para melhor perceber a análise efetuada.

O andar rés-do-chão será abastecido pelo SAAP num wc (uma retrete) e na lavandaria (uma maquina para lavagem de roupa).

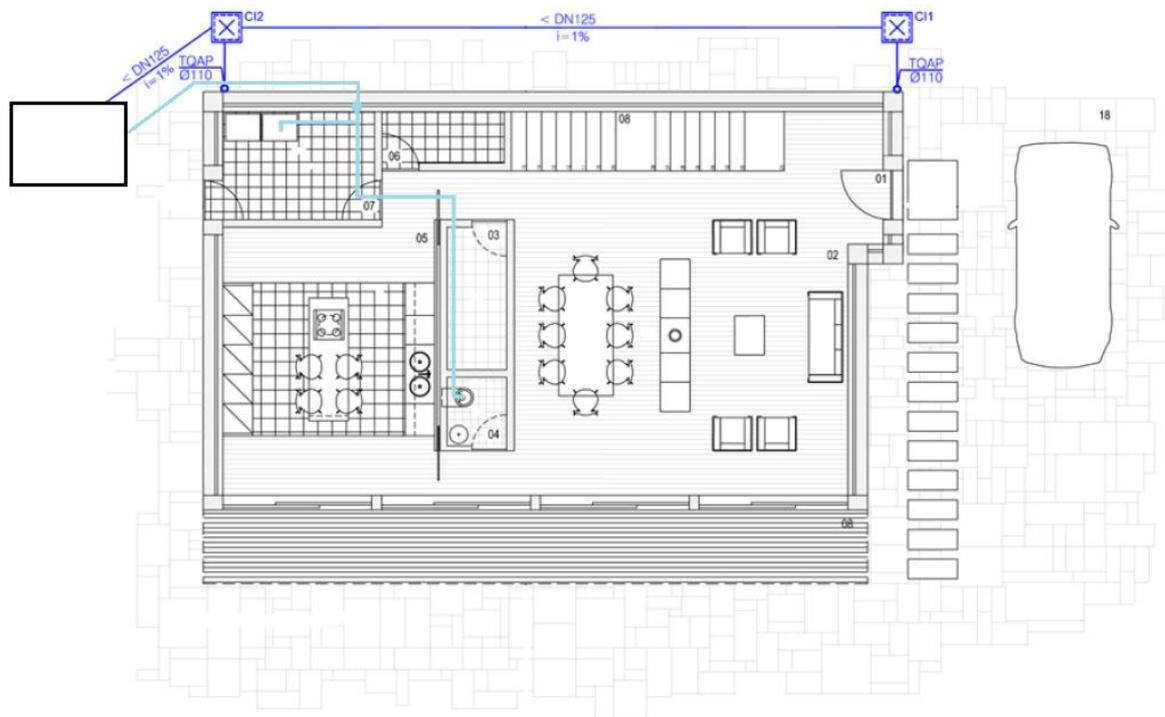


Figura 26: Planta do andar rés-do-chão (sem escala)

Quanto ao primeiro andar, este será abastecido por água pluvial (traçado azul claro) em três wc, mais especificamente em três retretes.

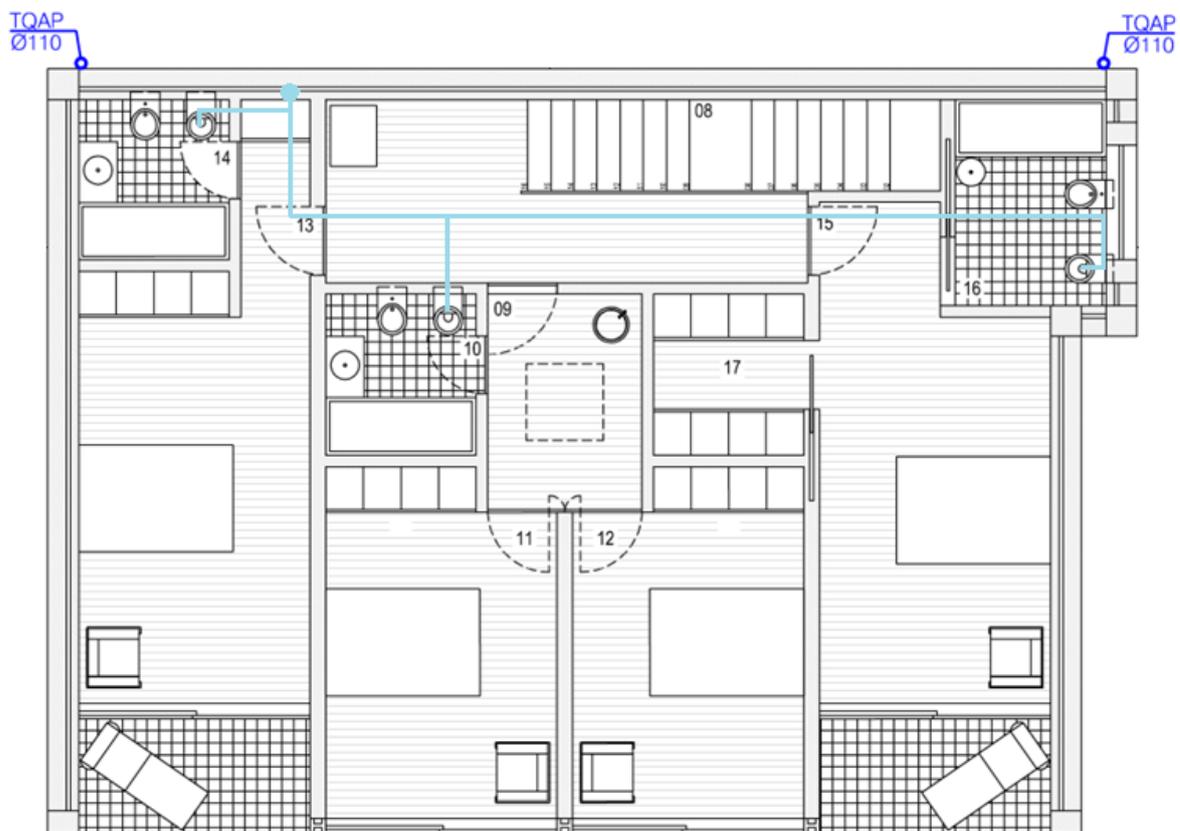


Figura 27: Planta do 1º andar (sem escala)

A cobertura servirá como área de captação, sendo drenada através de dois tubos de queda.

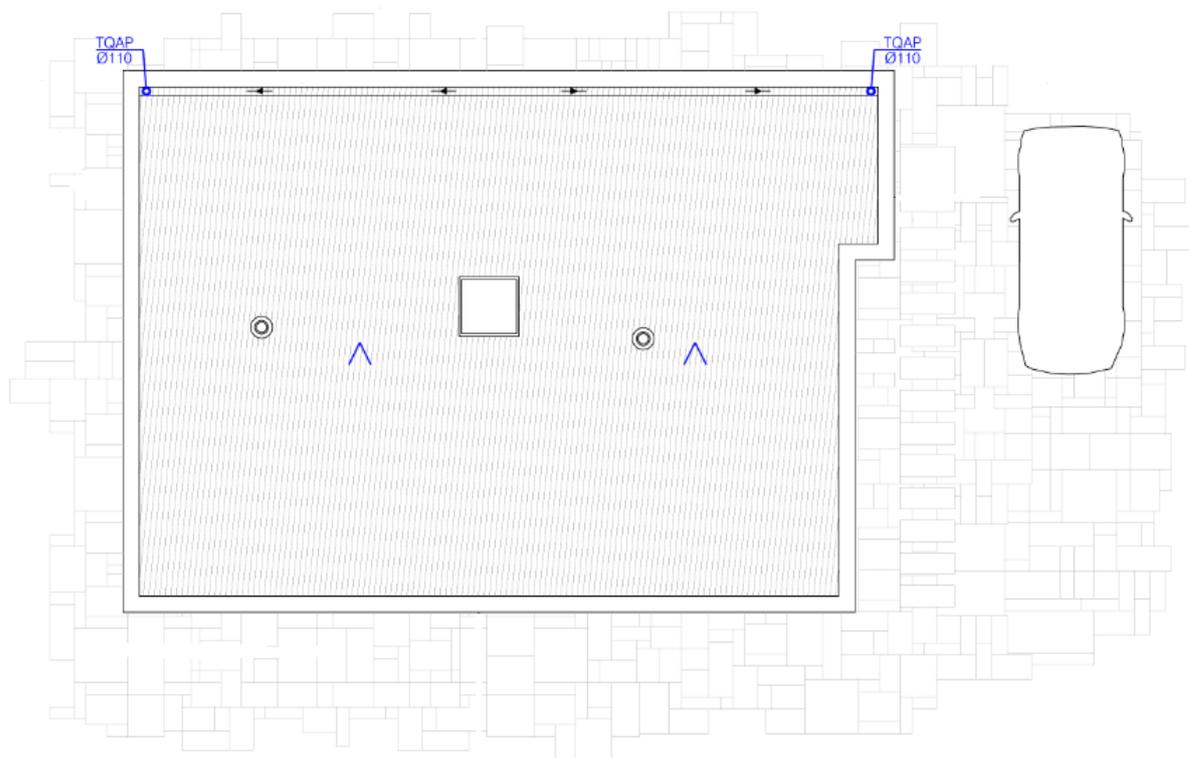


Figura 28: Planta da cobertura (sem escala)

4.2 Resultados da simulação do aproveitamento de água pluvial

4.2.1 Tarifário

As tarifas da água, saneamento e resíduos sólidos urbanos são maioritariamente constituídas por vários escalões, tendo cada um deles um valor por metro cubico diferente ($\text{€}/\text{m}^3$). Nas simulações de aproveitamento da chuva realizadas no programa *PSAAP*, utiliza-se tarifas obtidas a partir da média ponderada de todos os escalões.

As tarifas sem IVA foram calculadas no Anexo G, mas na tabela 2 apresenta-se as tarifas utilizadas com o respetivo IVA incluído.

Tabela 2: Tarifas com IVA de 6 % das quatro cidades analisadas

Tarifas (€/m³) com IVA				
	Braga	Bragança	Coimbra	Beja
Água	1,543	1,191	1,553	2,295
Saneamento	0,403	0,551	1,118	1,369
RSU	0,882	0,375	0,106	1,493

4.2.2 Simulação A: Simulação no programa *PSAAP* do aproveitamento de água pluvial para uma moradia unifamiliar

Neste capítulo introduz-se no programa os dados referentes á habitação tipo, variando-se apenas a localização da habitação. Foram feitas algumas considerações utilizadas em todas as simulações, nomeadamente a “capacidade máxima” analisada, “outros consumos” e “número de lavagens mensais ao pavimento e automóveis”. A capacidade do reservatório máxima analisada foi definida como sendo 20000 L, pois volumes superiores implicam um investimento inicial enorme que não se justifica numa aplicação doméstica. A variável “outros consumos” diz respeito a consumos não considerados pelo programa, referindo-se portanto a consumos extra como rega de plantas interiores, alimentação de animais, outras lavagens, etc., sendo considerado um valor estimado de 3 L. As lavagens mensais de pavimentos e automóveis dependem muito dos hábitos pessoais, estação do ano e utilização dos mesmos, logo é muito variável. Sendo assim, neste último caso considerou-se uma lavagem semanal dos automóveis (quatro mensais) e duas lavagens do pavimento por mês.

Tabela 3: Características da habitação tipo abastecida pelo SAAP

Características da habitação tipo	
Área de captação (m ²)	132
Área de pavimento (m ²)	110
Área de jardim (m ²)	100
Altura máxima (m)	5,3
Canalização pluvial do edifício (m)	25,4
Outros consumos (L)	3
Numero habitantes	5
Número de automóveis	3
Lavagens mensais do pavimento	2
Lavagens mensais de automóveis	4
Enterrado	Sim

4.2.2.1 Norte Litoral- Braga

Os dados introduzidos no programa *PSAAP* para a simulação do aproveitamento de água pluvial na cidade de Braga foram os que constam na figura 29.

Figura 29: Interface respetivo á simulação na cidade de Braga.

Alem dos dados introduzidos é visível o SAAP recomendado pelo programa. O SAAP recomendado é aquele que tem a capacidade que proporciona o menor PRI do SAAP. Como se pode perceber pela figura 29, a capacidade recomendada para o reservatório são 1500 L, o investimento inicial necessário na implantação do SAAP recomendado são 1902,8 € e o PRI necessário para o referido SAAP são 19,5 anos.

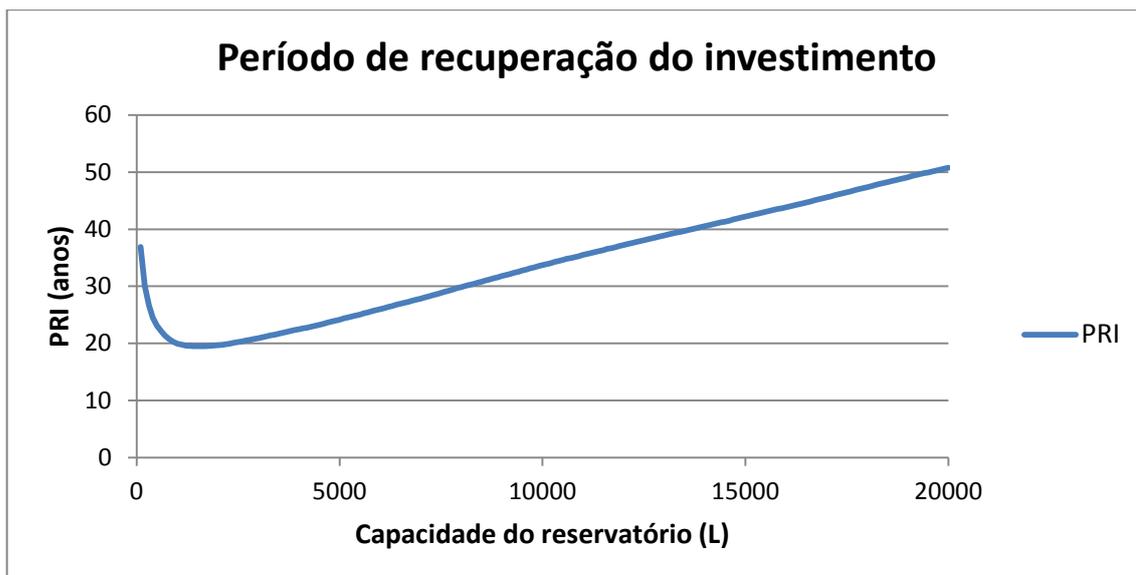


Figura 30: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

A figura 30 correspondente ao PRI do SAAP para cada capacidade do reservatório analisada e demonstra que as capacidades mais vantajosas economicamente são próximas dos 2000 L.

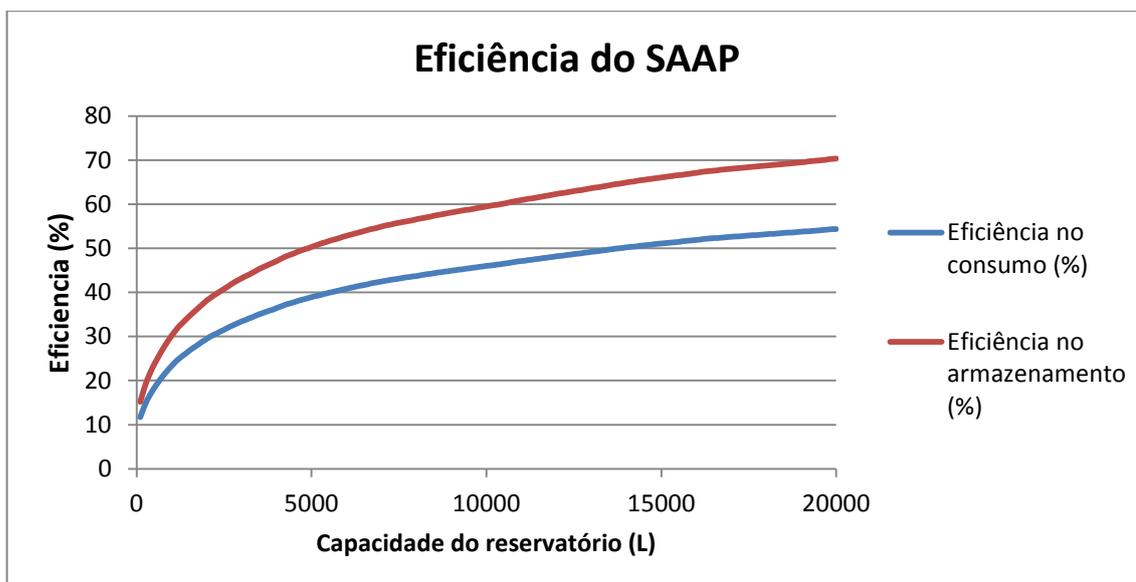


Figura 31: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

A eficiência no armazenamento expressa a percentagem de água captada que chega a ser efetivamente consumida. Esta eficiência ultrapassa os 50 % a partir dos 5000 L, mas apenas atinge valores altos para capacidades demasiado elevadas para uso doméstico devido ao investimento envolvido.

A eficiência no consumo é a percentagem de água consumida na habitação que é de origem pluvial (nos usos considerados). Esta eficiência parece estabilizar perto dos 60 %, sendo que a partir de 5000 L o seu crescimento não parece justificar a aposta em capacidades superiores.

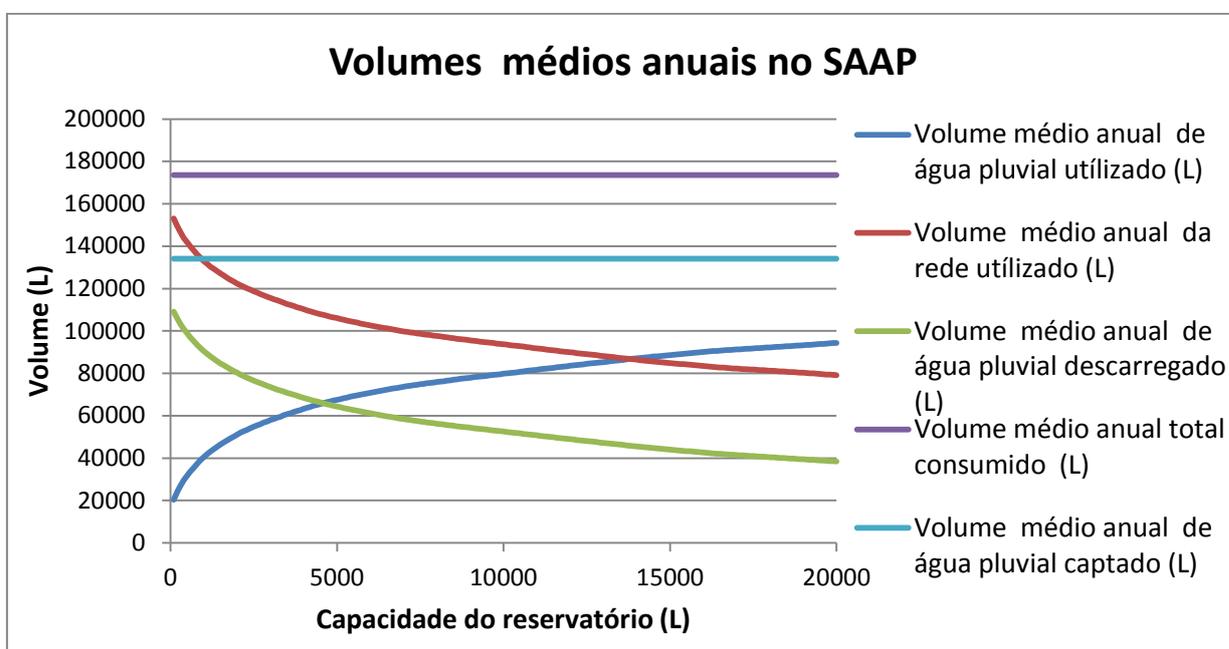


Figura 32: Volumos médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

Como se percebe pela figura 32, para a capacidade 14000L, dá-se o cruzamento das linhas correspondentes ao volume da rede utilizado e volume de precipitação utilizado, significando que a partir dessa capacidade se irá utilizar mais água pluvial que água potável na habitação.

Apesar do volume de água pluvial captado não estar distante do volume total consumido, o volume de água pluvial utilizado é sempre bastante inferior ao volume captado, o que significa que existe um desperdício muito significativo devido á abundancia de água nesta região.

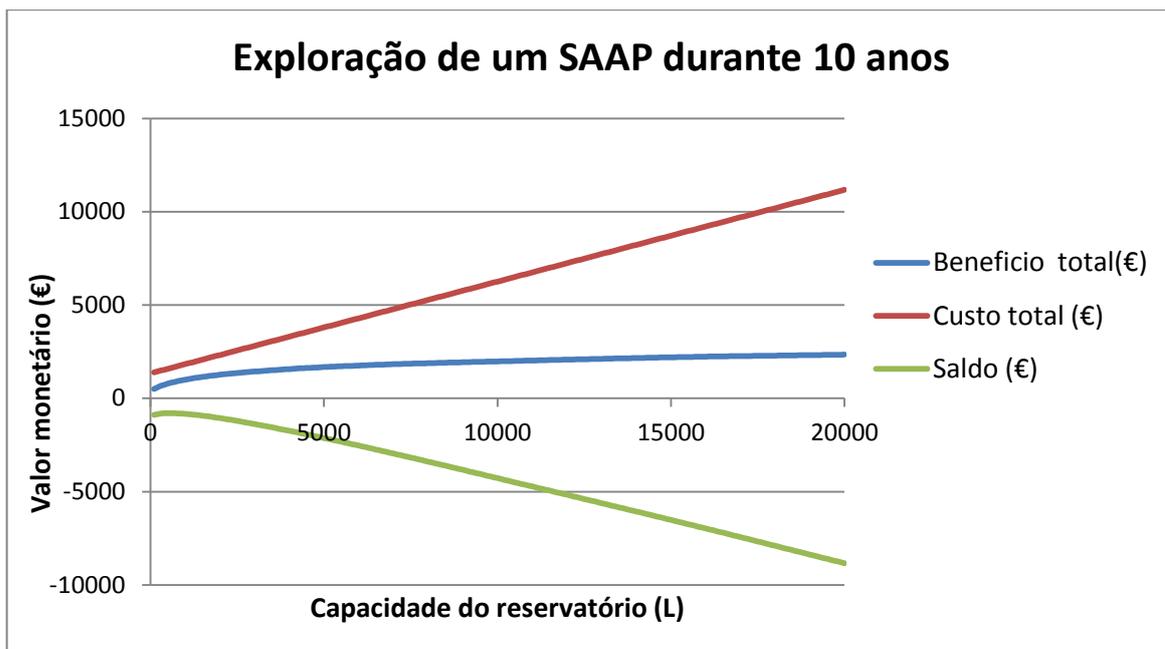


Figura 33: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

Como exemplo de custos e benefícios envolvidos neste investimento temos a figura 33 referente a um período de exploração de dez anos. Percebe-se que o saldo atinge o máximo próximo dos 1000 L e depois desce continuamente. Como seria de esperar o saldo em dez anos é sempre negativo, pois o PRI mais baixo corresponde a 19,5 anos (figura 29).

4.2.2.2 Região Norte Interior - Bragança

Para a cidade de Bragança foram os correspondentes dados, sendo estes visíveis na figura 34.

Figura 34: Interface respetivo á simulação na cidade de Bragança.

Segundo o programa, o SAAP economicamente mais atraente para a cidade de Bragança necessita de um investimento inicial de 2099,6 € e tem um PRI de 50,8 anos. O referido SAAP deve possuir um reservatório com uma capacidade de 1900 L para que o SAAP tenha o menor PRI possível.

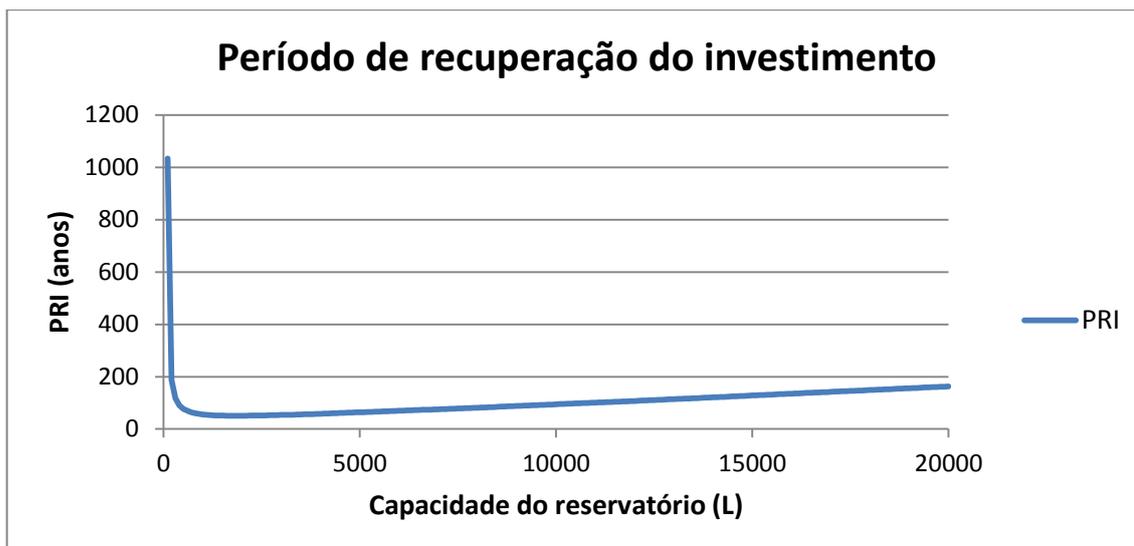


Figura 35: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

É facilmente perceptível a partir da figura 35, que um SAAP para uma única moradia unifamiliar na cidade de bragança, não é um investimento atraente do ponto de vista económico, pois o PRI é sempre muito alto. Os valores de PRI mais baixos correspondem a capacidades próximas dos 2000 L.

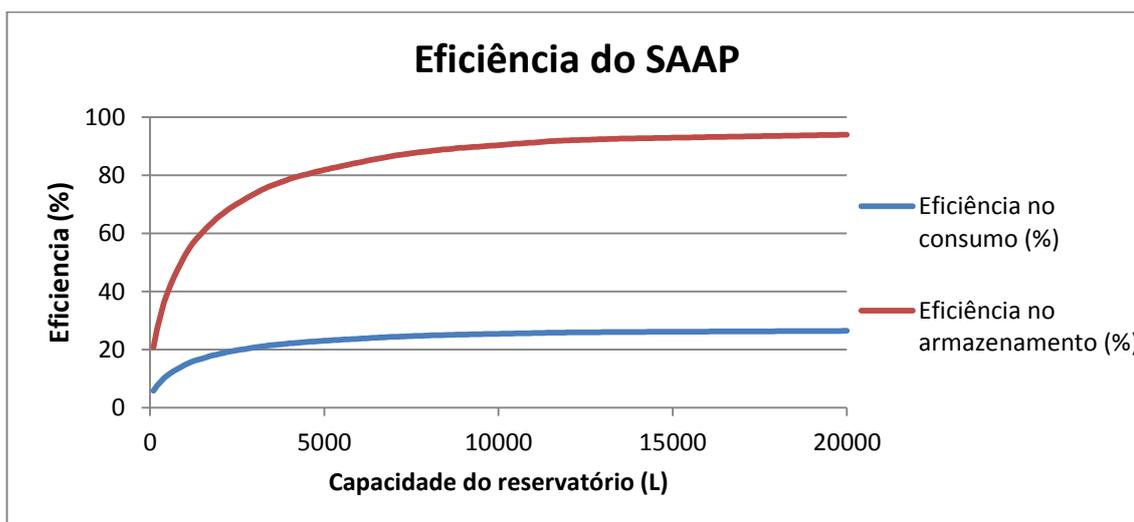


Figura 36: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

Pela linha da eficiência no consumo, percebe-se que a percentagem de água pluvial utilizada é sempre bastante baixa, estabilizando abaixo dos 30 %. Esta eficiência dificilmente poderia ser alta, uma vez que a precipitação anual desta região é reduzida comparativamente ao Norte Litoral ou Centro do País.

A eficiência no armazenamento alcança valores altos a partir de capacidades na ordem dos 4000 L, o que significa que o desperdício a partir dessa capacidade será bastante reduzido.

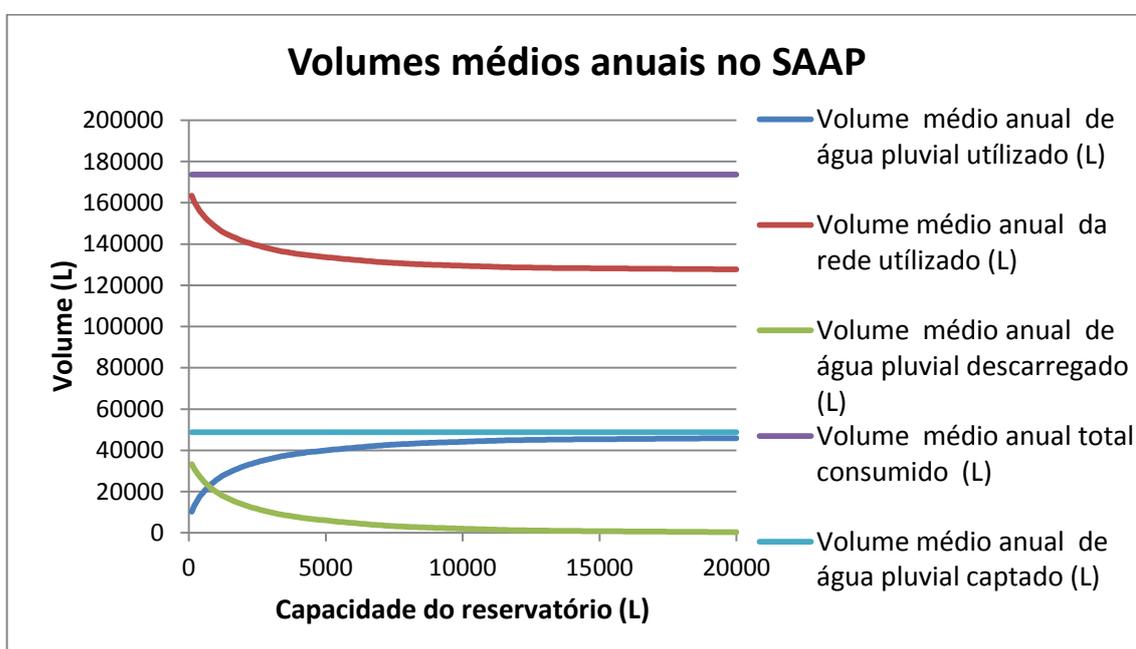


Figura 37: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

A diferença entre o volume de água pluvial utilizado e volume total consumido é enorme, tal como a eficiência no consumo indicava na figura 36. Como o volume de água pluvial captada é bastante reduzido, existe a necessidade de usar em muito maior quantidade a água da rede pública.

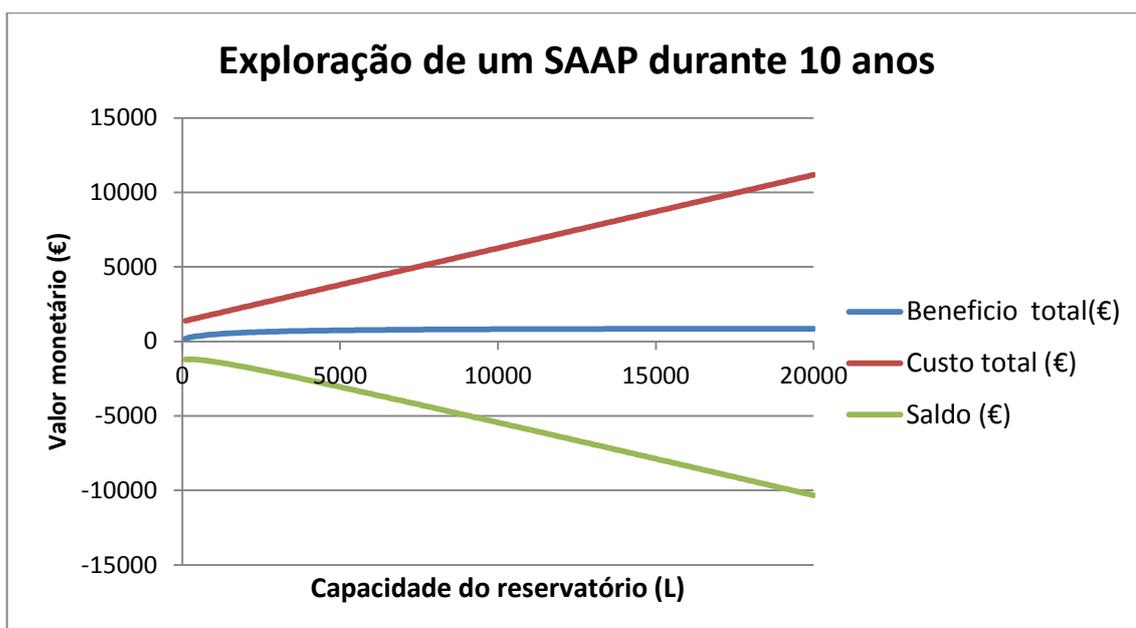


Figura 38: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

Como se pode visualizar na figura 38 para um período de exploração de dez anos, o saldo é sempre bastante negativo, uma vez que o menor PRI para Bragança é 50,8 anos (figura 34).

4.2.2.3 Região Centro - Coimbra

Para a cidade de Coimbra, os dados introduzidos no simulador foram os seguintes.

Figura 39: Interface respetivo á simulação na cidade de Coimbra.

Na cidade de Coimbra, o SAAP ideal economicamente terá um investimento inicial de 2001,2 €, um PRI de 28,7 anos e uma capacidade do reservatório de 1700 L.

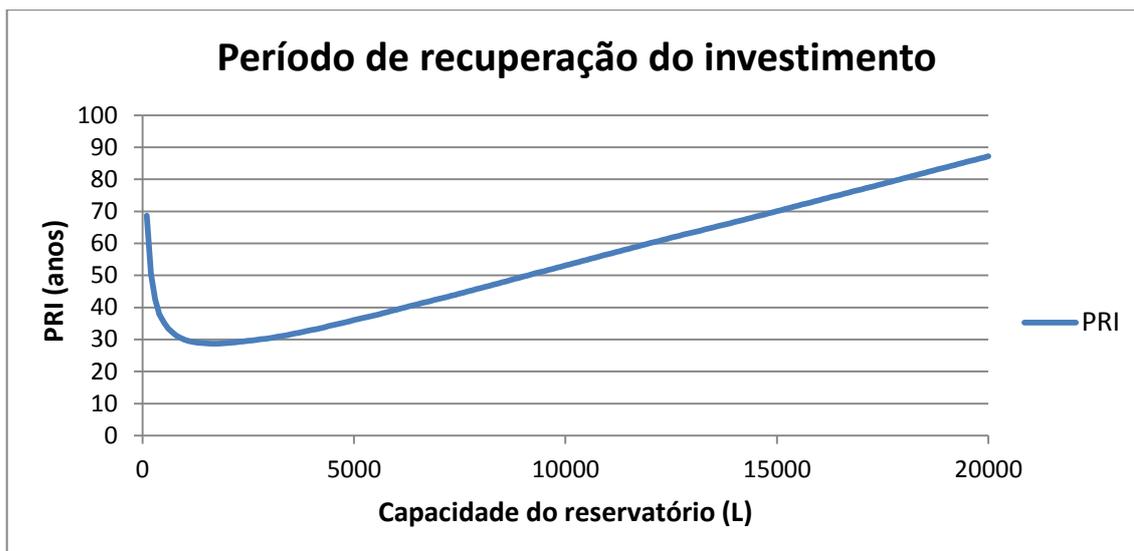


Figura 40: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

O PRI apresenta os menores valores para capacidades próximas de 2000 L, correspondendo para as restantes capacidades valores de PRI muito superiores.

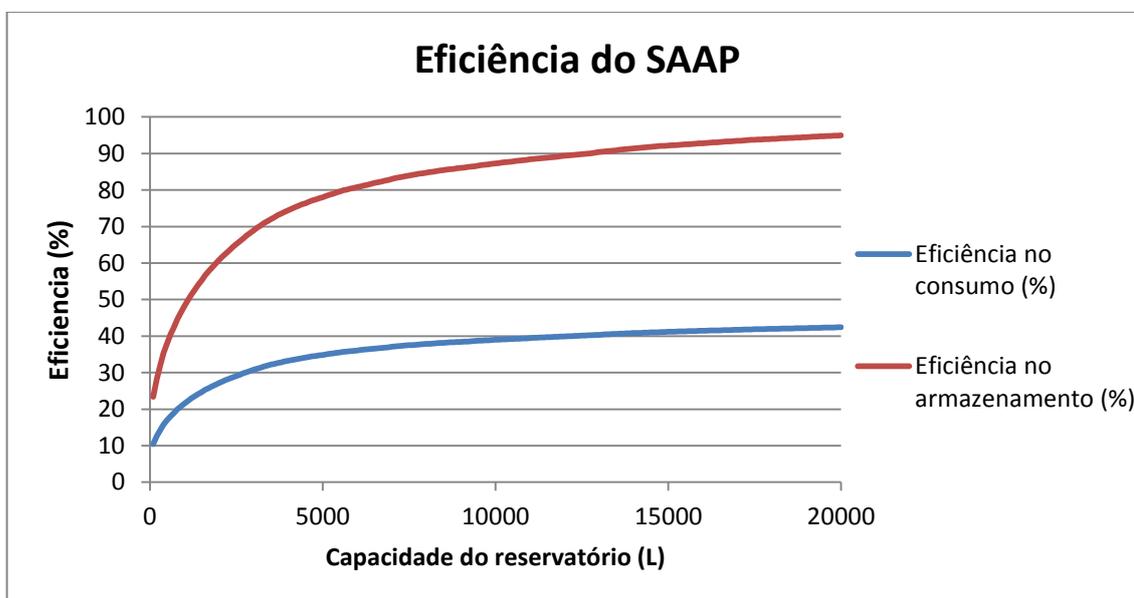


Figura 41: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

A percentagem de água pluvial utilizada na residência é sempre consideravelmente baixa, pois parece estabilizar abaixo de 50 %. A eficiência no armazenamento atinge valores elevados a partir de capacidades á volta de 5000 L, o que significa que a água desperdiçada que é descarregada não atinge grandes valores.

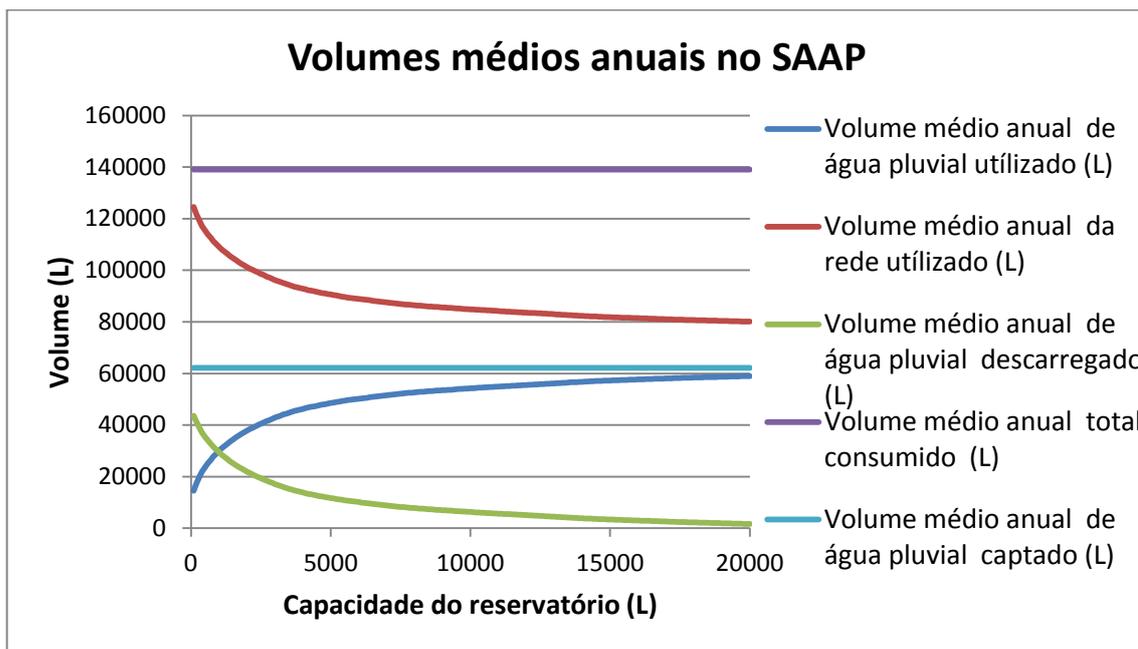


Figura 42: Volumos médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

O volume de água pluvial captado representa menos de metade do volume total consumido, o que leva a que o volume de água pluvial utilizado seja sempre menor que o volume da rede utilizado.

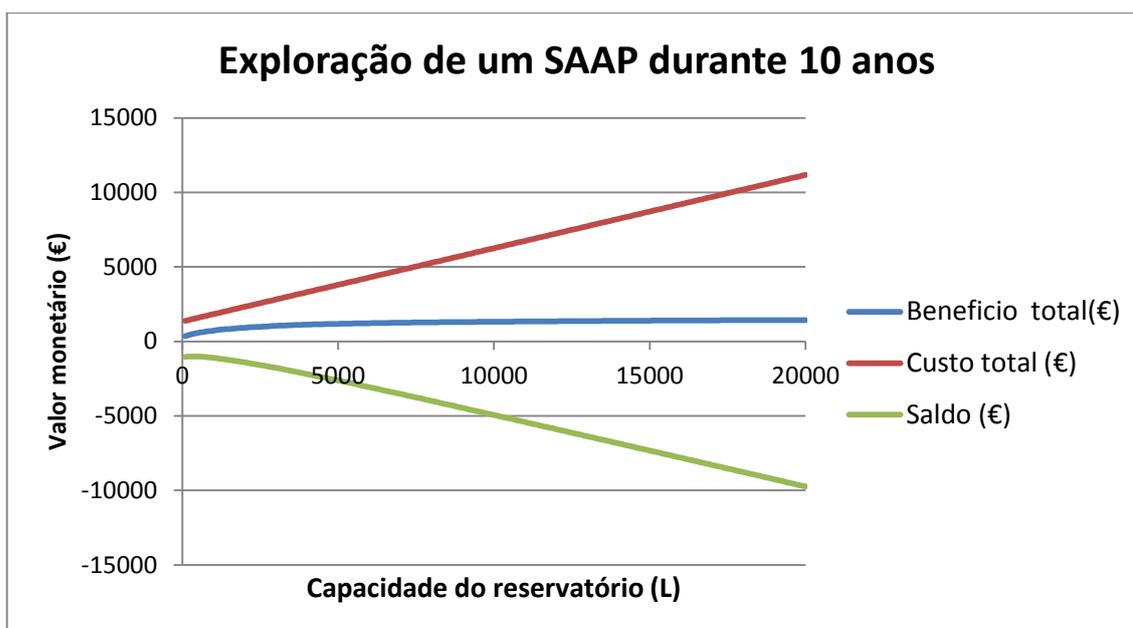


Figura 43: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

O saldo nunca atinge valores positivos pois este gráfico diz respeito a um período de exploração de dez anos, enquanto o PRI mais baixo obtido é 28,7 anos. O saldo atinge o pico á volta da capacidade de 1000 L.

4.2.2.4 Região Sul - Beja

Quanto á região Sul, mais concretamente a cidade de Beja, foram introduzidos os dados que constam na figura 44.

Figura 44: Interface respetivo á simulação na cidade de Beja.

Para a cidade de Beja, o programa PSAAP aconselha um SAAP com uma capacidade de 1600 L. O Referido SAAP implica na sua implantação um investimento inicial de 1928 € e tem um PRI de 20,5 anos.

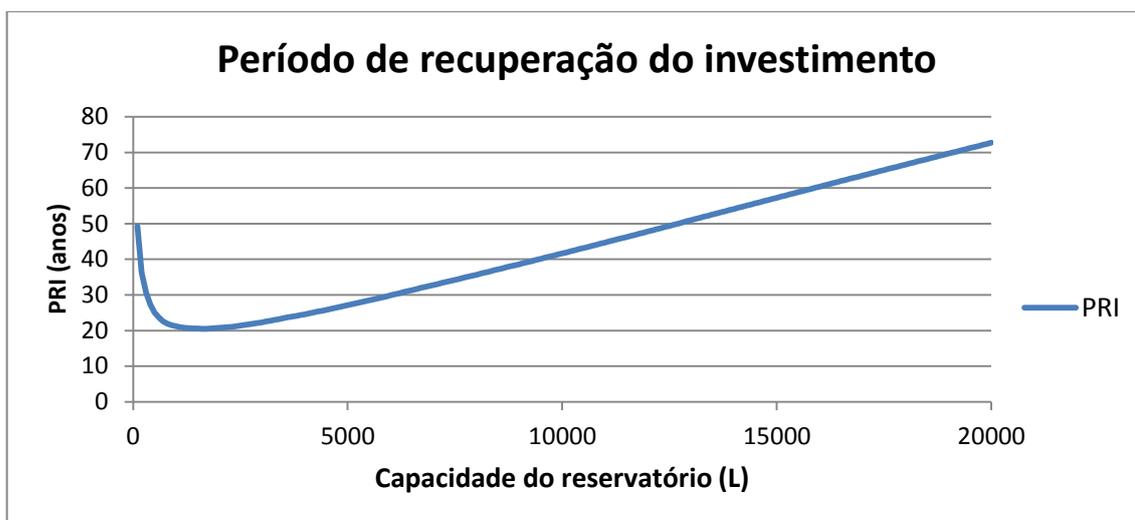


Figura 45: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

O menor PRI acontece próximo da capacidade 2000 L.

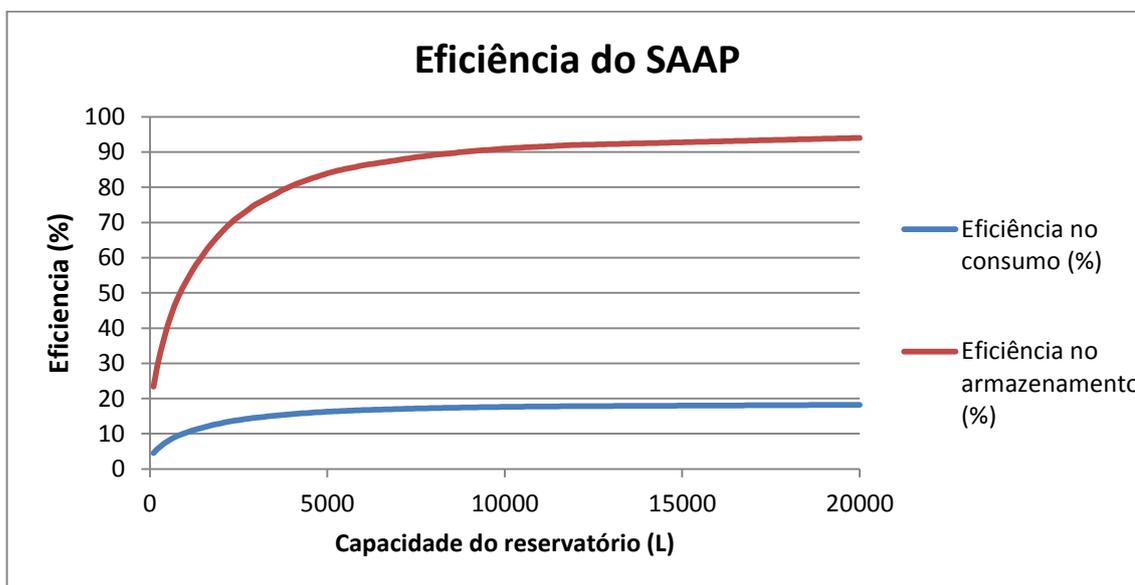


Figura 46: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

A eficiência no consumo atinge valores muito baixos pois a curva correspondente estabiliza para valores inferiores a 20%. Este facto deve-se á baixa precipitação que não permite um consumo de água pluvial mais elevado na habitação.

A eficiência no armazenamento para capacidades superiores a 4000 L atinge valores elevados devido ao baixo desperdício que é conseguido.

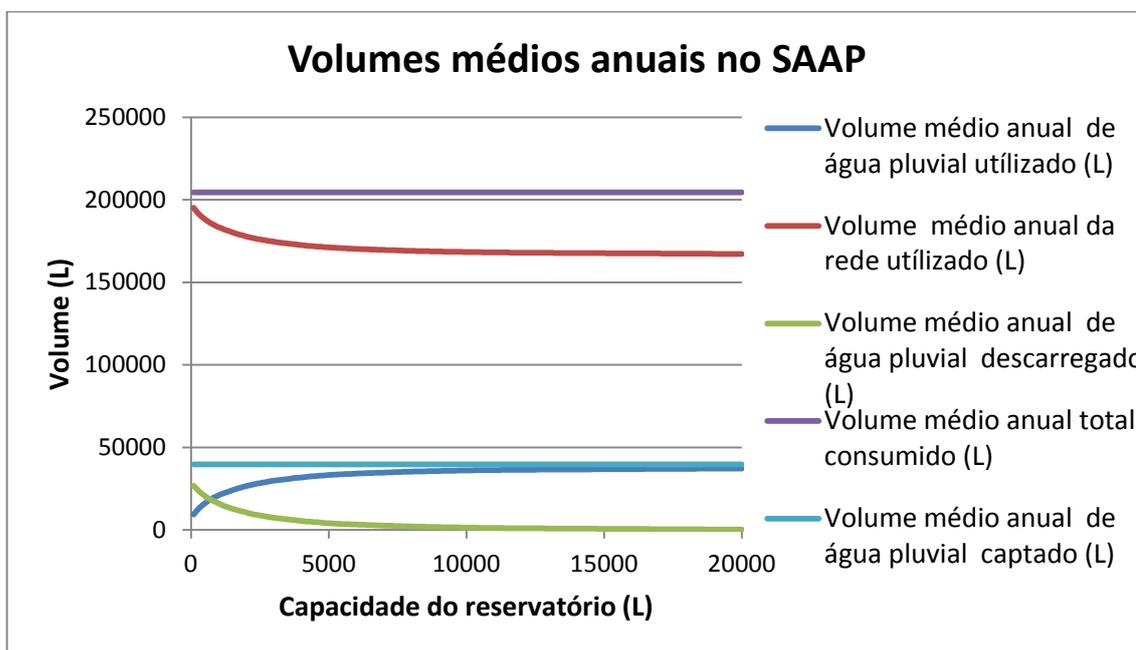


Figura 47: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

A baixa precipitação anual em Beja é demonstrada pela diferença de valores entre o volume total consumido e o volume de água pluvial captado. Sendo assim, o volume de água pluvial utilizado será sempre muito inferior ao volume da rede utilizado. As perdas por descarregamento são bastante baixas a partir de capacidades superiores a 5000 L, levando a que o volume captado seja similar ao volume de água pluvial utilizado.

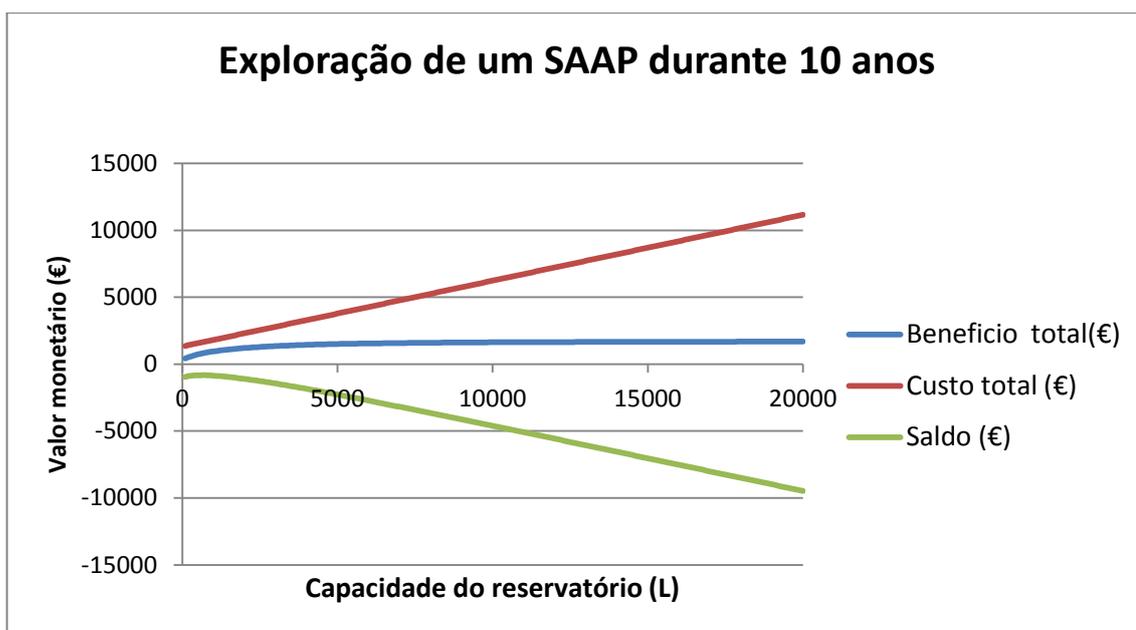


Figura 48: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

O saldo no período de dez anos onde decorreu a análise é sempre negativo pois o PRI mais baixo obtido é neste caso de 20,5 anos (Figura 44).

4.2.3 Simulação B: Simulação no programa *PSAAP* do aproveitamento de água pluvial para um conjunto de quatro moradias unifamiliares

Nesta simulação para quatro moradias foram feitas as mesmas considerações que na simulação para uma moradia (simulação A). Os dados introduzidos no programa dizem respeito às características das quatro habitações em conjunto.

A simulação B exige em relação á simulação A, um maior custo a nível do filtro (maior área de captação), da canalização, da eletricidade utilizada na bomba (maior consumo), do reservatório (maior consumo e maior área de captação) e volume de escavação (maior reservatório).

A simulação B obtém um maior benefício do que a simulação A, pois o consumo será maior e consequentemente o valor poupado (menor utilização da água da rede publica) será também maior.

Tabela 4: Características das quatro habitações abastecidas pelo SAAP

Características das quatro habitações em conjunto	
Área de captação (m ²)	528
Área de pavimento (m ²)	440
Área de jardim (m ²)	400
Altura máxima (m)	5,3
Canalização do edifício (m)	101,6
Outros consumos (L)	12
Numero habitantes	20
Número de automóveis	12
Lavagens mensais do pavimento	2
Lavagens mensais de automóveis	4
Enterrado	Sim

4.2.3.1 Região Norte Litoral - Braga

Os dados usados para a cidade de Braga constam na figura 49.

Figura 49: Interface respetivo á simulação na cidade de Braga.

O SAAP recomendado para abastecer um conjunto de quatro moradias unifamiliares, deve possuir uma capacidade de armazenamento igual a 2100 L. O referido SAAP implica um investimento no ano zero igual a 2919,5 € e são necessários 9,7 anos para recuperar o investimento realizado.

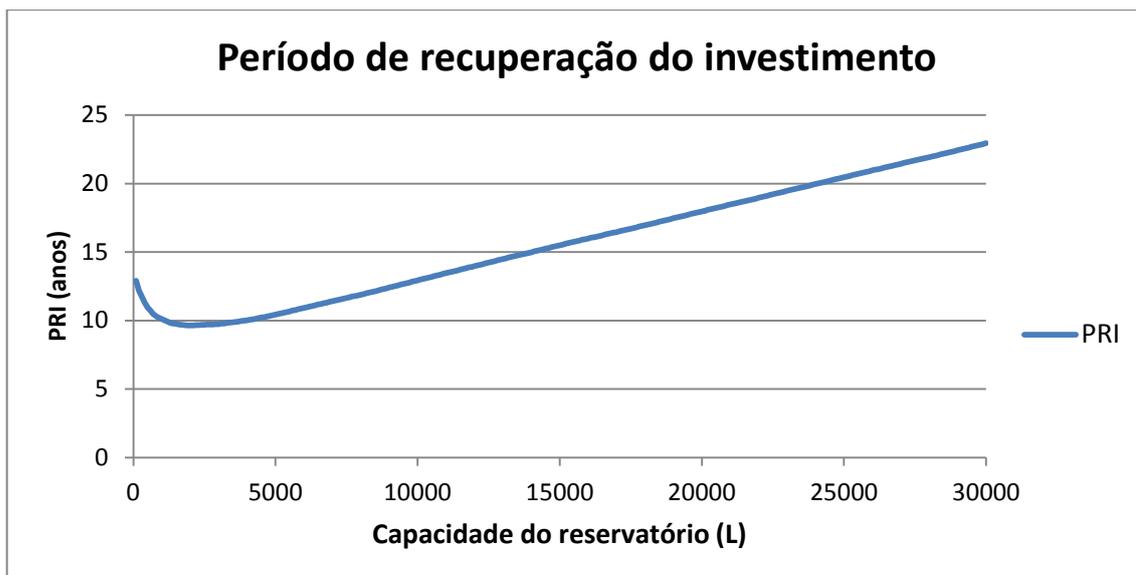


Figura 50: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

Como se pode observar na figura 50, as capacidades próximas dos 3000 L implicam um menor PRI do SAAP.

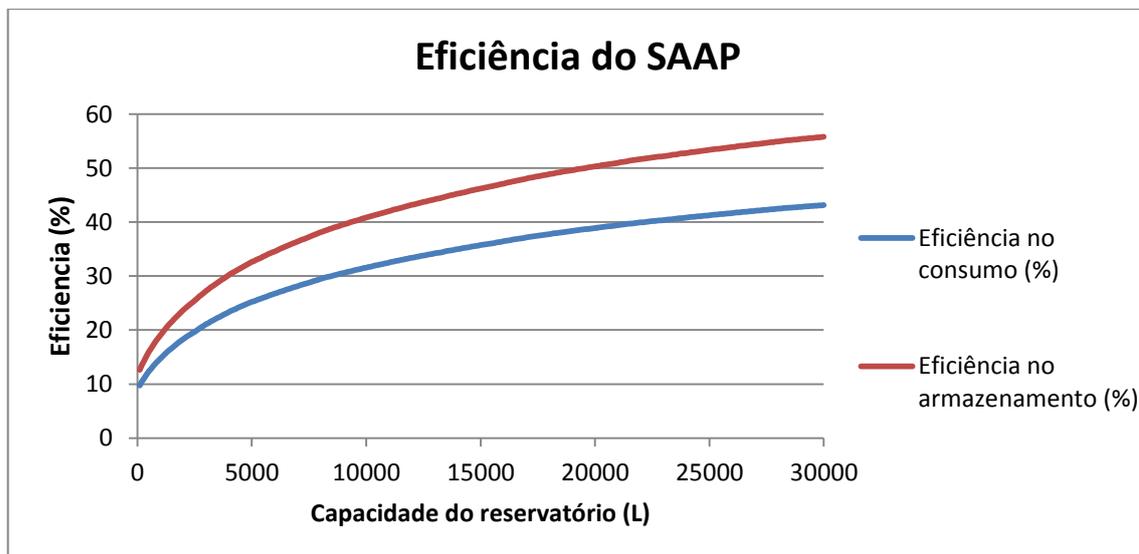


Figura 51: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

As eficiências do SAAP atingem valores próximos dos 50 % para a capacidade máxima de 30000 L.

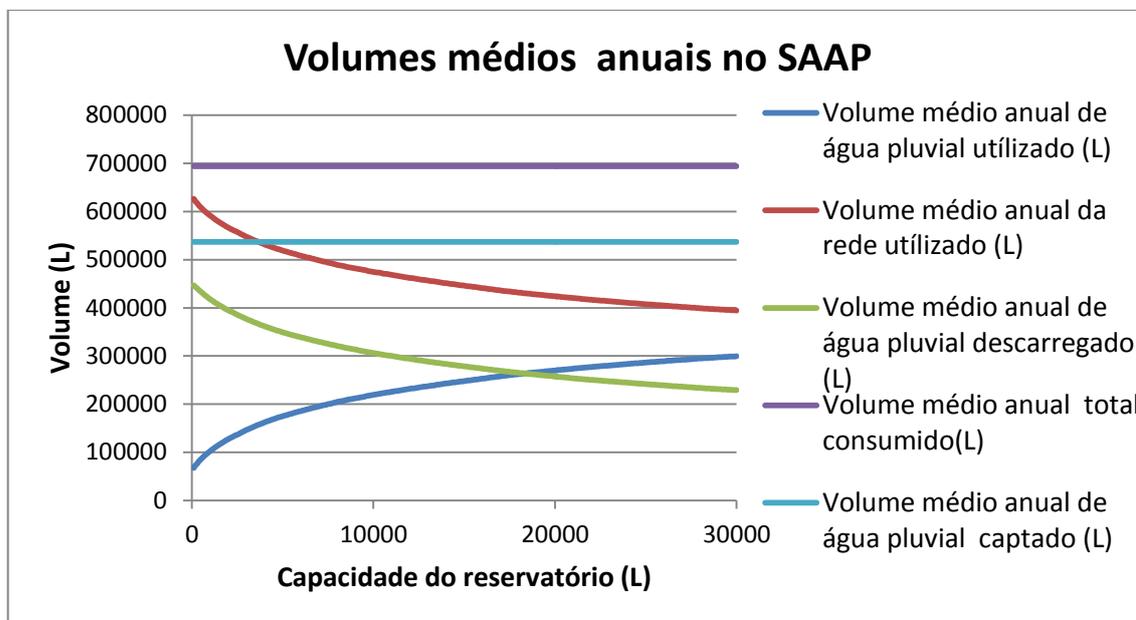


Figura 52: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

É visível na figura 52 que existe um grande volume de água da chuva desperdiçado devido á abundância de precipitação na zona do Minho. O volume captado não está muito distante do volume total consumido na habitação, mas devido ao desperdício o volume de água pluvial utilizado representa uma parte menor do volume total consumido.

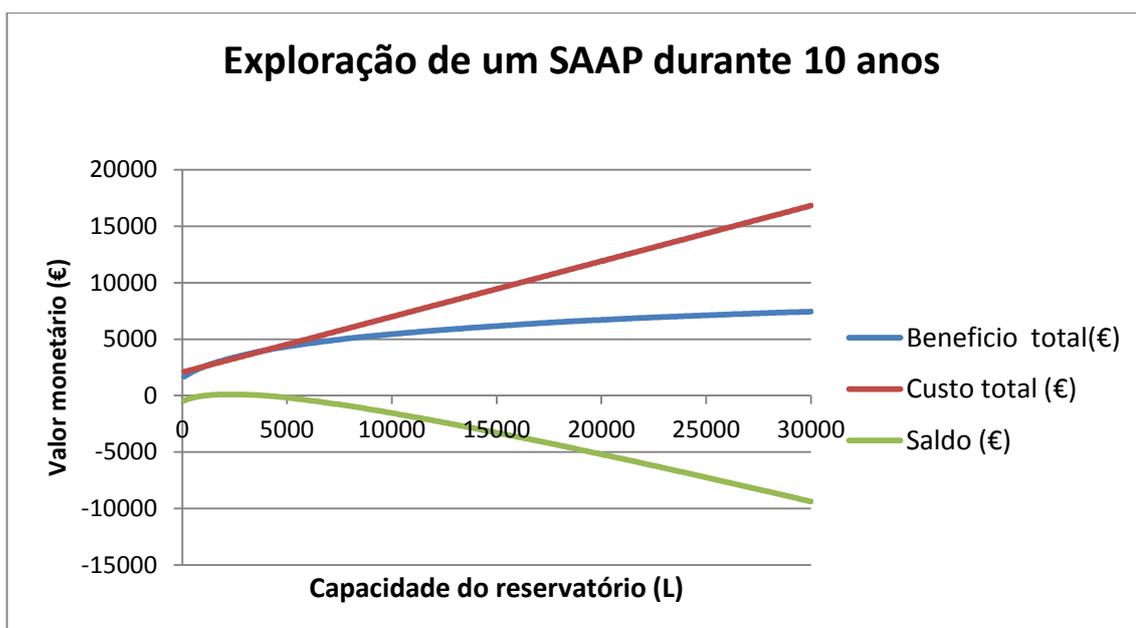


Figura 53: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

A figura 53 representa um período de dez anos e como o menor PRI obtido em Braga é 9,7 anos para uma capacidade de 2100 L, o saldo próximo dessa capacidade é positivo.

4.2.3.2 Região Norte Interior – Cidade de Bragança

Quanto á cidade de Bragança foram simulados os dados visíveis na figura 54.

Figura 54: Interface respetivo á simulação na cidade de Bragança.

O SAAP recomendado para abastecer quatro habitações na cidade de Bragança deve ter uma capacidade de 3300 L e necessita de um investimento inicial de 3509,9 € e 22,2 anos para recuperar o investimento realizado.

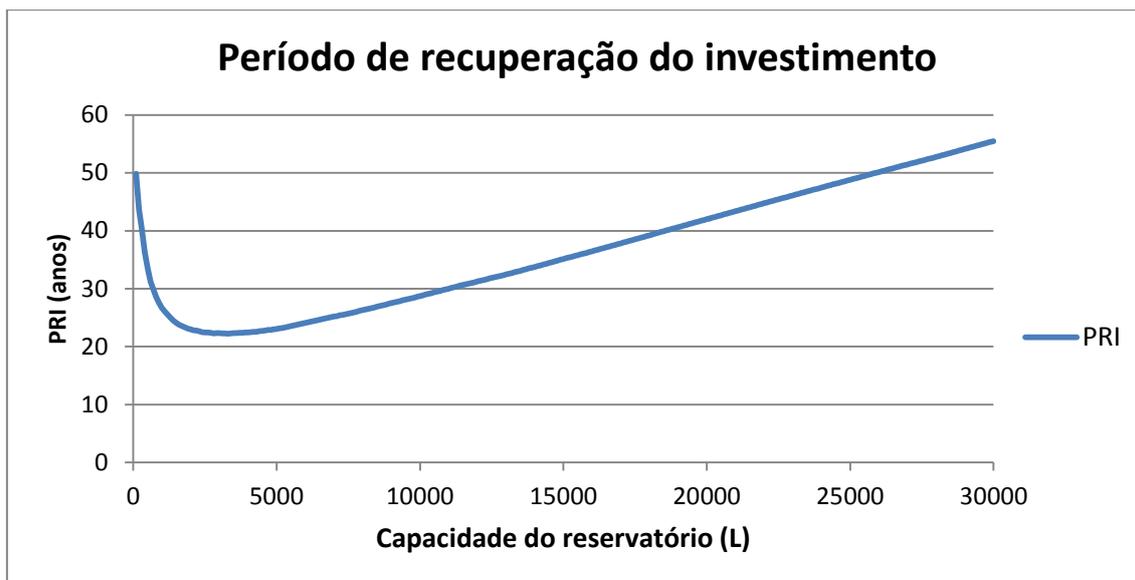


Figura 55: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

Como se vê na figura 54, o menor PRI obtido são 22,2 anos para uma capacidade de 3300 L, sendo este facto verificável na figura 55 onde o menor PRI acontece para capacidades próximas dos 3000 L.

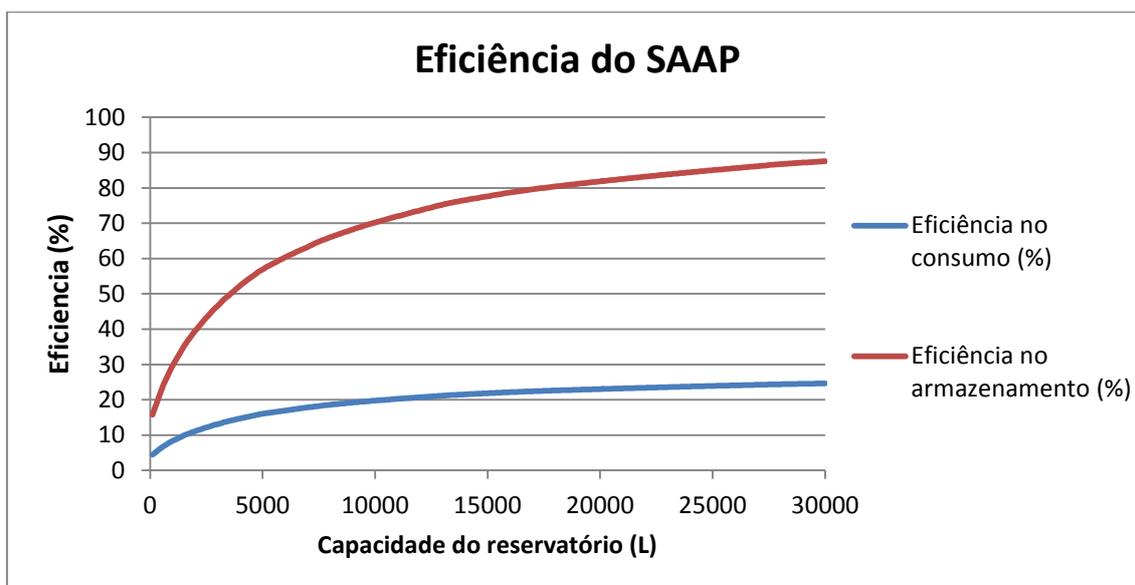


Figura 56: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

Na figura 56 observa-se que a percentagem de água consumida de origem pluvial nunca será alta, pois não ultrapassa os 30 %. A eficiência no armazenamento atinge valores bastante altos para capacidades superiores a 10000 L, provavelmente devido á baixa precipitação nesta região que possibilita o armazenamento e consumo da maior parte da água pluvial captada, sem existir grandes desperdícios.

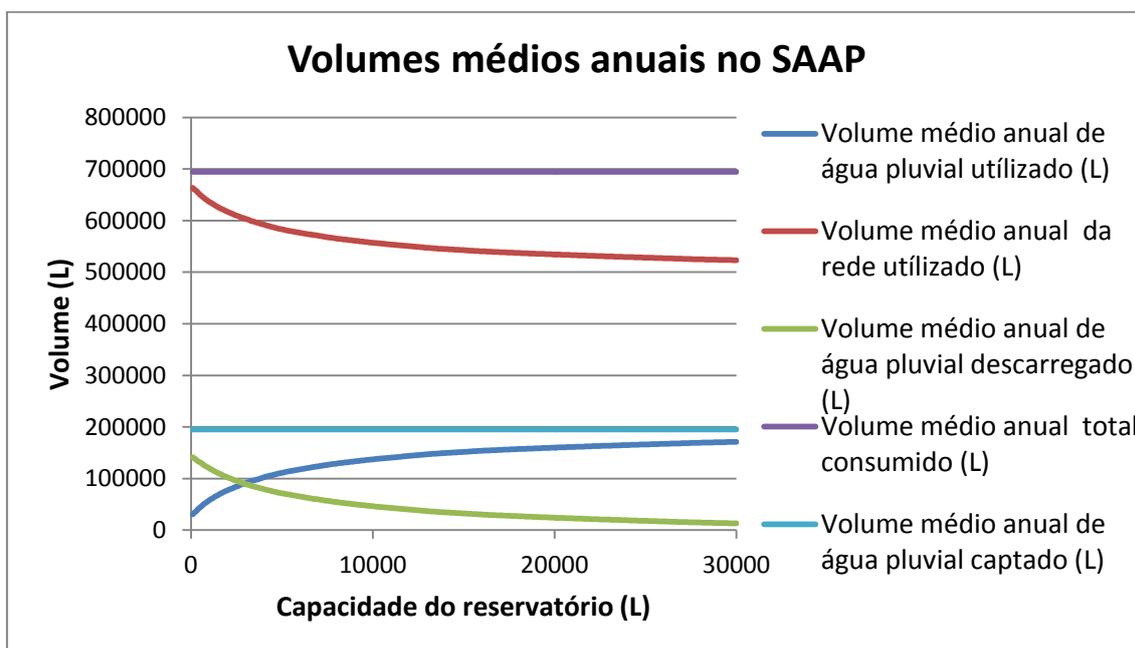


Figura 57: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

A figura 57 indica uma grande diferença entre o volume pluvial captado e volume total consumido, devido á baixa precipitação desta região. Em consequência deste facto, o volume de água pluvial utilizado será sempre muito menor que o volume da rede pública utilizado. Para grandes capacidades o desperdício é muito baixo, pois a precipitação não é abundante.

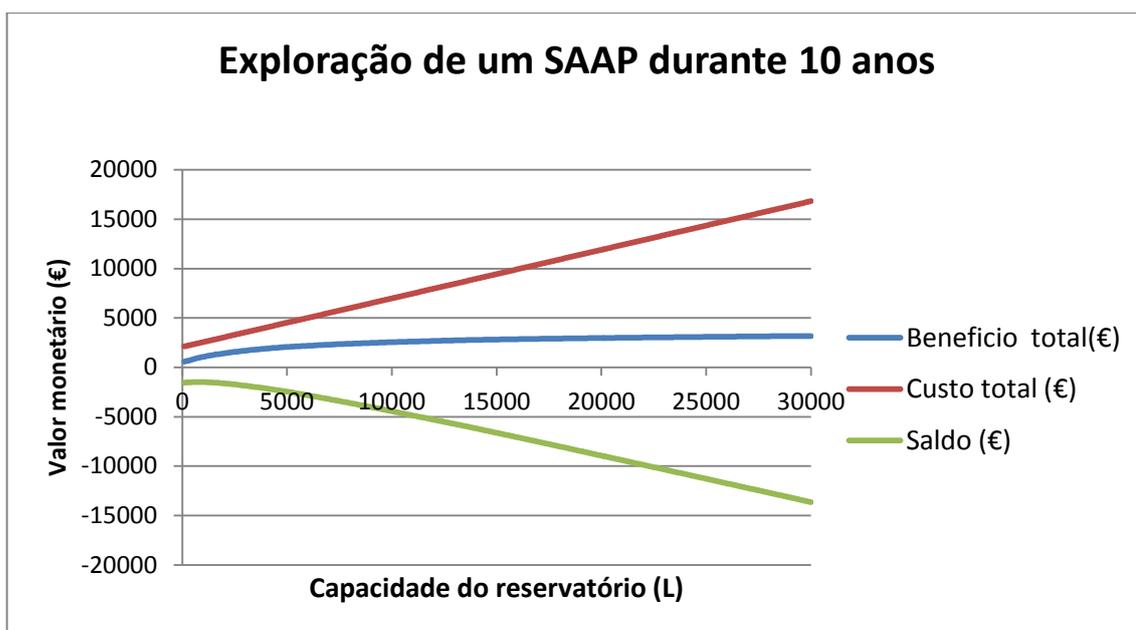


Figura 58: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

Num período de dez anos o saldo é sempre negativo pois o menor PRI obtido em Bragança é 22,2 anos.

4.2.3.3 Região Centro – Cidade de Coimbra

Para a região Centro, nomeadamente na cidade de Coimbra foram utilizados os dados constantes na figura 59.

Sistema de captação de águas pluviais

Introdução de dados

Área de captação	528	[m ²]
Área de pavimento	440	[m ²]
Área de jardim	400	[m ²]
Altura máxima	5,3	[m]
Capacidade máxima	30000	[L]
Canalização no edifício	101,6	[m]
Tarifa média da água	1,553	[€/m ³]
Tarifa média do saneamento	1,118	[€/m ³]
Tarifa média de resíduos sólidos	0,106	[€/m ³]
Tarifa média da electricidade	0,1393	[€/Kwh]
Outros consumos	12	[L/d]

Localização

Norte litoral Norte interior
 Centro Sul

Número

Habitantes: 20

Automoveis: 12

Lavagens mensais

Pavimento: 2

Automoveis: 4

Reservatório

Enterrado Não enterrado

SAAP

Capacidade reservatório: 2400 [L] Investimento inicial: 3067,1 [€] PRI: 13,5

Figura 59: Interface respetivo á simulação na cidade de Coimbra.

Na cidade de Coimbra, o SAAP ideal do ponto de vista económico é um SAAP constituído por uma capacidade de 2400 L. Este SAAP necessita de um investimento inicial de 3067,1 € e um PRI de 13,5 anos.

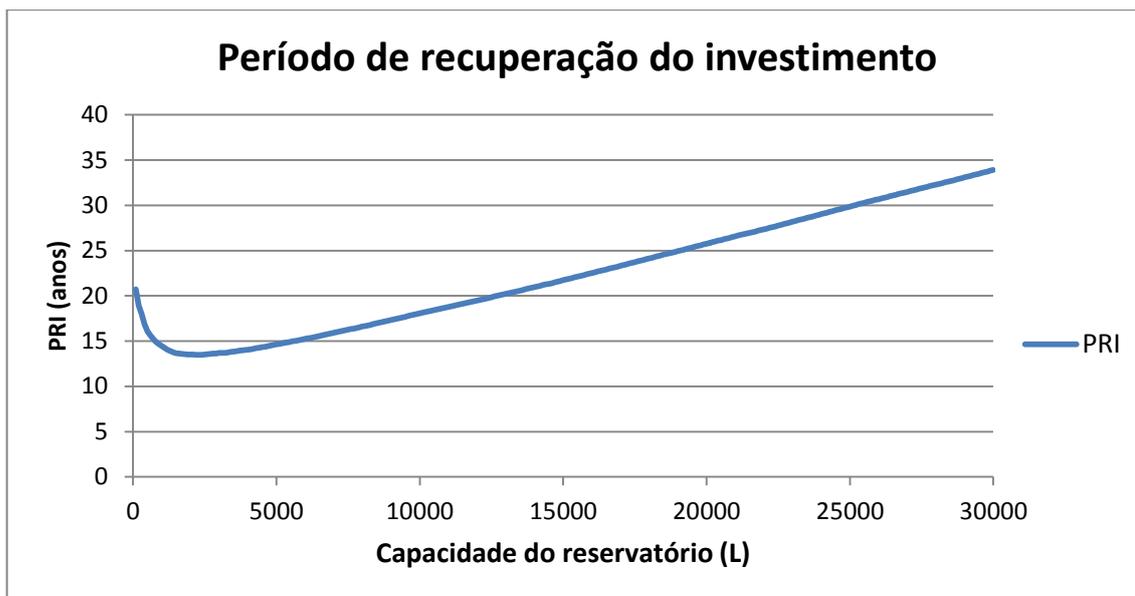


Figura 60: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

As capacidades próximas dos 2000 L apresentam menores PRI para o SAAP, sendo as restantes menos compensadoras.

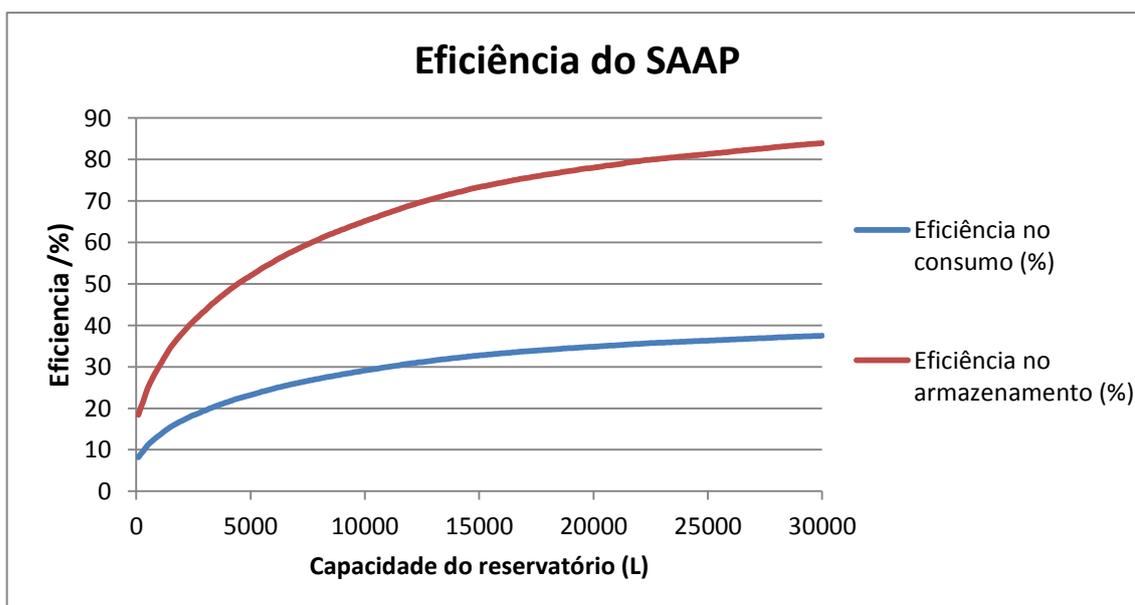


Figura 61: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

A eficiência no consumo parece estabilizar nos 40 %, nunca atingindo uma grande percentagem. A eficiência no armazenamento consegue atingir valores altos, mas apenas a partir dos 15000L.

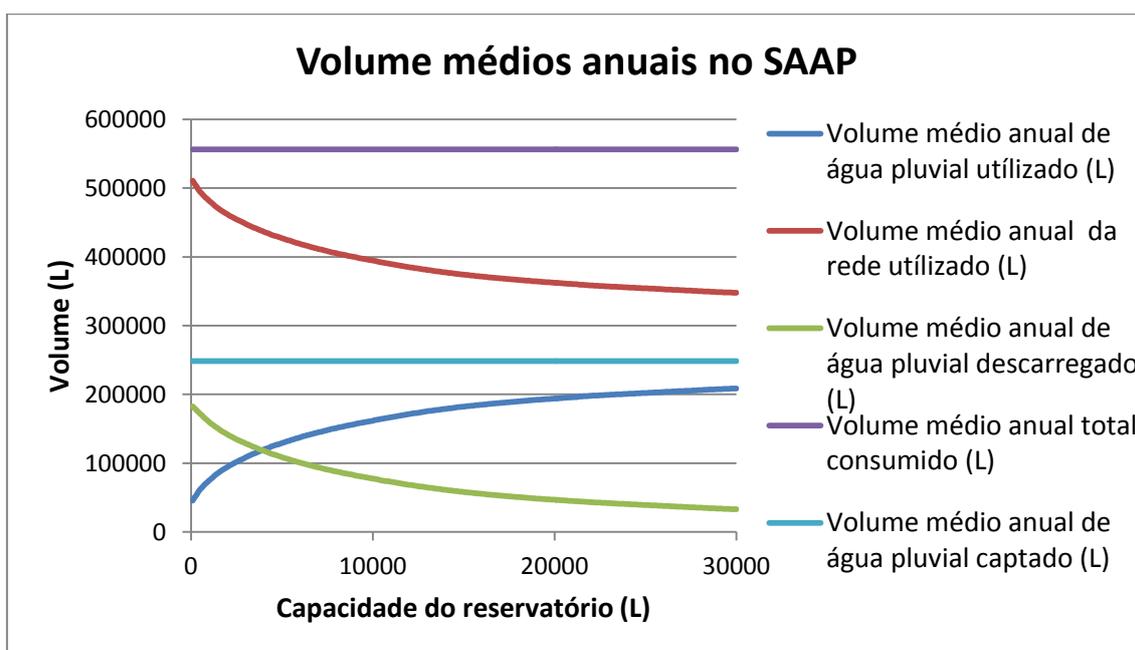


Figura 62: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

O volume de água pluvial captado representa cerca de metade do volume total consumido nas quatro habitações. À volta dos 4000 L dá-se o cruzamento das curvas correspondentes ao volume pluvial utilizado e desperdiçado, significando que nesse ponto passa a existir maior aproveitamento que desperdício de água pluvial.

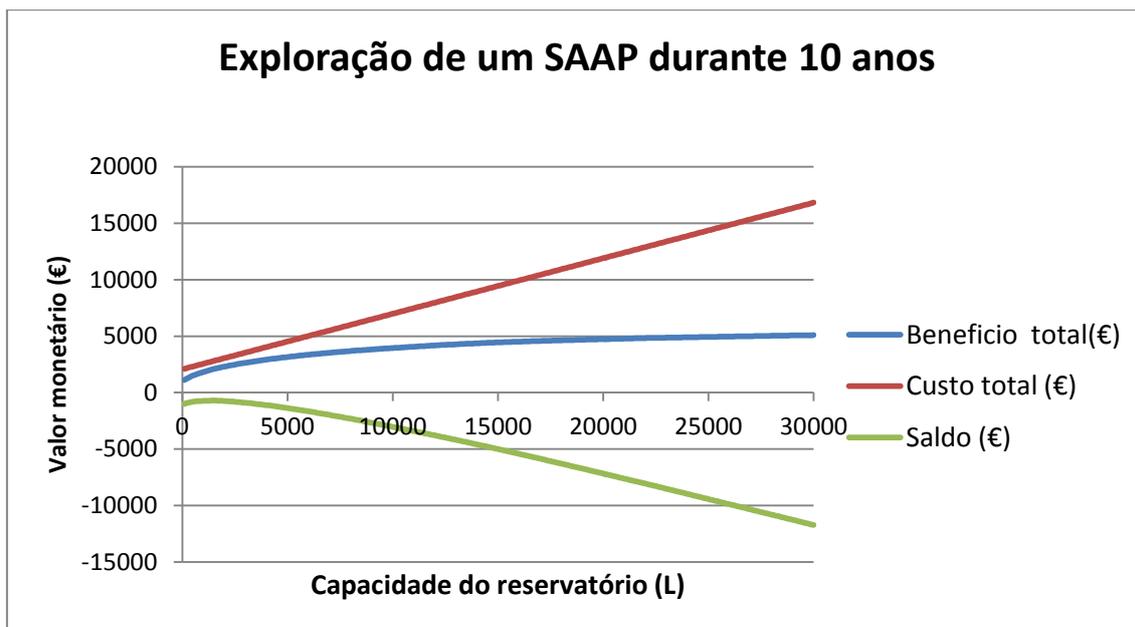


Figura 63: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

O saldo é sempre negativo para um período de exploração de dez anos, pois o menor PRI obtido foram 13,5 anos para uma capacidade de 2400 L (figura 59).

4.2.3.4 Região Sul – Cidade de Beja

Na cidade de Beja foram introduzidos os dados que constam na figura 64.

Figura 64: Interface respetivo á simulação na cidade de Beja.

Segundo o programa o SAAP com maior viabilidade económica na cidade de Beja deverá ter uma capacidade de 2700 L e implica um investimento inicial de 3214,7 € e um PRI de 10,3 anos.

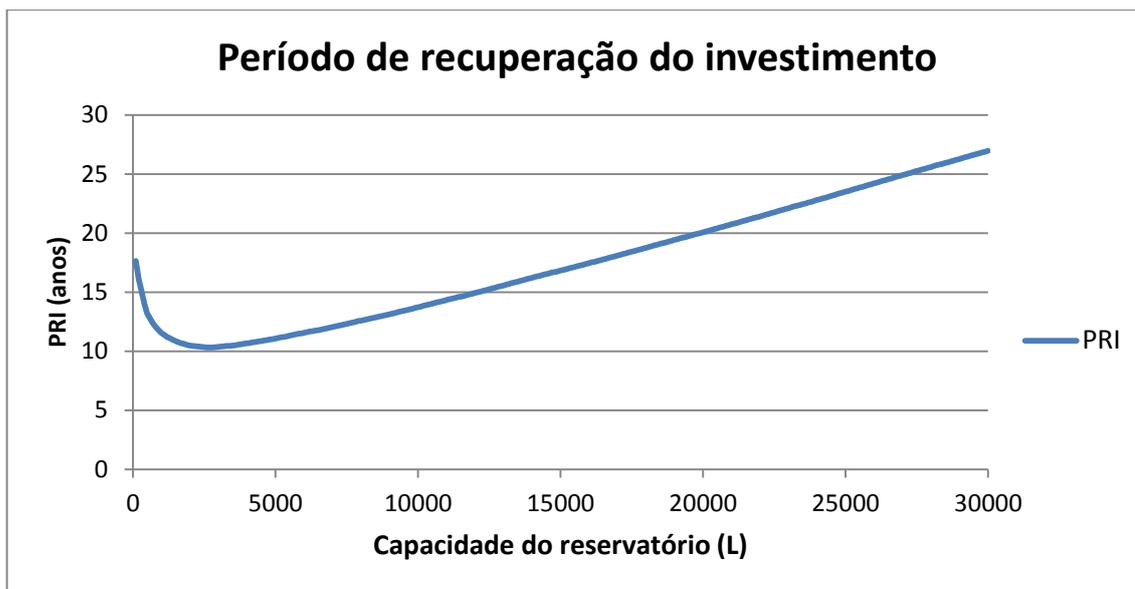


Figura 65: PRI do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

Percebe-se pela figura 65 que para capacidades próximas dos 3000 L, obtém-se menores PRI.

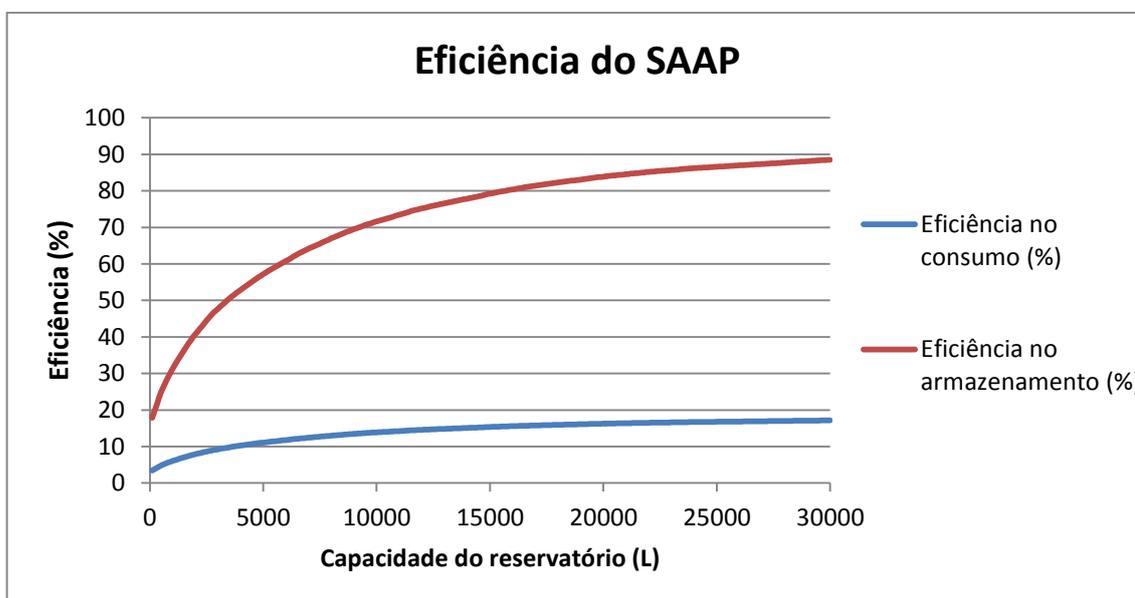


Figura 66: Eficiência do SAAP para cada capacidade analisada pelo programa.

A eficiência no consumo é bastante reduzida, nunca ultrapassando os 20%. A eficiência no armazenamento atinge valores elevados, mas apenas a partir dos 10000 L.

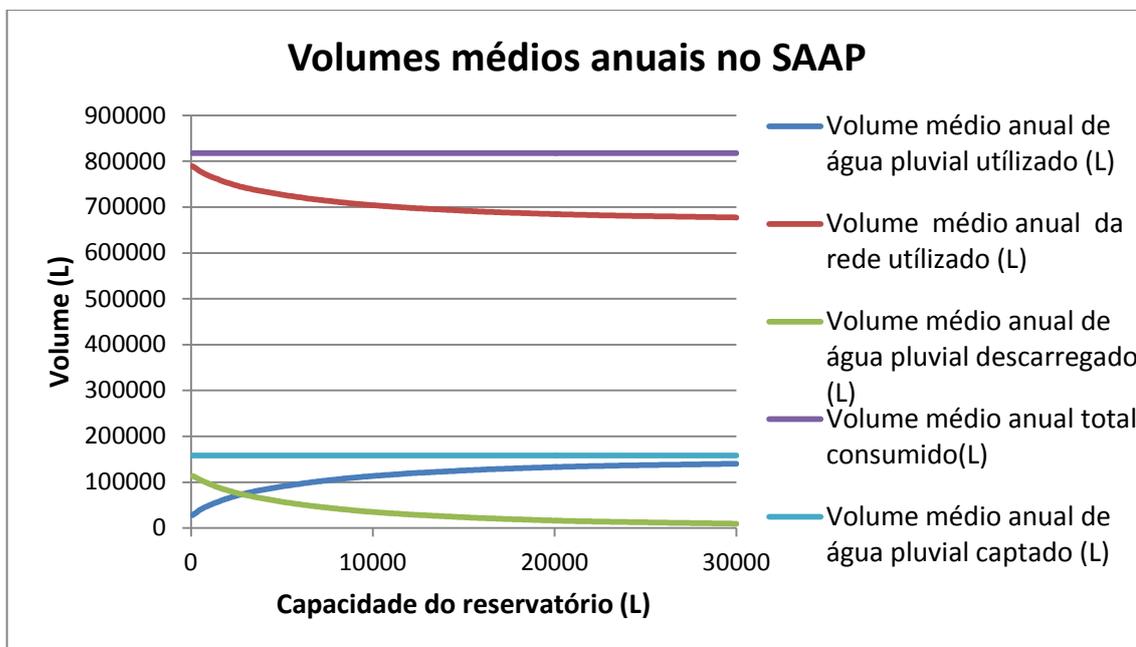


Figura 67: Volumes médios anuais para cada capacidade analisada pelo programa.

Devido á baixa precipitação na região Sul, o volume de água pluvial captado atinge valores muito menores que o volume total consumido na residência, sendo por isso o volume de água pluvial utilizado muito menor que o volume da rede utilizado.

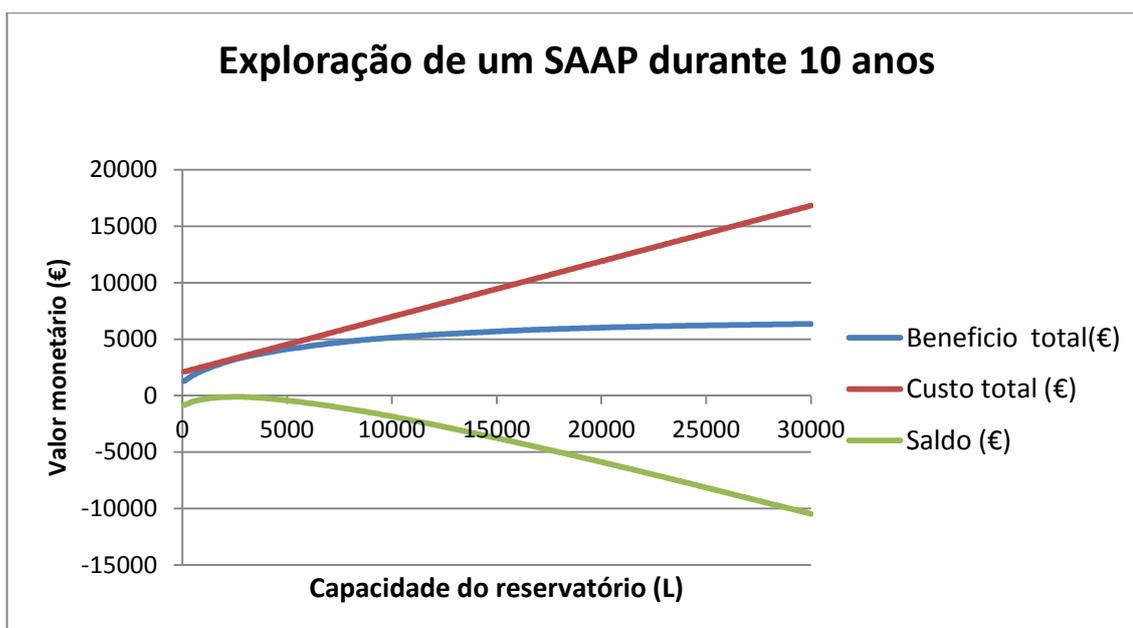


Figura 68: Exploração de um SAAP num período de dez anos para cada capacidade analisada pelo programa.

Segundo a figura 64, o menor PRI é 10,3 anos e corresponde a uma capacidade de 2700 L, logo o saldo aproxima-se de 0 para um período de exploração de 10 anos.

4.2.4 SAAP recomendado para cada cidade na simulação A e B

Na tabela 5 estão reunidos todos os SAAP recomendados pelo programa PSAAP para cada cidade analisada, incluindo a simulação A e B.

Tabela 5: SAAP recomendado pelo programa para cada cidade na simulação A e B

SAAP recomendado pelo programa PSAAP

	Braga	Bragança	Coimbra	Beja	
Simulação A: Uma habitação unifamiliar	Investimento inicial (€)	1902,8	2009,6	2001,2	1928
	Capacidade do reservatório (L)	1500	1900	1700	1600
	PRI (anos)	19,5	50,8	28,7	20,5
	Eficiência no Consumo (%)	27	18	26	12
	Eficiência no armazenamento (%)	35	65	58	62
	Volume médio anual total consumido (L)	173517	173603	139105	204421
	Volume médio anual de água pluvial captado (L)	134171	48843	62136	39625
	Volume médio anual de água pluvial utilizado (L)	46407	31760	35862	24669
	Volume médio anual de água pluvial descarregado (L)	84744	14074	23790	12378
	Volume médio anual da rede pública utilizado (L)	127109	141842	103243	179752
Simulação B: Quatro habitações unifamiliares	Investimento inicial (€)	2919,5	3509,9	3067,1	3214,7
	Capacidade do reservatório (L)	2100	3300	2400	2700
	PRI (anos)	9,7	22,2	13,5	10,3
	Eficiência no Consumo (%)	19	14	18	9
	Eficiência no armazenamento (%)	24	49	40	46
	Volume médio anual total consumido (L)	694067	694412	556420	817684
	Volume médio anual de água pluvial captado (L)	536684	195372	248544	158501
	Volume médio anual de água pluvial utilizado (L)	129139	94792	100603	72838
	Volume médio anual de água pluvial descarregado (L)	393395	86227	136087	74655
	Volume médio anual da rede pública utilizado (L)	564928	599619	455816	744845

4.3 Discussão de resultados

É visível em todos os gráficos relativos aos volumes médios anuais, que o volume de água pluvial utilizado aumenta e o volume de água da chuva descarregado (desperdício) e da rede pública diminuem com o aumento da capacidade do reservatório. O volume consumido varia apenas com a evapotranspiração de cada localidade, pois foi utilizado uma residência tipo e portanto os restantes consumos são os mesmos em todas as cidades.

As eficiências no consumo e armazenamento aumentaram com o crescimento da capacidade do reservatório, pois maior será a utilização de água pluvial na residência e menor serão os desperdícios de água pluvial (água descarregada na rede de drenagem pública quando o reservatório encher).

O facto de se tratar de uma análise diária permite ter em conta a grande variação da precipitação ao longo do ano e portanto não se espera que as eficiências alcancem valores muito elevados, a não ser eventualmente para grandes capacidades.

Em todos os gráficos relativos ao exercício de exploração económico (custos, benefícios e saldo) em função das capacidades, observa-se que com o aumento da capacidade, o custo total tem um crescimento linear constante, enquanto o benefício total aumenta até estabilizar num determinado valor. A curva relativa ao saldo inicia-se sempre com um pequeno crescimento até atingir um valor máximo, sendo depois seguido de um grande decréscimo.

Será importante perceber de uma forma sucinta alguns parâmetros relativos às cidades analisadas. Nesta análise utiliza-se uma habitação unifamiliar tipo, logo os parâmetros que variam em função da localização são a precipitação, evapotranspiração e o custo total da soma dos tarifários de água, saneamento e RSU. Estes parâmetros podem ser visualizados na tabela 6.

Tabela 6: Precipitação, evapotranspiração e custo por m³ de água consumida.

Região/Cidade	Custo unitário da água da rede pública consumida (€/m³)	Precipitação total em dez anos (mm)	Evapotranspiração total em dez anos (mm)
Braga	2,827	15776,80	11148,52
Bragança	2,117	6320,70	10681,35
Coimbra	2,776	7892,80	6813,40
Beja	5,157	5112,20	13335,72

Percebe-se pela tabela 6, que o maior custo no consumo de água acontece no caso de Beja, seguida por Braga, Coimbra e por fim Bragança. Quanto á precipitação, Braga apresenta a maior precipitação anual, seguida de Coimbra, Bragança e Beja. Quanto á evapotranspiração de referência, a ordem decrescente é Beja, Braga, Bragança, e Coimbra.

Segundo a tabela 5, o SAAP recomendado na simulação A e B apresenta a menor capacidade do reservatório na cidade de Braga e a maior em Bragança. Esta ocorrência é devido ao facto da cidade de Braga ostentar a maior precipitação anual e a cidade de Bragança apresentar um dos menores níveis de precipitação das cidades analisadas, isto significa que Braga necessita de um menor reservatório para armazenar a chuva em abundancia, mas Bragança necessita de um maior reservatório de forma a aumentar a acumulação da precipitação menos abundante para pequenos períodos sem chuva.

O custo unitário da água da rede pública (€/m³) também influencia a capacidade mais vantajosa economicamente para cada um das cidades. Quanto maior for o referido custo, maior será o benefício económico para o SAAP pois a água pluvial consumida valerá mais economicamente e portanto será preciso uma menor capacidade do reservatório para recuperar o investimento realizado. Por isso percebe-se que apesar de Bragança não apresentar a menor precipitação anual das quatro cidades, é a que apresenta a maior capacidade no seu SAAP recomendado, isto porque o custo unitário da água da rede pública (€/m³) é o menor, logo a água pluvial terá o menor valor económico e portanto é necessário um maior reservatório para acumular mais água para pequenos períodos sem chuva, de forma a recuperar o investimento.

O investimento inicial de um SAAP é em grande parte devido ao custo do reservatório, que constitui o elemento mais dispendioso. Como os SAAP recomendados em Braga contêm sempre o menor reservatório, o investimento inicial será portanto o menor das quatro cidades analisadas (tabela 5). Pelo contrário, como Bragança apresenta um SAAP recomendado com o maior reservatório, o investimento necessário na implantação desse SAAP será o mais elevado das quatro localizações.

Quanto á eficiência no consumo na simulação A e B (tabela 5), nota-se que Braga e Coimbra apresentam valores superiores a Bragança e Beja, ou seja em Braga e Coimbra a percentagem de água consumida de origem pluvial é superior. Este facto deve-se á maior precipitação em Braga e Coimbra, que possibilita uma maior captação e armazenamento de água da chuva.

A eficiência no armazenamento na simulação A e B (tabela 5) apresenta os valores mais elevados para as cidades de Bragança e Beja. A eficiência no armazenamento exprime a percentagem de água da chuva captada que chega a ser consumida, pois existem desperdícios (descarregamentos do reservatório totalmente preenchido e processo de filtração). No caso de Bragança e Beja a precipitação é menor que em Braga e Coimbra, facilitando a captação da maior parte da chuva mais escassa, limitando por isso o desperdício (desperdício quando o reservatório está totalmente preenchido).

O período de recuperação do investimento na simulação A e B (tabela 5) é apresentado por ordem decrescente em Braga, Beja, Coimbra e Bragança. O PRI está profundamente ligado ao custo unitário da água da rede pública (€/m³) e ao volume de água pluvial captado. Como Braga é a cidade que apresenta a maior precipitação anual (logo o maior volume captado) e ainda o segundo maior custo unitário da água da rede pública (€/m³), é credível que um SAAP em Braga seja um projeto mais rentável que nas restantes cidades. Por outro lado, a cidade de Bragança apresenta o maior PRI das quatro cidades analisadas, devido ao facto de ter o menor custo unitário da água da rede pública (€/m³) e a segunda menor precipitação anual (tabela 6). Portanto, um SAAP na cidade de Bragança constitui o projeto com menor potencial económico das quatro cidades.

Na tabela 5 percebe-se nos resultados obtidos que existem diferenças muito significativas entre a simulação A (uma habitação) e B (quatro habitações). Para além dos volumes médios anuais que terão que ser sempre bastante superiores na simulação B, as eficiências e o PRI são menores na simulação B. Na simulação B existe um aumento de custos em relação á simulação A, a nível da canalização, filtro e reservatório, mas existe também um grande

aumento do benefício que ultrapassa largamente o aumento de custos. Esse benefício deve-se a uma maior área de captação e maior consumo, o que aumenta a capacidade em armazenar água pluvial e aumenta a quantidade de água consumida que pode ser substituída por água pluvial. Portanto, um aumento do benefício que supere o aumento dos custos entre a simulação A e B fará descer o PRI para a simulação B, fazendo do caso da simulação B um projeto mais atraente economicamente que o caso da simulação A.

As maiores eficiências obtidas na simulação A em relação á simulação B serão devido ao facto das menores capacidades do reservatório na simulação A se adequarem melhor ao volume pluvial captado e ao consumo da habitação que abastece.

5 CONCLUSÃO

Existem alguns obstáculos á implementação deste tipo de sistemas, desde logo a falta de informação, mas também o grande investimento inicial necessário na implantação de um SAAP e o facto das tarifas associadas ao consumo de água serem usualmente baixas em Portugal. Prevê-se que a escassez quantitativa e qualitativa da água no futuro possa levar ao aumento da tarifa da água e assim ao aumento da rentabilidade de um SAAP.

A partir deste trabalho pode-se concluir que o aproveitamento de água pluvial em contexto doméstico pode constituir uma fonte atrativa de água não potável. A rentabilidade económica de um SAAP está altamente dependente da precipitação, consumo e custo unitário da água da rede pública (€/m³), por isso um SAAP é apenas atraente economicamente em determinadas localidades. Como a cidade de Braga apresenta a maior precipitação anual e tem o segundo maior custo unitário da água da rede pública (€/m³), faz de Braga a cidade com o menor PRI do SAAP recomendado na simulação A e B. Pelo contrário, o facto da cidade de Bragança apresentar o menor custo unitário da água da rede pública (€/m³) e a segunda menor precipitação anual, fez com que esta cidade obtivesse o maior PRI do SAAP na simulação A e B.

Segundo os resultados obtidos, a simulação B apresentou um PRI bastante mais baixo que as suas congéneres na simulação A, significando que um projeto deste tipo beneficia do facto de ter uma maior dimensão quanto ao abastecimento, logo quanto maior a dimensão do sistema, mais rentável será o SAAP.

Um SAAP traz outros benefícios não económicos, associados á proteção dos ecossistemas e redução de custos no tratamento da água da rede pública (menor consumo de água potável que é substituída por água pluvial), ajudando ao desenvolvimento sustentável.

O *PSAAP* consegue simular o aproveitamento da água da chuva através de um SAAP, mas também permite uma análise económica baseada nos volumes calculados, constituindo uma

ferramenta completa para estudar a implantação de um SAAP doméstico em diferentes condições.

O programa *PSAAP* para além de apresentar o SAAP recomendado do ponto de vista económico, também permite ao utilizador escolher um SAAP alternativo baseado na eficiência do SAAP ou nos volumes médios anuais apresentados graficamente. Esta possibilidade é importante para quem não procura apenas o SAAP que lhe garanta a maior rentabilidade possível, mas que por outro lado procure o SAAP que lhe garanta maiores benefícios ambientais.

Uma melhoria possível no programa seria a introdução de dados diários (precipitação e evapotranspiração) mais recentes do que aqueles que foram utilizados (devido à falta de dados no SNIRH), de modo a que a análise leve a resultados mais atualizados.

Nas simulações realizadas (A e B) foi utilizado um custo médio da água consumida, (associado ao custo do saneamento e resíduos sólidos urbanos), mas na realidade a poupança de água conseguida seria sempre num escalão superior, porque diminuiria o consumo mensal de água. Isto significa que a poupança seria maior do que considerando um custo médio. A necessidade de utilizar um custo médio da água consumida (e do saneamento e resíduos sólidos associados ao consumo de água) foi devida à dificuldade em implementar no programa desenvolvido (*PSAAP*), a variação do consumo mensal e os diferentes escalões (custo e limite inferior e superior do escalão) nos tarifários de cada empresa distribuidora de água.

Utilizou-se quatro estações do SNIRH para caracterizar cada uma das quatro regiões consideradas para representar Portugal continental, mas o ideal seria ter uma estação muito próxima da habitação, o que normalmente não é viável, por falta de estações ou por falta de dados.

No futuro seria bastante positivo fazer previsões futuras do aumento do custo associado ao consumo de água (água, saneamento, resíduos sólidos), tendo em conta alterações climáticas, poluição, aumento demográfico mundial, desenvolvimento económico, etc.. Essas previsões seriam usadas para estimar a poupança económica futura com a utilização de um SAAP, o que poderia estimular a utilização destes sistemas.

6 BIBLIOGRAFIA

- AC. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Aguas de Coimbra: <http://www.aguasdecoimbra.pt>
- Afonso, A., Simões, V., Bertolo, E., Ferreira, R., Afonso, P., & Abrantes, V. (2009). Certificação de Sistemas de Aproveitamento de águas Pluviais. *Especificação técnica ANQIP 0702*. Portugal.
- Afonso, A., Simões, V., Bertolo, E., Ferreira, R., Afonso, P., Abrantes, V., et al. (2009). Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP). *Especificação Técnica ANQIP 0701*. Portugal.
- Agere. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Agere: <http://www.agere.pt>
- Alvarez, A. (1982). *Manual de Hidraulica* (7º ed., Vol. II). São Paulo: EDGARD BLUCHER LTDA.
- Ambientel. (2011). Obtido em Julho de 2012, de Ambiental - Tecnologias Ambientais: <http://www.ambietel.com/>
- Baptista, M., Almeida, M., Vieira, P., Silva, A., Ribeiro, R., Fernando, R., et al. (2001). *Programa Nacional Para O Uso Eficiente Da Água*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Instituto Superior de Agronomia, Portugal.
- Bertolo, E. (2006). *Aproveitamento da Água da Chuva*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- Cepex. (2012). Obtido em Março de 2012, de Cepex Portugal: <http://www.cepex.com>
- CHC. (2012). Terras de Bouro: Comunicação pessoal.
- CMB. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Camara Municipal de Bragança: <http://www.cm-braganca.pt>

- Coprax. (2012). Obtido em Junho de 2012, de Coprax, S.A.: <http://www.coprax.com>
- Ecoagua. (2011). Obtido em Dezembro de 2011, de Ecoagua: www.ecoagua.pt/ e comunicação pessoal
- Emas. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Empresa Municipal de Águas e Saneamento de Beja: <http://www.emas-beja.pt/>
- Gnadlinger, J. (2000). Colheita de Água da Chuva em Áreas Rurais. *2º Fórum Mundial da Água*. Holanda.
- Grundfos. (2012). Obtido em Abril de 2012, de Grundfos Portugal: pt.grundfos.com/
- IPCC. (2007). Obtido em Dezembro de 2011, de Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc.ch>
- Loureiro, H. (2007). *Excel 2007 Macros e VBA*. Lisboa: FCA.
- Oliveira, F. T. (2008). *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- ONU. (2006). Obtido em Dezembro de 2011, de Organização das Nações unidas: <http://www.un.org>
- Quadros, C. (2010). *Rainwater Harvesting Case Study: FCT/UNL Campus*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- RH. (2010). Obtido em Dezembro de 2011, de Rain Harvesting: <http://rainharvesting.com.au/>
- Roth. (2009). *roth-spain*. Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.roth-spain.com/>
- Sacadura, F. (2011). *Análise de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edifícios*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Sanidelos. (2012). Obtido em Março de 2012, de Sanidelos - Materiais de Construção: <http://www.sanidelos.pt/>
- Shahidian, S., Serralheiro, R., Serrano, J., Teixeira, J., Haie, N., & Santos, F. (2012). Hargreaves and Other Reduced-Set Methods for Calculating Evapotranspiration. In *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling*. Portugal: InTech.

- SNIRH. (2005). Obtido em Dezembro de 2011, de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos: <http://www.snirh.pt/>
- SNIRH. (2011). Obtido em Dezembro de 2011, de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hidricos: <http://www.snirh.pt/>
- SudSolutions. (2009). Obtido em Novembro de 2011, de SudSolutions Sustainable Drainage Solutions: <http://sudsolutions.co.uk>
- Tomaz, P. (2003). *Aproveitamento de Água de Chuva Para Áres Urbanas e Fins Não Potaveis*. Brasil: Navegar.
- UNEP. (2009). *Rainwater Harvesting : a Lifeline for Human Well-being*. Obtido em Dezembro de 2011, de United Nations Environment Programme: <http://www.unep.org>
- Valencia, U. P. (1987). *Curso de ingenieria Hidraulica Aplicada a los Sistemas de distribuicion de Agua*. Madrid: Instituto de estudios de administracion.
- WRI. (2006). Obtido em Dezembro de 2011, de World Resources Institute: <http://www.wri.org/>
- Zunido, A., & Vasco, G. (2006). *Análise Financeira de Projectos de Software*. Apontamentos da disciplina de engenharia de software, Universidade do Algarve.

6.1 Lista de sites consultados

- AC. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Aguas de Coimbra: <http://www.aguasdecoimbra.pt>
- Agere. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Agere: <http://www.agere.pt>
- Ambientel. (2011). Obtido em Julho de 2012, de Ambiental - Tecnologias Ambientais: <http://www.ambietel.com/>
- Cepex. (2012). Obtido em Março de 2012, de Cepex Portugal: <http://www.cepex.com>

- Coprax. (2012). Obtido em Junho de 2012, de Coprax, S.A.: <http://www.coprax.com>
- CMB. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Camara Municipal de Bragança: <http://www.cm-braganca.pt>
- Ecoagua. (2011). Obtido em Dezembro de 2011, de Ecoagua: www.ecoagua.pt/ e comunicação pessoal
- Emas. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Empresa Municipal de Águas e Saneamento de Beja: <http://www.emas-beja.pt/>
- Grundfos. (2012). Obtido em Abril de 2012, de Grundfos Portugal: pt.grundfos.com/
- IPCC. (2007). Obtido em Dezembro de 2011, de Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc.ch>
- ONU. (2006). Obtido em Dezembro de 2011, de Organização das Nações unidas: <http://www.un.org>
- RH. (2010). Obtido em Dezembro de 2011, de Rain Harvesting: <http://rainharvesting.com.au>
- Roth. (2009). *roth-spain*. Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.roth-spain.com/>
- Sanidelos. (2012). Obtido em Março de 2012, de Sanidelos - Materiais de Construção: <http://www.sanidelos.pt/>
- SNIRH. (2005). Obtido em Dezembro de 2011, de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos: <http://www.snirh.pt/>
- SNIRH. (2011). Obtido em Dezembro de 2011, de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hidricos: <http://www.snirh.pt/>
- SudSolutions. (2009). Obtido em Novembro de 2011, de SudSolutions Sustainable Drainage Solutions: <http://sudsolutions.co.uk>
- UNEP. (2009). *Rainwater Harvesting : a Lifeline for Human Well-being*. Obtido em Dezembro de 2011, de United Nations Environment Programme: <http://www.unep.org>
- WRI. (2006). Obtido em Dezembro de 2011, de World Resources Institute: <http://www.wri.org/>

7 ANEXOS

7.1 Anexo A – Estimar consumo de água

Para estimar os consumos diários em algumas utilizações já indicadas, consultou-se o seguinte quadro presente na ETA 0701 (Afonso, et al., 2009).

CONSUMOS UNITÁRIOS E ANUAIS POR DISPOSITIVO OU UTILIZAÇÃO

Dispositivo ou utilização		Consumo unitário	Consumo anual estimado	
Autoclismos (categoria "A") ¹ em residências		24 l/(pessoa.dia)	8800 l/pessoa	
Autoclismos (categoria "A") ¹ em edifícios de serviços (escritórios, etc.)		12 l/(pessoa.dia)	4400 l/pessoa	
Autoclismos (categoria "A") ¹ em edifícios escolares		6 l/(pessoa.dia)	2200 l/pessoa	
Lavagem de roupa (máquina da categoria "A") ²		10 l/(pessoa.dia)	3700 l/pessoa	
Limpezas gerais	Lavagem de pavimentos	5 l/m ²	1000 l/pessoa ³	
	Lavagem de automóveis (self-service)	50 l/automóvel		
Zonas verdes (valores para anos médios) ⁴	Valores totais (em 6 meses) - Abril a Set. -	Relvados ⁵	450 a 800 l/m ²	
		Jardins ⁶	60 a 400 l/m ²	
		Campos de golfe ^{7,8}	200 a 450 l/m ²	
	Valores máximos (por dia) - no Verão -	Relvados ⁵	5 a 7 l/m ²	-
		Jardins ⁶	1,5 a 5 l/m ²	-
		Campos de golfe ^{7,8}	2 a 4,5 l/m ²	-

¹ Autoclismo de 6 litros com dupla descarga.

² Máquina com consumo de 9 a 12 litros por kg.

³ Trata-se de uma estimativa grosseira para residências, pois o global pode variar de forma muito significativa.

⁴ Considera-se que, em Portugal, a rega de espaços verdes deve ser considerada como uma utilização temporalmente limitada nos SAAP, dado que as maiores necessidades de rega surgem nos períodos de estiagem mais prolongados. Por este motivo, entende-se que não há interesse em considerar valores totais superiores aos indicados como estimativas médias semestrais. Deve ainda salientar-se a tendência actual para a realização de jardins sem necessidade de rega.

⁵ Função do tipo de relva, do tipo de solo e da zona do país.

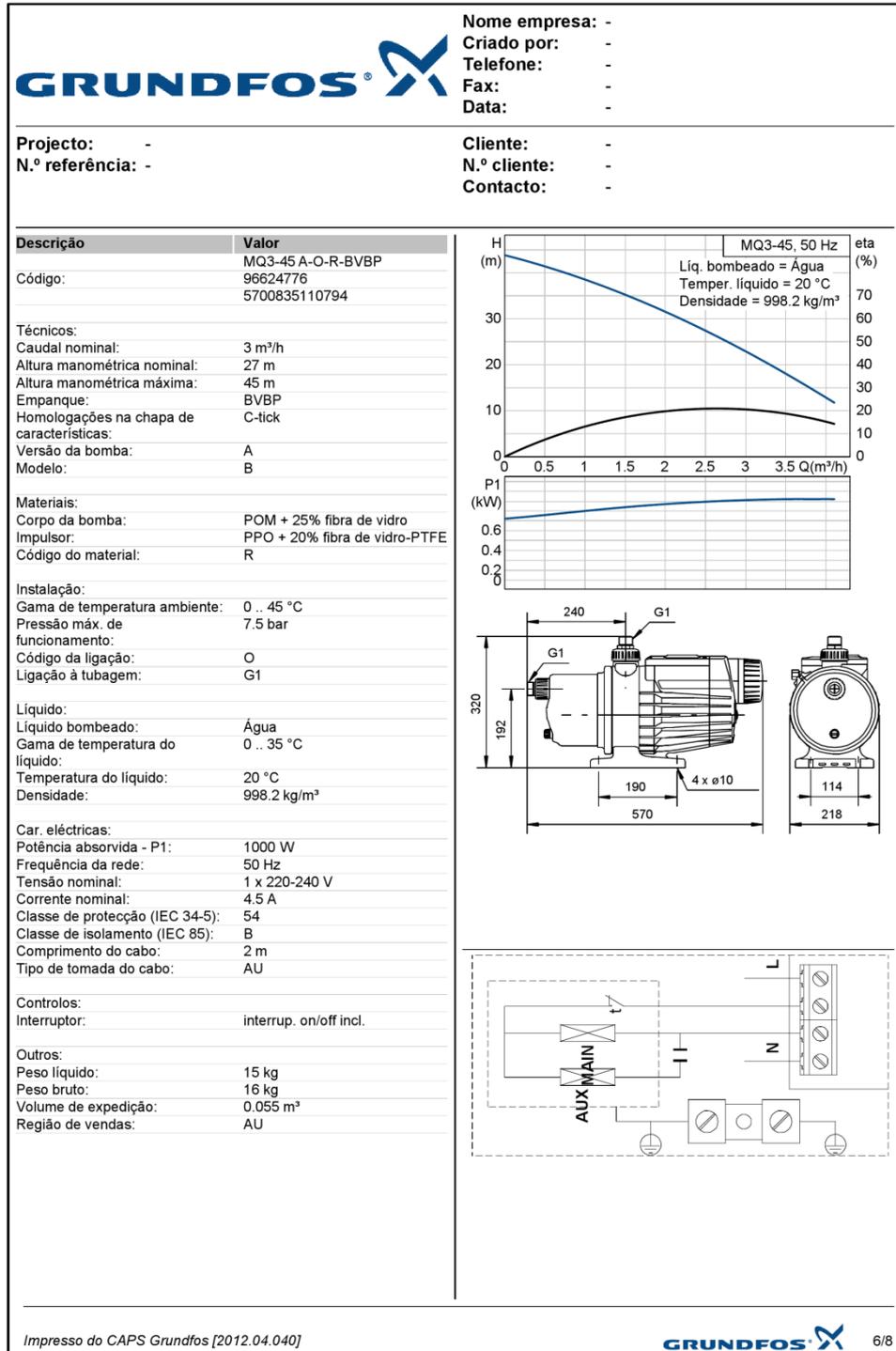
⁶ Função do tipo de culturas, do tipo de solo e da zona do país (considerando um misto de relvados e zonas arbustivas).

⁷ Valor médio, ponderando as áreas destinadas a *greens e tees*, a *farways e surrounds*, a *roughs e semi-roughs* e a zonas de enquadramento.

⁸ Função do tipo de solo e da zona do país.

Figura 69: Consumo de água em edifícios de habitação (Afonso, et al., 2009).

7.2 Anexo B – Características do equipamento de bombagem



Impresso do CAPS Grundfos [2012.04.040]

GRUNDFOS 6/8

Figura 70: Características da Bomba MQ3-45 (Grundfos, 2012)

7.3 Anexo C – Custo do reservatório de água pluvial

Construiu-se um gráfico em “Excel “que traduz o custo de um reservatório em PEAD em função da sua capacidade. Deste gráfico obteve-se uma função linear para o cálculo de um reservatório de qualquer capacidade. Para a construção do gráfico utilizou-se os dados da seguinte tabela:

Tabela 7: Custo de um reservatório em PEAD em função da capacidade de armazenamento (Cepex, 2012)

Capacidade (L)	Custo (€)
500	430
1000	720
2000	1.042
3000	1.355
5000	2.655
10000	5.031
15000	7.416
20000	10.224
25000	12.591
30000	14.850
35000	17.370
40000	19.539
45000	21.942
50000	24.282

7.4 Anexo D – Custos da rede de distribuição de água pluvial

Por simplificação considerou-se que a canalização era constituída apenas por um tubo (4 m) e uma união a cada 4 metros, sendo estimado o custo por metro referente a esse material com diâmetro exterior de 25 mm, somado ao custo do operário. O custo do operário usado foi 15 €/h e considera-se que o operário demora cerca de 10 minutos na instalação de um tubo com união, segundo informação fornecida pela empresa “Construções Henrique Costa” (CHC, 2012).

Tabela 8: Custo do material da rede de distribuição com um diâmetro exterior de 25 mm (Sanidelos, 2012)

	Tubo de 4 m	União
Custo (€)	1,99	0,3

O custo da instalação da rede de distribuição por metro, considerando o material e operário é:

$$\text{Custo}(\text{€/m}) = \frac{1,99 + 0,30}{4} + 15 \times \frac{\frac{10}{4} \times 1}{60} = 1,1975 \text{ € / m} \quad (35)$$

7.5 Anexo E – Custos de escavação para acomodação do reservatório

Segundo a empresa “Construções Henrique Costa” (CHC, 2012), o custo de uma máquina escavadora e do seu condutor ascende a 30 €/h e são necessários cerca de 10 minutos para escavar um metro cubico. Estas considerações são feitas considerando um solo não rochoso e

um depósito de terras no local. A partir destes valores indicativos foi calculado o custo por metro cubico escavado:

$$\text{Custo}(\text{€/m}^3) = 30 \times \left(\frac{10 \times 1}{60}\right) = 5 \text{ €/m}^3 \quad (36)$$

7.6 Anexo F - Custos do sistema de bombagem, acessórios, filtro e mão-de-obra

A partir de dados da tabela 9 foi construído o gráfico da figura 24 (Capitulo 3.14.1.4) que traduz o custo dos filtros em função da área de captação.

Tabela 9: Custos dos filtros e respetiva área de captação máxima para filtração (Cepex, 2012)

Artigo	Área de captação (m²)	Custo (€)
3P Rainus	70	85
FGC1	350	522,75
Filtro MaxiPlus	500	787,05
Filtro Maximus	1500	1931,85

O sistema de bombagem considerado no simulador PSAAP foi um equipamento do fabricante grundfos denominado MQ3-45 pelas razões descritas no capítulo 2.6.1.6.

Tabela 10: Custo do sistema de bombagem MQ3-45 para água pluvial (Cepex, 2012)

Empresa vendedora	Artigo	Custo (€)
Cepex	MQ3-45	428,27

Os custos dos acessórios no interior do reservatório são os presentes na tabela 11.

Tabela 11: Custos de acessórios no interior do reservatório (RH, 2010)

Artigo	Custo total (€)
Dispositivo de Sucção Flutuante com mangueira 3P	234,95
Entrada anti-turbulência	
Sifão Duo 3P	
Válvula de prevenção de Backflow	
Dispositivo de desvio do escoamento inicial	

A mão-de-obra necessária na instalação dos equipamentos e do reservatório são um picheleiro e um electricista. Através de informação prestada pela empresa “Construções Henrique Costa” (CHC, 2012), considerou-se os seguintes dados para o picheleiro e o electricista realizar as tarefas:

Tabela 12: Tempo de trabalho e respetivos custos na realização do trabalho.

Operário	Custo (€/h)	Tempo (h)	Custo total
Picheleiro	12	4	48
Electricista	12	4	48
Total			96

7.7 Anexo G - Tarifários domésticos de água, saneamento e resíduos sólidos urbanos

Neste anexo é explicado como são obtidas as tarifas domésticas (sem IVA) utilizadas na análise do aproveitamento da chuva em cada uma das cidades. Na maioria das vezes a tarifa está dividida em escalões, sendo nesse caso calculada uma média ponderada da tarifa de forma a estimar o valor da água poupada. Para contemplar o ultimo escalão na média ponderada, considera-se que o mesmo tem um intervalo de consumo de 10 m³, como será demonstrado nos cálculos seguintes.

7.7.1 Cidade de Braga

Água

Foi calculada a média ponderada dos cinco escalões do tarifário de água. Para incluir o ultimo escalão (consumo > 25 m³) na média ponderada, considerou-se que este tem um limite máximo de 35 m³, ou seja um intervalo de consumo de 10 m³ (25 m³ < escalão ≤ 35 m³).

A seguir encontra-se a tarifa média ponderada de água em Braga.

Na seguinte imagem está o tarifário de água da empresa AGERE, que é a empresa distribuidora de água em Braga.

Tarifários > Tarifário de Água

Tarifário de Água

Tarifário de Água 2012

Água	Funcionários de C.M.B. e E.M. Domésticos	Não Domésticos	Associações sem Fins Lucrativos e Autarquia (inc. Empresas Municipais)	
0 a 5 m3	0,46€	0,46€		
6 a 10 m3	0,49€	0,61€	0 a 30m3 0,88€	0 a 30 m3 0,88€
11 a 15 m3	0,61€	0,78€	31 a 60 m3 1,25€	>30 1,25€
16 a 25 m3	1,37€	1,71€	>60 m3 1,38€	
>25 m3	1,98€	2,46€		

Valores sujeitos a IVA
Nota: a distribuição dos escalões apresentada é para 30 dias, sendo ajustada ao n.º de dias de facturação

Figura 71: Tarifa de água (sem IVA) na cidade de Braga (Agere, 2012)

$$T_{ma} = \frac{0,46 \times 5 + 0,61 \times 5 + 0,78 \times 5 + 1,71 \times 10 + 2,46 \times 10}{35} = 1,456 \text{ €/m}^3 \quad (37)$$

Saneamento

A tarifa de saneamento em Braga é um valor constante de 0,38 €/m³.

Tarifários > Tarifário de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais

Tarifário de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais

Tarifário de Drenagem de Águas Residuais 2012

TDAR	Domésticos	Não doméstico (inc. Associações sem fins Lucrativos, Autarquia e Empresas Municipais)	Hotelaria, Restauração, Lares e Creches Exploradas por IPSS	Funcionários da CMB e EM	Utentes de Saneamento que Não Sejam Consumidores de Água
Preço (€)	0,38 €	1,08 €	0,38 €	0,31 €	7,00 €

Valores sujeitos a IVA.

Figura 72: Tarifa de saneamento (sem IVA) em Braga (Agere, 2012)

Resíduos sólidos urbanos

Foi calculada a tarifa média (média ponderada) considerando que o último escalão era limitado por um valor máximo de 35 m³ (25 m³ < escalão ≤ 35 m³). Neste caso, a tarifa não é dada por m³ de água, mas por um valor fixo para cada escalão de consumo de água. Sendo assim, será estimado um custo por m³ de água consumido, de maneira a ser possível introduzir no programa uma tarifa nas unidades €/m³.

Os escalões e respetivas tarifas são visíveis na seguinte imagem.

Tarifa de Recolha, Depósito e Tratamento do Lixo 2012				
Lixo	Domésticos, Autarquia, Funcionários e Associações		Comércio Indústria e Serviços	
	Diária	Não diária	Diária	Não diária
0 a 10 m ³	2,95 €	1,65 €	Área até 100 m ² 16,92 €	8,53 €
11 a 15 m ³	5,09 €	3,43 €	Área de 101 m ² a 200 m ² 33,98 €	16,92 €
16 a 25 m ³	8,40 €	5,09 €	Área Superior a 200 m ² 67,96 €	33,98 €
> 25 m ³	12,67 €	6,75 €		

Utentes da Recolha de Lixo Que Não Sejam Consumidores de Água - 5,92 €

Figura 73: Tarifa de resíduos sólidos urbanos (sem IVA) em Braga (Agere, 2012)

A tarifa média é obtida da seguinte forma:

$$T_{mrs} = \frac{2,95 + 5,09 + 8,4 + 12,67}{35} = 0,832 \text{ €/m}^3 \quad (38)$$

7.7.2 Cidade de Bragança

A seguinte imagem apresenta todos os custos associados á prestação de serviços na área da distribuição de água, recolha dos resíduos sólidos e drenagem do saneamento.

Consumo Doméstico 0 a 5 m ³ – € 0,46 6 a 15 m ³ – € 0,82 A partir de 16 m ³ – € 1,76 Consumo Comercial Industrial e Obras Escalão Único – € 1,16 Estado e Entidades Públicas Escalão Único – € 1,76 Instituições de Utilidade Pública, Solidariedade Social e Igrejas Escalão Único – € 0,65 Quota de Disponibilidade do Serviço Ligações Definitivas 15 mm – € 2,36 20 mm – € 4,39 25 mm – € 7,62 32 mm – € 8,80 40 mm – € 11,74 A partir 50 mm – € 17,61 Ligações Provisórias 15 mm – € 8,80 20 mm – € 17,61 A partir de 25 mm – € 35,20 Tarifa de Saneamento Urbana Alto Sabor - € 0,52/m ³ Tarifa de Saneamento Rural Alto Sabor – € 0,27/m ³			
RSUs			
Tipo de Consumidor	Tipo Tarifa	€/m ³	€ Fixa
1 – Doméstico < 5 m ³	L	0,32 €	1,58 €
1 – Doméstico > 5 m ³	L	0,37 €	1,58 €
2 - Comércio/Indústria/Obras	L1	1,31 €	3,68 €
3 - Utilidade pública/Solidariedade Social/Igrejas	L	0,37 €	1,58 €
4 - Estado	L2	2,10 €	4,21 €
5 – Rural/Doméstico	L3	-----	1,16 €
6 – Rural/Não Doméstico	L4	-----	2,37 €

Figura 74: Tarifário (sem IVA) em Bragança (CMB, 2012)

Água

Como o custo da distribuição de água é dividido em escalões, também aqui foi calculado a média ponderada da tarifa (sem IVA). Considerou-se no cálculo, o último escalão limitado por um valor máximo de 25 m³ (15 m³ < escalão ≤ 25 m³).

A tarifa de água utilizada é dada pela equação 39:

$$T_{ma} = \frac{0,46 \times 5 + 10 \times 0,82 + 1,76 \times 10}{25} = 1,124 \text{ €/m}^3 \quad (39)$$

Saneamento

A tarifa de saneamento na cidade de Bragança toma um valor de 0,52 €/m³, como se percebe pela figura 74.

Resíduos sólidos urbanos

A média ponderada da tarifa de resíduos sólidos é obtida pela equação 40.

$$T_{mrs} = \frac{0,32 \times 5 + 0,37 \times 10}{15} = 0,353 \text{ €/m}^3 \quad (40)$$

7.7.3 Cidade de Coimbra

Água

A tarifa de água foi obtida através da média ponderada dos respetivos escalões. Definiu-se nos cálculos, um limite máximo de 35 m³ para o último escalão (25 m³ < escalão ≤ 35 m³).



TARIFÁRIO

A praticar pela AC, Águas de Coimbra, E.E.M., a partir de 01 de Janeiro de 2012

ABASTECIMENTO DE ÁGUA		SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS	
TARIFA FIXA (por 30 dias)		TARIFA FIXA (por 30 dias)	
NÍVEIS DOMÉSTICOS	€/ Mês	DOMÉSTICOS	2,9520
≤ 25 mm	4,1000	TARIFA SOCIAL	0,0000
> 25 mm	Igual aos Não Domésticos	NÃO DOMÉSTICOS	5,2583
TARIFA SOCIAL	0,0000	INSTITUIÇÕES DE SOLIDARIEDADE SOCIAL	5,2583
NÍVEIS NÃO DOMÉSTICOS	€/ Mês	TARIFA VARIÁVEL (por 30 dias)	€
Até 20 mm	6,1500	DOMÉSTICOS e TARIFA SOCIAL	72%(Cv A)
>20 ≤ 30 mm	15,3750	INSTITUIÇÕES DE SOLID. SOCIAL	72%(Cv A)
>30 ≤ 50 mm	41,5125	NÃO DOMÉSTICOS	8%(Cv A)
>50 ≤ 100 mm	115,4048	Em que (Cv A) é :	
>100 ≤ 300 mm	219,2690	Componente Variável do Abastecimento de Água (Valor do Consumo de Água)	
TARIFA VARIÁVEL (por 30 dias)	€/ m3	OUTRAS TARIFAS	
DOMÉSTICOS	€/ m3	INSTALAÇÃO, SUBST. OU RENOVAÇÃO DE RAMAL DE ÁGUA	
0 - 5 m3	0,5498	Até 4,00 m de extensão	309,67 €
6 - 15 m3	0,8086	Por acréscimo de cada metro de extensão ou fracção de metro	35,26 €
16 - 25 m3	1,6172	INSTALAÇÃO, SUBST. OU RENOVAÇÃO DE RAMAL de SANEAMENTO	
> 25 m3	2,4258	Até 4,00 m de extensão	419,02 €

Figura 75: Tarifário de água e saneamento (sem IVA) na cidade de Coimbra (AC, 2012)

A tarifa de água toma o valor:

$$T_{ma} = \frac{5 \times 0,5498 + 10 \times 0,8086 + 1,6172 \times 10 + 2,4258 \times 10}{35} = 1,465 \text{ €/m}^3 \quad (41)$$

Saneamento

Como se lê na figura 75, a tarifa de saneamento é um valor correspondente a 72% da tarifa de água.

A tarifa é portanto facilmente calculada como se demonstra na equação 42.

$$T_{ms} = 0,72 \times 1,465 = 1,055 \text{ €/m}^3 \quad (42)$$

Resíduos sólidos urbanos

A tarifa de resíduos sólidos em Coimbra assume um valor de 0,1 €/m³.

Grupo de Consumidor/Utilizador	
Familiares	0,10 €/m ³
Comércio Industria e Serviços	0,40 €/m ³
Hospitais e Centros de Saúde	0,30 €/m ³
Restantes Serviços Públicos	0,50 €/m ³
Escolas do Ensino Básico e Secundário	0,30 €/m ³
Protocolos com Autarquias	0,30 €/m ³
Institutos de Solidariedade Social	0,30 €/m ³
Outros	0,50 €/m ³

Figura 76: Tarifário de resíduos sólidos urbanos (sem IVA) na cidade de Coimbra (AC, 2012)

7.7.4 Cidade de Beja

Água

Calculou-se a média ponderada da tarifa, considerando o ultimo escalão com um valor máximo de consumo de 40 m³ ($30 \text{ m}^3 < \text{escalão} \leq 40 \text{ m}^3$).

Tarifário 2012

Tarifa de abastecimento de água (TAA)

Componente variável (TAA-CV)	
<i>Doméstico</i>	
1º Escalão (0 - 5)	0,37 €
2º Escalão (0 - 10)	0,90 €
3º Escalão (11-15)	1,11 €
4º Escalão (16 -20)	1,89 €
5º Escalão (21 - 30)	2,71 €
6º Escalão (mais 30)	3,55 €

Figura 77: Tarifário de água (sem IVA) na cidade de Beja (Emas, 2012)

A média ponderada da tarifa de água foi calculada pela equação 43.

$$\begin{aligned}
 T_{ma} &= \frac{0,9 \times 10 + 5 \times 1,11 + 5 \times 1,89 + 2,71 \times 10 + 3,55 \times 10}{40} \\
 &= 2,165 \text{ €/m}^3
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

Saneamento

Como também o tarifário de saneamento é dividido em escalões, foi calculada a média ponderada da tarifa de saneamento. De forma contabilizar o último escalão no cálculo da tarifa foi definido um valor limite de 40 m³ ($30 \text{ m}^3 < \text{escalão} \leq 40 \text{ m}^3$).

Tarifário 2012

Tarifa de saneamento de águas residuais (TSAR)	
Componente variável (TSAR-CV)	
Doméstico, escalões mensais	
1º Escalão (0 - 5)	0,12 €
2º Escalão (0 - 10)	0,54 €
3º Escalão (11-15)	0,64 €
4º Escalão (16 -20)	1,07 €
5º Escalão (21 - 30)	1,61 €
6º Escalão (mais 30)	2,16 €

Figura 78: Tarifário de saneamento (sem IVA) na cidade de Beja (Emas, 2012)

A equação utilizada para o cálculo da tarifa foi a seguinte:

$$T_{ms} = \frac{0,54 \times 10 + 0,64 \times 5 + 1,07 \times 5 + 1,61 \times 10 + 2,16 \times 10}{40} = 1,291 \text{ €/m}^3 \quad (44)$$

Resíduos sólidos urbanos

Para o cálculo da média ponderada da tarifa foi considerado o escalão último como tendo um valor máximo de consumo de 40 m³ (30 m³ < escalão ≤ 40 m³).

Tarifário 2012

Aprovado em reunião de Câmara a 18 de Julho de 2012

Resíduos Sólidos Urbanos	
Doméstico	
1º Escalão (0 - 5)	0,32€
2º Escalão (0 - 10)	0,59€
3º Escalão (11 - 15)	0,71€
4º Escalão (16 - 20)	1,22€
5º Escalão (21 - 30)	1,76€
6º Escalão (mais de 30)	2,32€

Figura 79: Tarifário de resíduos sólidos urbanos (sem IVA) na cidade de Beja (Emas, 2012)

Assim, a média ponderada da tarifa de resíduos sólidos é calculada pela equação 45.

$$T_{mrs} = \frac{10 \times 0,59 + 5 \times 0,71 + 5 \times 1,22 + 10 \times 1,76 + 10 \times 2,32}{40} = 1,409 \text{ €/m}^3 \quad (45)$$

7.7.5 Tarifas calculadas para as quatro cidades analisadas

Na seguinte tabela encontram-se todas as tarifas (sem IVA) calculadas neste anexo.

Tabela 13: Tarifas (sem IVA) das cidades analisadas

Tarifa (€/m³) sem IVA				
	Braga	Bragança	Coimbra	Beja
Água	1,456	1,124	1,465	2,165
Saneamento	0,380	0,520	1,055	1,291
RSU	0,832	0,353	0,100	1,409