



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Sustentabilidade na Gestão do Ciclo Urbano da Água: Simulação e Análise de Cenários

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do
Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Rita Isabel Matias Nunes Leitão

Orientadores

Pedro Manuel Pinheiro Veloso Lopes Tavares

Jorge Luís Silva Santos Temido

Coimbra, Julho, 2014

AGRADECIMENTOS

‘Pedra no caminho? Guardo-as todas. Um dia vou construir um castelo.’ (F.Pessoa)

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Pedro Tavares, pela orientação, pelo constante incentivo nos momentos de hesitação, pela disponibilidade, cooperação e amizade.

Ao Professor Jorge Temido agradeço o apoio, disponibilidade, a partilha do saber e por estimular o meu interesse pelo conhecimento.

À minha prima Cátia agradeço a ajuda na superação de vários obstáculos, a paciência, e a amizade.

Aos meus amigos, que na sua paciência me ouviram, incentivaram e apoiaram.

Ao meu padrinho Raúl Leitão, pela amizade, amparo nas horas mais difíceis e total confiança depositada em mim.

E por fim, mas não menos importante, quero agradecer aos meus pais. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar tudo aquilo que me proporcionaram.

A todos o Meu Muito Obrigado!

RESUMO

Abastecer com água de qualidade uma população mundial crescente, a par do aparecimento de uma classe média a um ritmo nunca visto no passado, e da urbanização crescente, é um dos maiores desafios com que as sociedades atuais estão confrontadas.

Estas necessidades crescentes de água de qualidade para diferentes fins – agrícola, industrial e consumo urbano – ocorrem num cenário de incerteza dominado pelas alterações climáticas, que, ao provocarem a alteração dos padrões de precipitação, poderão tornar ainda mais difícil o abastecimento de água pretendido. Particularmente nas regiões do planeta Terra onde a disponibilidade de recursos hídricos é já escassa.

Neste contexto, assiste-se em muitos países a uma mudança de paradigma relativamente à gestão da água em meio urbano, promovendo-se a passagem de um modelo baseado na gestão da oferta para um novo modelo baseado na gestão da procura. Neste novo modelo o compromisso fundamental é com a eficiência no uso da água, mas ao mesmo tempo com a promoção de fontes alternativas de água, como a reutilização residuais e o aproveitamento de águas pluviais, para fins compatíveis com a sua qualidade, e de modo a promover a sustentabilidade do Ciclo Urbano da Água.

Neste presente trabalho é utilizado um modelo capaz de descrever o Ciclo Urbano da Água de forma sistémica, holística, considerando os sub-sistemas precipitação-escoamento e abastecimento de água-saneamento de águas residuais (e pluviais), de modo a que para uma bacia hidrográfica urbana em concreto se analisem cenários destinados a promover o uso de fontes alternativas de água, como o aproveitamento de águas pluviais, e a avaliar o seu significado em termos de indicadores de sustentabilidade (como redução da água doce/importada, redução da produção de águas residuais e redução do escoamento superficial de águas pluviais). Para os cenários analisados, na avaliação da viabilidade das soluções identificadas, considerou-se também o efeito de diferentes escalas geográficas de gestão da água em meio urbano.

Os resultados obtidos mostram que do ponto de vista individual, a colocação de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais não tem grande impacto, podendo a nível coletivo ser uma boa opção, caso ocorram iniciativas adequadas por parte das entidades públicas.

ABSTRACT

To supply the growing world population with quality water, alongside with the emergence of a medium class at a pace that is never seen before, and with the increasing urbanization, it is one of the biggest challenges that companies are facing today.

These growing needs of quality water for different purposes - agricultural, industrial and urban consumption - occur in a scenario of uncertainty dominated by climate changes, which, by causing a change in precipitation patterns, may make it harder to supply the desired water. Particularly in the regions of the planet Earth where the availability of water is already scarce.

In this context, in many countries we are witnessing a shift of paradigm, relatively to water management in urban areas, promoting the transition from a model that is based on supply management to a new model that is based on demand management. In this new model the fundamental commitment is the efficient use of the water, at the same time promoting alternative sources of water, such as wastewater reuse and use of pluvial water, for compatible purposes with its' quality, in order to promote the sustainability of the urban water cycle.

In this work there is used a model that adequately describes the urban water cycle in a holistic and systemic way, considering the rainfall-runoff sub-systems and wastewater systems (and rain) water supply, so that for a basin of urban area, in particular, the analyses of scenarios would promote the use of alternative water sources such as pluvial water, and it assesses their significance of sustainability indicators (such as the reduction of freshwater /imported, the reduction of the production of wastewater and the reduction of rain water runoff). For the analyzed scenarios, while assessing the feasibility of the identified solutions, also the effect of different geographical scales of water management in urban areas was taken into consideration.

The results show that from individual point of view the rain tank has no great impact but it could be a good option in a collective level in case of suitable measures from public entities.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento e Motivação	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura da Dissertação	2
2	GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	4
2.1	Água – um recurso natural.....	4
2.1.1	Água fonte de vida.....	4
2.1.2	Ciclo hidrológico	4
2.1.3	Balanço hídrico ao Ciclo Urbano da Água.....	10
2.2	Sustentabilidade	13
3	METODOLOGIA.....	16
3.1	Abordagem ao modelo.....	16
3.2	Estrutura e principais características do modelo.....	19
3.3	Representação conceptual do Ciclo Urbano da Água.....	22
4	CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	31
4.1	Bacia da Ribeira dos Covões	31
4.2	Processamento de dados e modelação do uso urbano da água	33
4.2.1	Características físicas da bacia	33
4.2.2	Dados meteorológicos e consumos de água	39
4.3	Calibração do modelo e verificação.....	41
5	DEFINIÇÃO e ANÁLISE DE CENÁRIOS	42
5.1	Definição de Cenários.....	42
5.2	Análise de Cenários	51
5.2.1	Considerações gerais	51
5.2.2	Cenário de Referência	53
5.2.3	Cenário 1 vs Cenário de Referência	57
5.2.4	Cenários 2a e 2b vs Cenário Referência.....	60
5.2.5	Cenários 3a e 3b vs Cenário de Referência.....	63
5.2.6	Cenário 4 vs Cenário de Referência	67
6	CONCLUSÕES	73
6.1	Considerações finais	73
6.2	Estudo futuros	75

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
----------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico (USGS@, 2013)	5
Figura 2.2 – Uso global de água (Molden, 2007)	6
Figura 2.3 – Atlas da disponibilidade de recursos hídricos renováveis <i>per capita</i> em 2007 (adaptado de FAO (2008))	7
Figura 2.4 – Evolução da população mundial no período de 1950-2030 (adaptado de EUCAR@ (2014))	8
Figura 2.5 – Evolução da população por classes – rica, média e pobre – entre 2000 – 2030 (adaptado de Kharas (2011))	9
Figura 2.6 – Défice global agregado entre oferta existente, acessível e confiável e as captações em 2030, assumindo que não há ganhos de eficiência. (adaptado de McKinsey (2009))	9
Figura 2.7 – Ciclo Urbano da Água – abordagem sistémica (Temido, 2005)	12
Figura 3.1 – Interface com os dados em estudo	17
Figura 3.2 – Sistema hídrico urbano representado por <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell (2005))	18
Figura 3.3 – Escala espacial usada no <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell <i>et al</i> (2001))	19
Figura 3.4 – Estrutura do modelo de cálculo <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell (2005))	20
Figura 3.5 – Representação conceptual do ciclo urbano da água pelo <i>Aquacycle</i> (Mitchell, 2005)	23
Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do caso de estudo: a) concelho de Coimbra (Wikipédia@, 2014); b) Ribeira dos Covões (AC, 2009)	31
Figura 4.2 – Distribuição da Bacia da Ribeira dos Covões pelas freguesias (AC, 2009)	32
Figura 4.3 – Carta Hipsométrica da Bacia da Ribeira dos Covões (Marques <i>et al.</i> , 2007)	33
Figura 4.4 – Representação das 48 sub-bacias (adaptada de AC (2009))	34
Figura 4.5 – Precipitação anual, evapotranspiração potencial anual e número de dias por ano com precipitação (2002-2012)	40
Figura 4.6 – Usos interiores de água (L/(hab.dia))	40
Figura 5.1 – Parâmetros calculados e definidos pelo utilizador - Cenário de Referência	44

Figura 5.2 – Opções à escala do lote de construção individual – Cenário de Referência	45
Figura 5.3 – Opções à escala do loteamento urbano – Cenário de Referência.....	46
Figura 5.4 – Parâmetros calculados e definidos pelo utilizador – Cenário 1	47
Figura 5.5 – Opções à escala do lote de construção individual – Cenário 2a	48
Figura 5.6 – Opções à escala do lote de construção individual – Cenário 3b	48
Figura 5.7 – Opções à escala do lote de construção individual – Cenário 4	49
Figura 5.8 – Componentes de entrada do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário de Referência.....	53
Figura 5.9 – Componentes de saída do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário de Referência.....	54
Figura 5.10 – Componentes de entrada do balanço hídrico anual – Cenário 1 vs Cenário de Referência	59
Figura 5.11 – Componentes de saída do balanço hídrico anual – Cenário 1 vs Cenário de Referência	59
Figura 5.12 – Componentes de entrada do balanço hídrico anual – Cenário 2a vs Cenário 2b.....	62
Figura 5.13 – Componentes de saída do balanço hídrico anual – Cenário 2a vs Cenário 2b..	63
Figura 5.14 – Componentes de entrada do balanço hídrico anual – Cenário 3a vs Cenário 3b.....	66
Figura 5.15 – Componentes de saída do balanço hídrico anual – Cenário 3a vs Cenário 3b.....	66
Figura 5.16 – Componentes de entrada do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário 4..	67
Figura 5.17 – Componentes de saída do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário 4.....	68

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Critérios de sustentabilidade desenvolvidos para o projeto SWARD (Foxon <i>et al.</i> , 2002)	15
Quadro 3.1 – Características chave do <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell (2005))	21
Quadro 3.2 – Dados de entrada (adaptado de Mitchell (2005))	24
Quadro 3.3 – Parâmetros definidos pelo utilizador no <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell (2005))	24
Quadro 3.4 – Parâmetros de calibração no <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell (2005))	25
Quadro 3.5 – Ficheiros de resultados (adaptado de Mitchell (2005)).....	26
Quadro 3.6 – Métodos de utilização das águas pluviais e residuais pelo <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell (2005)).....	28
Quadro 3.7 – Prioridades no abastecimento para satisfação da procura em função das várias fontes disponíveis <i>Aquacycle</i> (adaptado de Mitchell (2005)).....	30
Quadro 4.1 – Valores do lote de construção individual de referência.....	36
Quadro 4.2 – Parâmetros característicos do loteamento urbano à escala do lote de construção individual.....	36
Quadro 4.3 – Parâmetros característicos de cada loteamento urbano	38
Quadro 4.4 – Parâmetros de calibração (adaptado de Mitchell (2005)).....	41
Quadro 5.1 – Quadro síntese dos valores dos parâmetros calculados à escala do lote de construção individual.....	43
Quadro 5.2 – Quadro síntese dos valores dos parâmetros calculados à escala do loteamento urbano	43
Quadro 5.3 – Definição dos Cenários.....	50
Quadro 5.4 – Conjunto de resultados iguais nas simulações dos vários cenários.....	52
Quadro 5.5 – Balanço hídrico anual da bacia em estudo – Cenário de Referência.....	55
Quadro 5.6 – Balanço hídrico médio sazonal (2002-2012) – Cenário de Referência.....	56
Quadro 5.7 – Resultados do Cenário de Referência vs Cenário 1	58
Quadro 5.8 – Resultados dos Cenários 2a e 2b	61
Quadro 5.9 – Resultados do Cenários 3a vs Cenário 3b.....	64
Quadro 5.10 – Balanço hídrico anual da bacia em estudo – Cenário 4	69

Quadro 5.11 – Balanço hídrico médio sazonal (2002-2012) – Cenário 4.....	70
Quadro 5.12 – Resultados do Cenário 4.....	72

ACRÓNIMOS E SIGLAS

CHUC – Centro Hospital e Universitário de Coimbra

ESAC – Escola Superior Agrária de Coimbra

ESEC – Escola Superior de Enfermagem de Coimbra

ESTeSC – Escola Superior da Tecnologia da Saúde de Coimbra

ETA – Estação de Tratamento de Águas

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FAO – Food and Agriculture Organization

GICUA – Gestão Integrada do Ciclo Urbano da Água

ISA – Indicadores de Sustentabilidade Ambiental

ISCAC – Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra

SUDS – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável

ZMC – Zonas de Medição e Controlo

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Motivação

Como é sabido, a água é um recurso precioso e imprescindível à vida.

Atualmente, a existência deste recurso natural em algumas zonas do nosso planeta encontra-se já em níveis de escassez, destacando-se duas tendências que têm vindo a agravar esta situação ao longo dos anos: o aumento da população e o aumento da classe média.

Se por um lado a população mundial viu na água um recurso com enormes e versáteis potencialidades de utilização, também foi com facilidade que, de formas diversas, levou a cabo várias ações que resulta na poluição da mesma. Neste âmbito, os desastres ambientais, como secas e inundações que afetam diretamente a qualidade da água são cada vez mais atribuídos à ação humana causadora das alterações climáticas em curso.

As alterações climáticas, o crescimento da população mundial e a má gestão generalizada da água contribuem para que as reservas dos recursos hídricos sejam cada vez mais menores. Alguns países atingiram os limites de exploração dos seus recursos hídricos.

Muitas vezes, existe um grande desperdício de água por parte da população por causa da sua ineficiente utilização ou, então, pelo facto da sua escassez ainda não se fazer sentir.

Assim sendo, a Gestão Integrada do Ciclo Urbano da Água (GICUA) de forma sustentável e eficiente proporciona alternativas como por exemplo o aproveitamento das águas pluviais e a reutilização das águas residuais as quais podem contribuir para diminuir os efeitos das ameaças descritas anteriormente, aumentando a eficiência no uso da água doce enquanto recurso escasso.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo simular vários cenários destinados a suprir as necessidades de água em áreas geográficas com diferentes escalas – nomeadamente o lote de construção individual, o loteamento urbano e a bacia de drenagem –, recorrendo para o efeito, a um modelo do Ciclo Urbano da Água: o modelo *Aquacycle*. Este é capaz de considerar de forma sistémica e holística, os sub-sistemas que compõem o referido ciclo, nomeadamente, o sub-sistema precipitação-escoamento de águas pluviais e o sub-sistema abastecimento de água-saneamento de águas residuais. O modelo *Aquacycle*, aplicado a bacias urbanas, foi desenvolvido com o objetivo de simular o Ciclo Urbano da Água como um sistema integrado e como uma ferramenta de análise no estudo do uso de águas pluviais, enquanto substituta de água doce (água de abastecimento público) fornecida através dos sistemas públicos de abastecimento e para aumentar a eficiência no uso de água doce. Esta origem de água substituta pode ser utilizada para suprir as necessidades hídricas de uma determinada área geográfica, considerando diferentes utilizações e estabelecendo diferentes prioridades de qualidade da água para esses usos, pretendendo-se estabelecer as alternativas em termos de origens de água (águas pluviais) e sua proporção, para que sejam capazes de promover uma maior sustentabilidade no uso da água.

Assim, para a área geográfica estudada neste trabalho - a Bacia Hidrográfica da Ribeira dos Covões-, tem-se em vista a promoção de fontes alternativas de água destinadas a conseguir a redução da água de abastecimento público bem como do escoamento superficial de águas pluviais e melhorar a sustentabilidade do uso da água, medida através de indicadores de sustentabilidade. No que diz respeito à bacia em análise, estudar-se-ão vários cenários relativamente aos usos da água e suas origens, através da utilização do modelo *Aquacycle* e da simulação de cenários.

1.3 Estrutura da Dissertação

Para além deste primeiro capítulo, *Introdução*, onde se enquadra o trabalho e se delineiam os seus objetivos, esta dissertação apresenta mais quatro capítulos.

No capítulo dois, *Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos*, é feita uma abordagem ao problema da gestão sustentável de recursos hídricos abordando os conceitos de ciclo

hidrológico e equação do balanço hídrico aplicada ao ciclo urbano da água, apresentando-se ainda alguns conceitos em relação à sustentabilidade.

No capítulo três, *Metodologia*, é definido o método utilizado para explorar as origens alternativas de água e a sua proporção de utilização, apresenta-se o modelo computacional *Aquacycle*, destinado a descrever o ciclo urbano da água de forma integrada, i.e., considerando os sub-sistemas precipitação-escoamento pluvial e abastecimento público de água – saneamento de águas residuais urbanas e três fontes de abastecimento, nomeadamente, a água de abastecimento público, a reutilização de águas residuais e a fonte alternativa de água doce, como o aproveitamento de águas pluviais através de armazenamento temporário.

No capítulo quatro, *Caraterização do Caso de Estudo*, apresentam-se os dados necessários para a modelação e análise de cenários para a bacia hidrográfica da Ribeira dos Covões.

No capítulo cinco, *Definição e Análise de Cenários*, é feita a simulação, análise e discussão dos resultados obtidos para os diferentes cenários no âmbito deste estudo.

Por fim, no capítulo seis, *Conclusões*, apresentam-se as principais conclusões obtidas ao longo do estudo realizado, limitações encontradas no modelo utilizado e sugestões para trabalhos futuros.

2 GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS

2.1 Água – um recurso natural

2.1.1 Água fonte de vida

A água é uma substância química composta por dois átomos de hidrogénio e um átomo de oxigénio. Na sua forma natural é incolor, inodora e insípida.

A água é o mais importante constituinte dos organismos vivos pois cerca de 50% a 90% da biomassa é constituída por água.

É um recurso indispensável à vida. A vida humana e grande parte da natureza viva dependem da disponibilidade de água doce, pelo que a sua gestão deve ser feita de forma adequada, evitando o esgotamento da quantidade disponível e a deterioração da sua qualidade. A água doce constitui apenas 2.5% de toda a água na Terra, incluindo a água do mar, sendo que a maior parte está retida nas calotas de gelo do planeta.

Atualmente existe cada vez mais uma maior preocupação em (re)aproveitar este recurso tão precioso, de modo a diminuir o seu desperdício.

2.1.2 Ciclo hidrológico

No planeta Terra a água é um recurso renovável e é a única substância que existe nos três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso), implicando que haja transferências contínuas entre os mesmos. Essa transferência é feita através de um processo conhecido como ciclo hidrológico.

De acordo com a Figura 2.1 o ciclo hidrológico é dividido em dois ramos principais: o atmosférico e o terrestre. A parte terrestre abrange a água que encontra em contato com o

solo, o seu escoamento e armazenamento. Por outro lado, a vertente atmosférica consiste no transporte atmosférico de água, principalmente na forma de vapor.



Figura 2.1 – Ciclo hidrológico (USGS@, 2013)

Os oceanos representam 97% do total de água existente na Terra, sendo que os restantes 3% se encontram divididos sob várias formas: nas calotas polares, rios e lagos ou retidos no subsolo e na atmosfera.

Em termos globais, o volume de água doce que flui anualmente através do ciclo hidrológico, caindo a partir da atmosfera sob a forma de precipitação, é de 110 000 km³. Desta quantidade, cerca de $\frac{2}{3}$ regressa à atmosfera, diretamente através da evaporação a partir do solo ou, indiretamente, através da vegetação existente na Terra. Os restantes 40.000 km³ designam-se por recursos hídricos renováveis e alimentam rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Estes

recursos renováveis podem ser captados para usos humanos através da construção de infraestruturas (FAO, 2012).

Neste âmbito, a maior parte da água captada é, posteriormente, devolvida ao ambiente após a sua utilização, podendo ser normalmente rejeitada com uma qualidade inferior àquela com que foi captada e constituindo, se não for devidamente tratada, uma fonte de poluição.

A Figura 2.2 apresenta, para a quantidade de água precipitada anualmente, as percentagens de utilização para os diferentes usos. A água resultante da precipitação que naturalmente se infiltra no solo e que as plantas podem utilizar diretamente encontra-se representada a verde (*água verde*). As águas superficiais, como os rios e os lagos, assim como as águas provenientes dos aquíferos subterrâneos que podem ser extraídas para outros usos encontram-se representadas a azul (*água azul*).

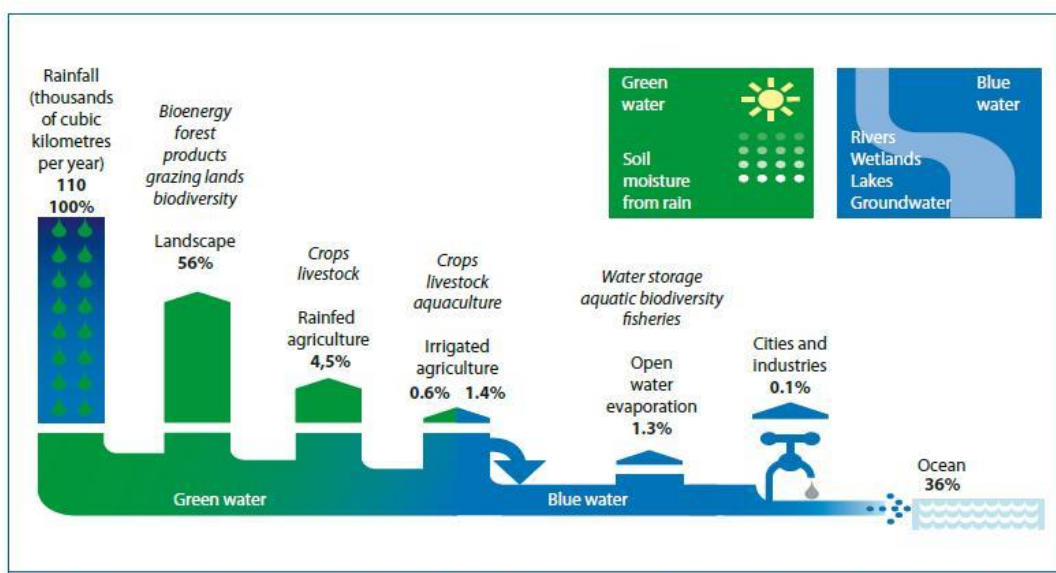


Figura 2.2 – Uso global de água (Molden, 2007)

As setas traduzem a quantidade de água utilizada nos vários usos como uma percentagem do total de água precipitada. Por exemplo, a *água verde* corresponde a cerca de 61% do total, sendo 56% evapotranspirada dos vários espaços verdes que oferecem suporte à bioenergia, aos produtos florestais, às pastagens de gado e à biodiversidade, 4,5% resulta da evapotranspiração da agricultura de sequeiro que serve de suporte às colheitas e à pecuária e 0,6% da agricultura de regadio.

Globalmente, cerca de 39% da precipitação ($42\,790\text{ km}^3$) contribui para a *água azul*, assumindo esta um papel importante para a biodiversidade, para a pesca e para os ecossistemas aquáticos. A evapotranspiração total resultante da agricultura de regadio é cerca de 2% da precipitação, sendo que 0.6% é obtida diretamente da precipitação (*água azul*) e 1.4% resulta da água de rega (*água azul*).

Os recursos hídricos renováveis, cerca de 40.000 Km^3 , não se encontram uniformemente distribuídos pelo globo terrestre, (Figura 2.3). A escassez de água ocorre quando a quantidade retirada dos lagos, rios e águas subterrâneas é de tal modo elevada que o seu abastecimento deixa de ser adequado para satisfazer as necessidades dos seres humanos e/ou dos requisitos dos ecossistemas. Pode observar-se que existem zonas, nomeadamente o Norte de África e a Península Arábica, onde os recursos hídricos renováveis *per capita* se encontram em situação classificada pela FAO como de escassez¹. Por outro lado, as zonas a azul não se deparam com a ameaça de escassez. No entanto, podem surgir outros problemas, como por exemplo, a falta de infraestruturas destinadas a permitir o abastecimento de água às populações que dela carecem.

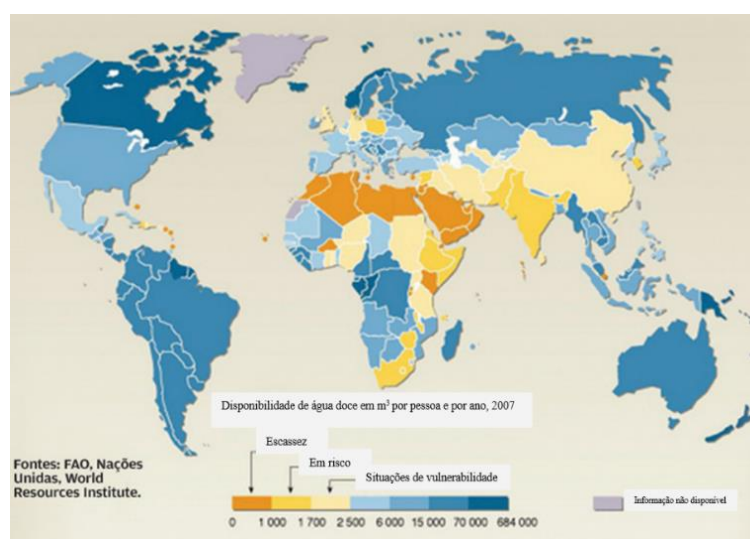


Figura 2.3 - Atlas da disponibilidade de recursos hídricos renováveis *per capita* em 2007 (adaptado de FAO (2008)).

¹ Escassez de água - desequilíbrio entre as necessidades de água e a oferta que variam consoante as condições meteorológicas do local. Três tipos de escassez: i) quando a qualidade de água de abastecimento público não é aceitável; ii) quando não há acesso às entidades gestoras de água para garantir o abastecimento; iii) falta de infraestruturas adequadas (FAO@, 2014)

A Figura 2.4 representa a evolução da população rural, urbana e total, no período de 1950-2030 (adaptado de EUCAR@ (2014)). Segundo esta previsão a população mundial continuará a aumentar e uma proporção cada vez maior viverá em cidades. O meio ambiente urbano é um importante fator na determinação da qualidade de vida nas áreas urbanas, bem como do seu impacto nas áreas envolventes. Deste modo, alguns problemas ambientais urbanos incluem abastecimento de água e saneamento inadequados. Com o previsível crescimento da população urbana estes problemas acentuar-se-ão.

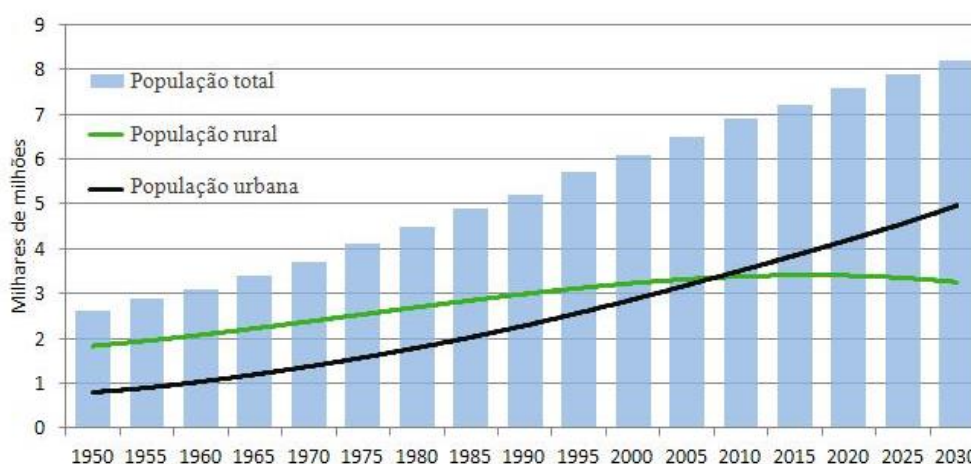


Figura 2.4 – Evolução da população mundial no período de 1950-2030 (adaptado de EUCAR@ (2014))

A Figura 2.5 ilustra como a classe média irá aumentar ao longo dos anos, até 2030 (adaptado de Kharas (2011)). Cerca de 1,8 bilhões de pessoas no mundo são consideradas de classe média, ou seja, 28% da população mundial. Sensivelmente metade dessas pessoas vive nas economias desenvolvidas. A percentagem mais significativa, cerca de 70%, pertencem à classe pobre. Por outro lado, na classe rica encontram-se os restantes 2% da população. Caso esta tendência se verifique, a procura de água para os diversos fins tenderá a crescer, se atendermos à alteração dos hábitos de consumo, como a passagem de formas de vida baseada na subsistência para hábitos típicos de sociedades de consumo.

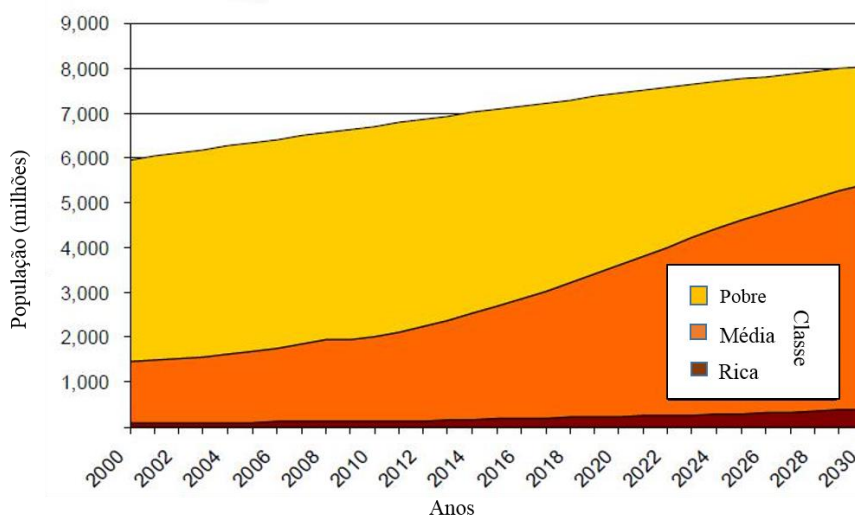
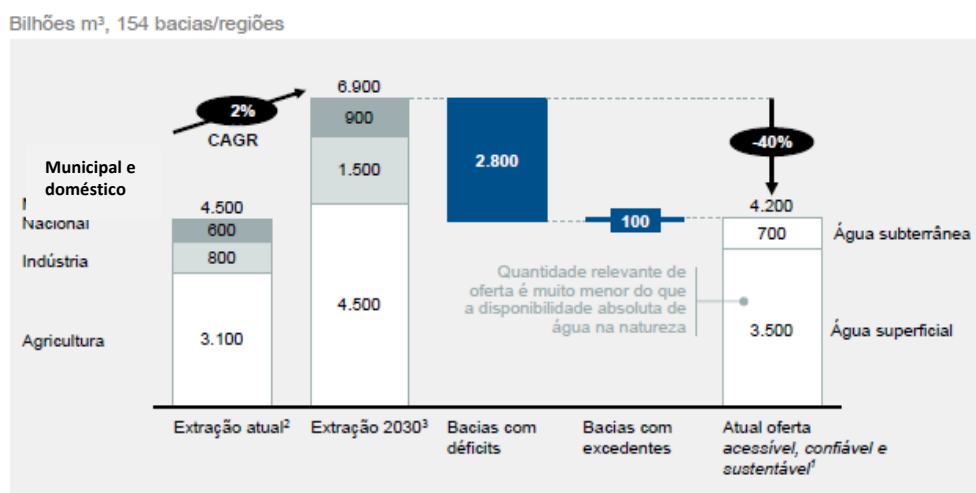


Figura 2.5 – Evolução da população por classes – rica, média e pobre – entre 2000 – 2030 (adaptado de Kharas (2011))

Devido ao aumento da população mundial e ao aumento da classe média, estima-se que as necessidades de água crescerão desde os 4.500 bilhões Km³ em 2010 até 6.900 Km³ em 2030, como mostra a Figura 2.6 (adaptado de McKinsey (2009)). Como mostra a figura, tal crescimento significa um déficit global de água de 2700 Km³ em 2030 o que corresponde a cerca de 40% da procura.



1 Oferta atual que pode ser fornecida com confiabilidade de 90%, com base em investimentos históricos em hidrologia e infraestrutura agendados até 2010; ilíquido de requerimentos ambientais
2 Com base em análises de produção agrícola para 2010 de IFPRI
3 Com base em PIB, projeções de população e produção agrícola de IFPRI; não considera ganhos de produtividade entre 2005-2030

Figura 2.6 - Déficit global agregado entre oferta existente, acessível e confiável e as captações em 2030, assumindo que não há ganhos de eficiência. (adaptado de McKinsey (2009))

Através da análise conjunta das Figura 2.2 e Figura 2.6 pode-se concluir que as necessidades de água atuais correspondem a cerca de 10% dos recursos hídricos disponíveis (*água azul*).

É de salientar também que, o crescimento da população em áreas urbanas com conseqüente aumento da urbanização contribui para um aumento das áreas impermeáveis. Com a ocorrência de eventos de precipitação extremos cada vez mais frequentes, e dado que os sistemas de drenagem têm muitas vezes capacidade insuficiente, aumenta o risco de cheias urbanas. Para minimizar este problema surgiram, recentemente, os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) em que uma das soluções pode ser, por exemplo, o armazenamento temporário de águas pluviais através de bacias de retenção (Pina *et al*, 2010). Além disso, a União Europeia elaborou a Diretiva 2007/60/CE relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações.

2.1.3 Balanço hídrico ao ciclo urbano da Água

A tradicional gestão urbana da água tem sido feita considerando três partes distintas: abastecimento de água, saneamento de águas residuais e saneamento de águas pluviais. Ao atuarem deste modo, os responsáveis pela gestão urbana da água são incapazes de desenvolver estratégias sustentáveis da gestão da água, para além de poderem incorrer em desperdícios de recursos públicos.

A gestão integrada do ciclo urbano da água (GICUA) procura encontrar novas soluções para a gestão da água através da remoção de barreiras entre as três áreas de atuação do setor da água a fim de melhorar a eficiência da utilização da água.

O ciclo urbano da água engloba duas componentes – ou dois subsistemas –, a componente abastecimento de água–saneamento de águas residuais urbanas e a componente precipitação–escoamento de águas pluviais.

As principais etapas da componente *abastecimento de água–saneamento de águas residuais urbanas* são:

- **Captação:** a água pode ser recolhida em captações superficiais (rios, albufeiras e lagos) ou em captações subterrâneas (furos, poços e nascentes);

- Tratamento da água: o tratamento é realizado numa ETA (Estação de Tratamento de Águas), de modo a que a água possa ser utilizada para consumo humano;
- Adução: transporte entre a ETA e os reservatórios de distribuição;
- Armazenamento: a água é temporariamente armazenada em reservatórios;
- Distribuição: a água é conduzida pela rede de distribuição até aos locais de consumo;
- Consumo: utilização doméstica da água e em sistemas de rega, por exemplo;
- Recolha: a água, depois de utilizada, dá origem a águas residuais, que têm de ser recolhidas;
- Drenagem: transporte das águas residuais desde os locais de recolha até ao local de tratamento, antes da sua rejeição no meio recetor;
- Tratamento: realizado nas ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais), com parâmetros de descarga dependentes dos objetivos de qualidade fixados para os meios recetores;
- Rejeição: lançamento das águas residuais tratadas no meio recetor.

As principais etapas da componente *precipitação–escoamento de águas pluviais* são:

- Recolha: as águas de escoamento superficial que resultam da precipitação são conduzidas (normalmente através de órgãos de entrada) para sistemas de drenagem de águas pluviais;
- Drenagem: transporte das águas desde os locais de recolha até ao local de rejeição no meio recetor, podendo ocorrer, eventualmente, armazenamento temporário no percurso até ao lançamento final e/ou tratamento antes da descarga final;
- Rejeição: lançamento das águas pluviais no meio recetor.

Para a realização do balanço hídrico ao ciclo urbano da água integrado, os dois subsistemas acima referidos devem ser integrados num único sistema.

A Figura 2.7 ilustra o ciclo urbano da água, combinando o subsistema de abastecimento de água com o sistema de saneamento de águas residuais, por um lado, e o subsistema precipitação–escoamento de águas pluviais, por outro.

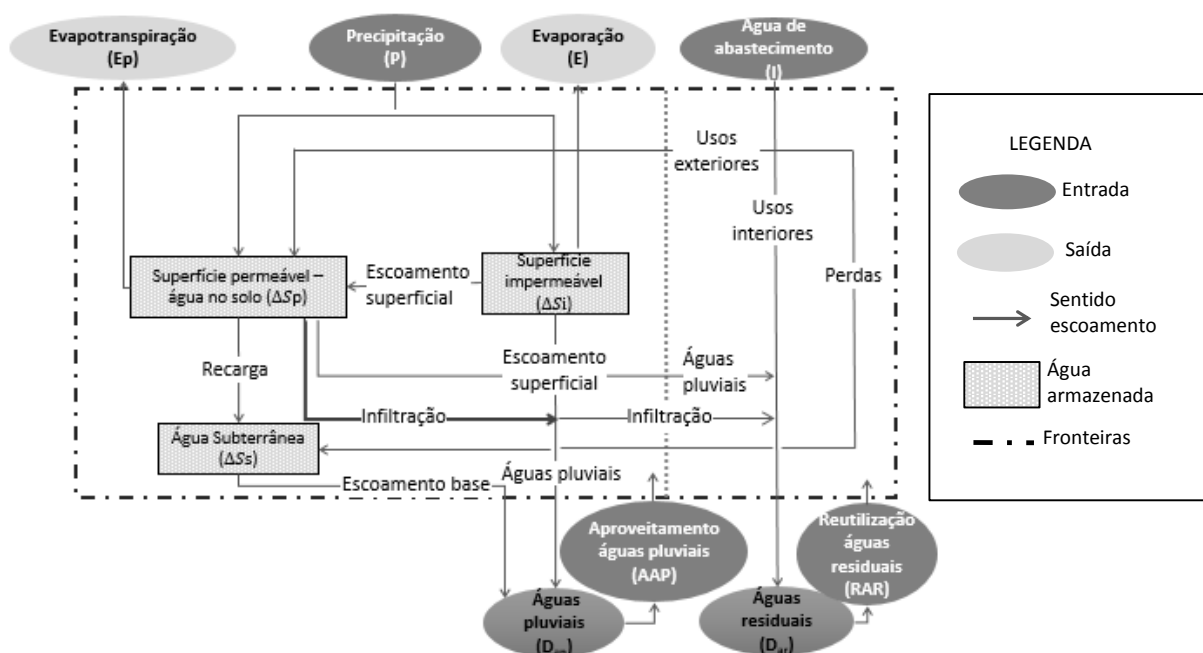


Figura 2.7 - Ciclo urbano da água – abordagem sistêmica (Temido, 2005)

A expressão ”balanço hídrico” assenta, geralmente, na aplicação do princípio da conservação da massa (Grimmond *et al*, 1986) utilizada tendo em conta o movimento da água (na fase do ciclo hidrológico em que a água se encontra na superfície terrestre) que entra e sai de uma dada área geográfica e num determinado intervalo de tempo (McPherson, 1973).

O balanço hídrico para um determinado intervalo de tempo, de acordo com a Figura 2.7, é dado por:

$$P + I + (A_p + R_{ar}) = (E_p + E) + (D_{ap} + D_{ar}) + \Delta S \quad (1)$$

Em que,

P – Precipitação
I – Água de abastecimento público
A_p – Aproveitamento das águas pluviais
R_{ar} – Reutilização das águas pluviais
E_p – Evapotranspiração
E – Evaporação
D_{ap} – Águas pluviais
D_{ar} – Água residuais
ΔS – Variação do armazenamento

2.2 Sustentabilidade

Sustentabilidade é um termo de origem latina “*sustentare*” que significa sustentar, defender, favorecer, conservar e cuidar, sendo utilizado para definir ações e atividades humanas. O conceito de sustentabilidade está, então relacionado, diretamente, com a atitude que o Homem toma na sua intervenção no meio ambiente, satisfazendo as suas necessidades presentes sem comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras, tendo em conta a preservação do meio ambiente para não comprometer os recursos naturais a longo prazo – *desenvolvimento sustentável* (Brundtland, 1991).

Perante as fragilidades com que nos deparamos diariamente, a degradação e os riscos provocados pelos diversos estilos de vida, o bom uso dos recursos naturais tornou-se uma tarefa difícil. Assim sendo, a sustentabilidade é um dos maiores desafios da sociedade. O problema que se põe é gozar a abundância do presente sem se perceber que se está a desperdiçar recursos que pertencem as gerações futuras. É importante salientar que a sustentabilidade pressupõe a existência de um equilíbrio com o ambiente no geral, tendo em conta que todos os elementos estão interligados pela ação humana.

Com efeito, a água é um recurso natural e renovável e, para que possa existir um desenvolvimento sustentável, é necessário diminuir os seus impactos adversos, de forma a manter a integridade global do ecossistema.

Ao longo dos anos têm ocorrido fatores que levam a uma crescente pressão na utilização dos recursos hídricos, como por exemplo, a população, a economia, as mudanças climáticas e a poluição. Os problemas relacionados com a água derivam da incapacidade que o Homem tem de equilibrar o seu uso com as necessidades do mundo natural. Estes problemas passam pela

deficiente gestão dos sistemas, através de incentivos económicos inadequados, ausência de investimento, falta de aplicação das tecnologias existentes e, por vezes, da inconsciência e/ou mentalidade inconvenientes. Assim sendo, pensando na água como um direito humano básico, na importância da sua conservação, nas ameaças da sua escassez no mundo, nos impactos das mudanças climáticas sobre esta e muito mais, torna-se uma prioridade promover a sua gestão sustentável.

Posto isto, para colocar em prática o conceito de desenvolvimento sustentável, torna-se necessário definir indicadores de sustentabilidade como ferramenta essencial na sua gestão e avaliação. A utilização dos indicadores de sustentabilidade tem como finalidade avaliar o desempenho das ações adotadas para uma gestão sustentável, ou seja, sem alterar as condições iniciais, obter de forma simplificada informações científicas e técnicas que, à posteriori, possam facilitar na reflexão dos parâmetros e objetivos traçados. De acordo com esta ferramenta, torna-se possível avaliar e comparar a qualidade das decisões na gestão de sustentabilidade em diferentes escalas (por exemplo, mundial, regional e local) e desencadear novas atividades e soluções neste âmbito, sem colocar em risco os recursos naturais.

Os indicadores de sustentabilidade são uma ferramenta de informação que indicam a proximidade ou afastamento do conceito de sustentabilidade. A integração dos indicadores de sustentabilidade nos processos de decisão é um elemento chave para as entidades gestoras (Foxon *et al.*, 2002). Os indicadores de sustentabilidade devem ser relevantes para os utilizadores, de clara compreensão, baseados em dados fiáveis que sejam de fáceis de obter, permitam efetuar previsões e genéricos de modo a permitir comparações.

Os indicadores podem ser classificados segundo quatro categorias: económica, ambiental, social e técnica. Uma avaliação adequada da sustentabilidade deve considerar as quatro categorias. O Quadro 2.1 apresenta um conjunto de critérios de sustentabilidade desenvolvidos para o projeto SWARD (Sustainable Water Industry Asset Resources Decisions) (Foxon *et al.*, 2002).

A utilização de modelos do ciclo urbano da água, com indicadores de sustentabilidade construídos a partir dos resultados dos modelos, asseguram uma ferramenta para o processo de avaliação da sustentabilidade no uso da água, facilitando a avaliação dos componentes do ciclo e suas interações, bem como a comunicação entre as partes interessadas (entidades gestoras). Os resultados destes modelos constituem elementos relevantes do processo de decisão relativo à gestão integrada do ciclo urbano da água.

Quadro 2.1 - Critérios de sustentabilidade desenvolvidos para o projeto SWARD (Foxon *et al.*, 2002)

Económico	Ambiental	Social	Técnica
Custos do ciclo de vida	Utilização de recursos	Impacto nos riscos para a saúde humana	Desempenho dos sistemas
Disposição para pagar	Impacto ambiental	Partes interessadas	Fiabilidade
Acessibilidade	Garantia do serviço	Participação e responsabilidade	Durabilidade
Risco financeiro		Conhecimento público	Flexibilidade e adaptabilidade
		Inclusão social	

3 METODOLOGIA

3.1 Abordagem ao modelo

O processo tradicional da gestão de água urbana baseia-se numa fonte de abastecimento, normalmente, água de abastecimento público, sendo distribuída e utilizada para consumo doméstico/industrial e, de seguida, segue para uma ETAR onde depois é devolvida ao meio ambiente.

Para práticas mais sustentáveis aplicam-se métodos de reutilização/aproveitamento de água providas de várias fontes. Os modelos mais conhecidos para a avaliação da gestão do ciclo urbano da água são: Infoworks, Basins, SMURF, Hydro Planner, eWater's Water Cast and River Manager, SUWM's toolbox, UWOT, UrbanCycle, Aquacycle, Urban Developer, WaterCress, Fagan's model, Water StrategyMan, Aquatool e Systems Modelling RioGrande (Last, 2010).

De entre estes modelos utilizou-se o modelo *Aquacycle*. O *Aquacycle* é um software desenvolvido por Grace Mitchell e testado, inicialmente, numa bacia urbana em Canberra, Austrália (Mitchell *et al*, 2001) cujos pontos fortes são a simplicidade, disponibilidade dados de entrada, a rapidez de cálculo, descrição da paisagem citadina a vários níveis operando em diferentes escalas espaciais. Este modelo focaliza-se no uso do para fins habitacionais e os indicadores de sustentabilidade são reduzidos pois advêm dos resultados obtidos através do modelo.

Os indicadores de sustentabilidade do modelo *Aquacycle* são:

- 1) Água de abastecimento público
- 2) Escoamento de águas pluviais
- 3) Emissão de águas residuais

Esta lista de indicadores pode considerar-se limitada, comparativamente com o desejado para Indicadores de Sustentabilidade Ambiental (ISA).

A Figura 3.1 representa a interface principal do modelo.

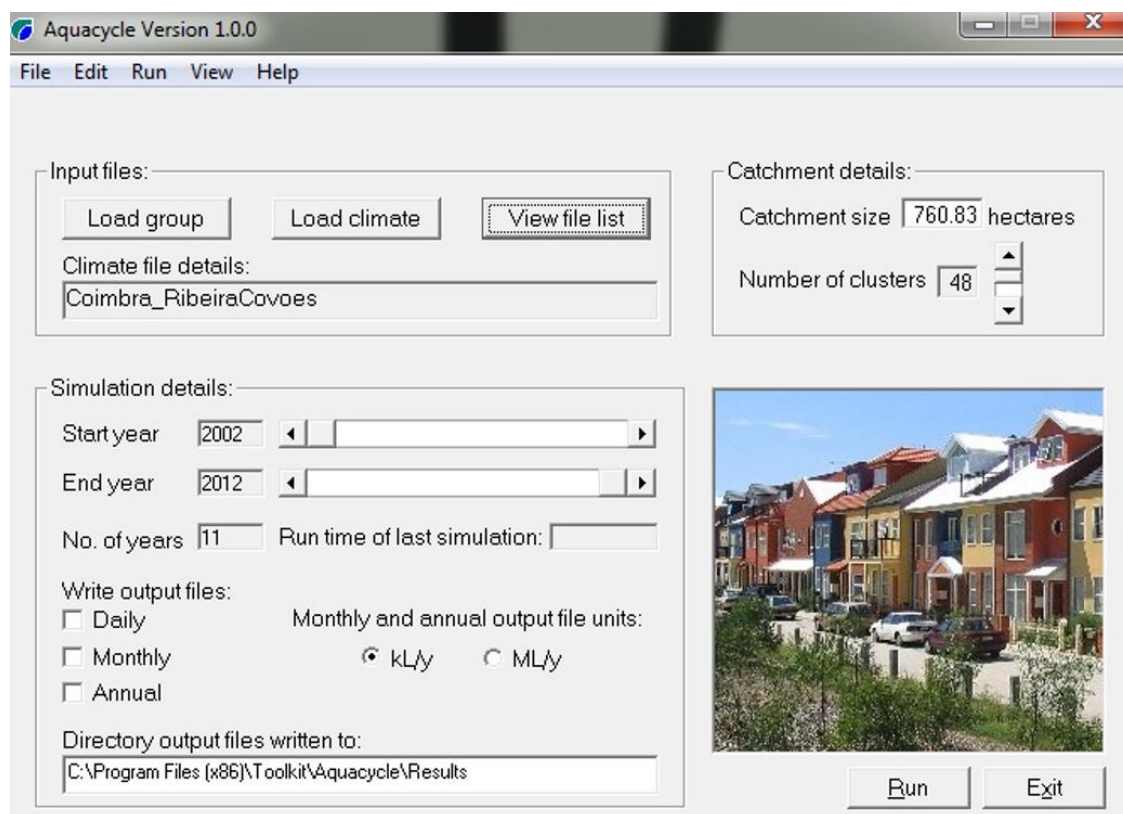


Figura 3.1 – Interface com os dados em estudo

Uma boa gestão de águas urbanas consiste em considerar que as águas pluviais e residuais geradas localmente possam admitir como um substituto à água de abastecimento público.

Neste sentido, o modelo *Aquacycle* foi desenvolvido com base no conceito do balanço hídrico ao ciclo urbano da água, isto é, representa o abastecimento público de água, do escoamento das águas pluviais e dos sistemas de drenagem águas residuais, tendo em conta os recursos hídricos urbanos para abastecimento, a sua procura e a disponibilidade de águas pluviais e residuais, bem como as interações entre elas, dependendo do local e da época do ano (Figura 3.2).

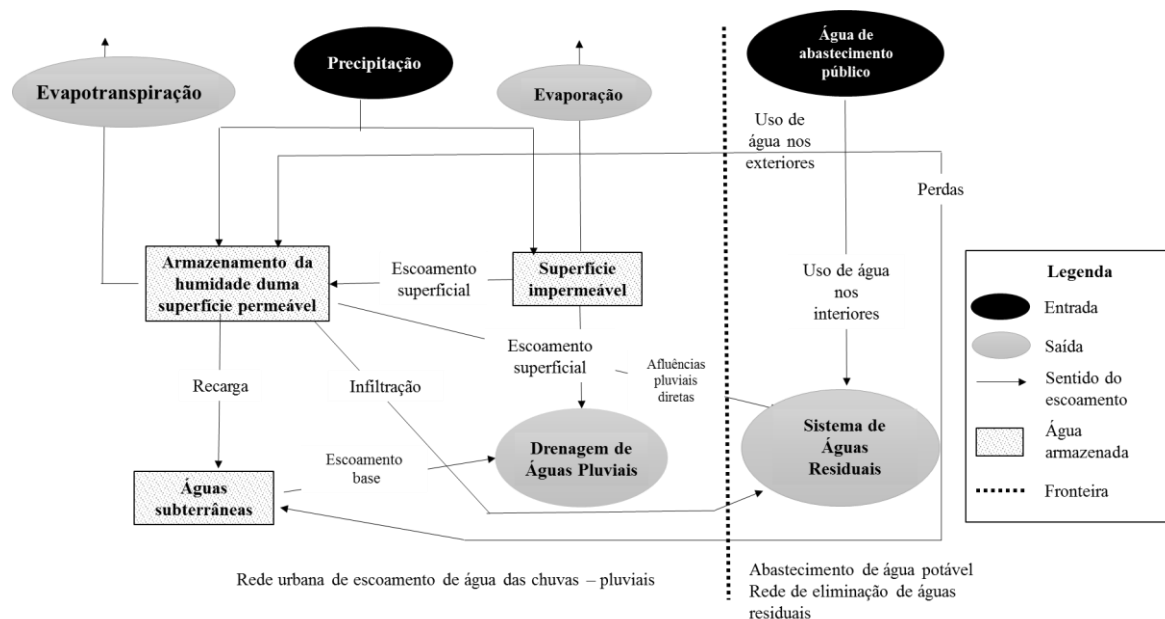


Figura 3.2 – Sistema hídrico urbano representado por *Aquacycle* (adaptado de Mitchell (2005))

Este modelo é uma ferramenta utilizada para simular o uso das águas residuais e das águas pluviais geradas localmente, e desencadear hipóteses em relação ao que aconteceria em diferentes cenários com alternativas de gestão urbana da água garantido, paralelamente, a sua eficiência no modo como é utilizada.

O *Aquacycle* apresenta estimativas diárias, mensais e anuais da procura da água, produção de águas pluviais e residuais, evapotranspiração, uso da água de abastecimento público e utilização das águas pluviais e residuais, bem como das medidas de desempenho de todas as estratégias de gestão da água selecionadas.

Este modelo opera em três escalas espaciais (Figura 3.3) – **lote de construção individual, loteamento urbano e bacia de drenagem** (a que correspondem no modelo aos termos *unit block*, *cluster* e *catchment*, respetivamente) – a fim de permitir modelar sistemas com configurações alternativas e avaliar cenários de aproveitamento e reutilização.

Um **lote de construção individual** refere-se a uma única habitação, instalações industriais ou a um serviço público ou comercial. Esta escala representa a menor unidade de gestão do

abastecimento de água, operações de tratamento e aproveitamento - reutilização, sendo dividida em jardim, telhado e áreas de pavimento. Esta escala engloba o uso da água, a produção de águas residuais e pluviais, as recargas de águas subterrâneas, as características do solo e as informações sobre a procura de água e os valores da precipitação diária e da evapotranspiração potencial diária. É ao nível desta escala que o utilizador define o tipo de sistema de gestão de água que opera; pode ser, por exemplo, um simples ajuste da gestão da água convencional ou a introdução de alguma alternativa, como a colocação de reservatórios para aproveitamento das águas pluviais ou reutilização das águas cinzentas.

Um **loteamento urbano** representa um grupo uniforme de lotes de construção individual que podem formar um bairro ou subúrbio. Inclui, ainda, estradas e espaços abertos. Esta escala é utilizada no modelo para incorporar os serviços de águas assegurados pelas respetivas entidades gestoras, como serviços municipalizados, empresas municipais ou outras, visto que assim se consegue avaliar o impacto de um sistema alternativo de gestão de água.

Por último, a **bacia de drenagem** é composta por um conjunto de loteamentos urbanos.

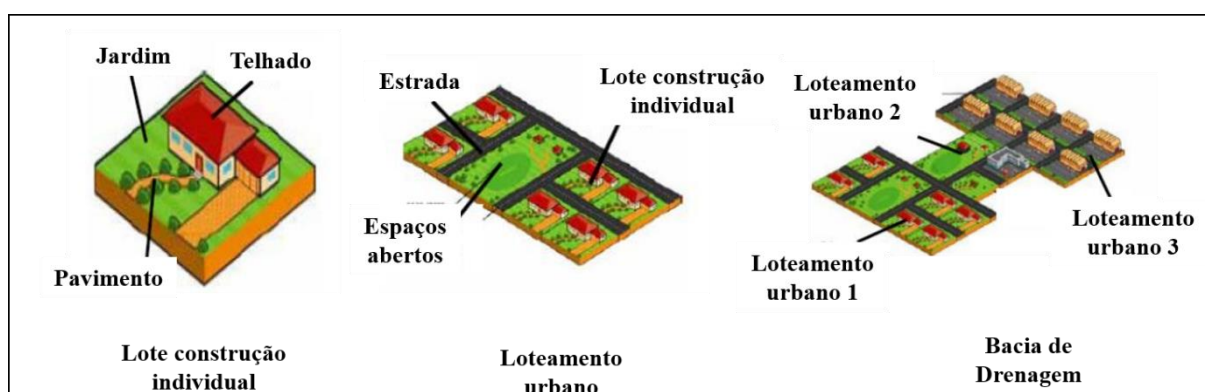


Figura 3.3 – Escala espacial usada no *Aquacycle* (adaptado de Mitchell *et al* (2001))

3.2 Estrutura e principais características do modelo

A Figura 3.4 ilustra a estrutura do modelo *Aquacycle*.

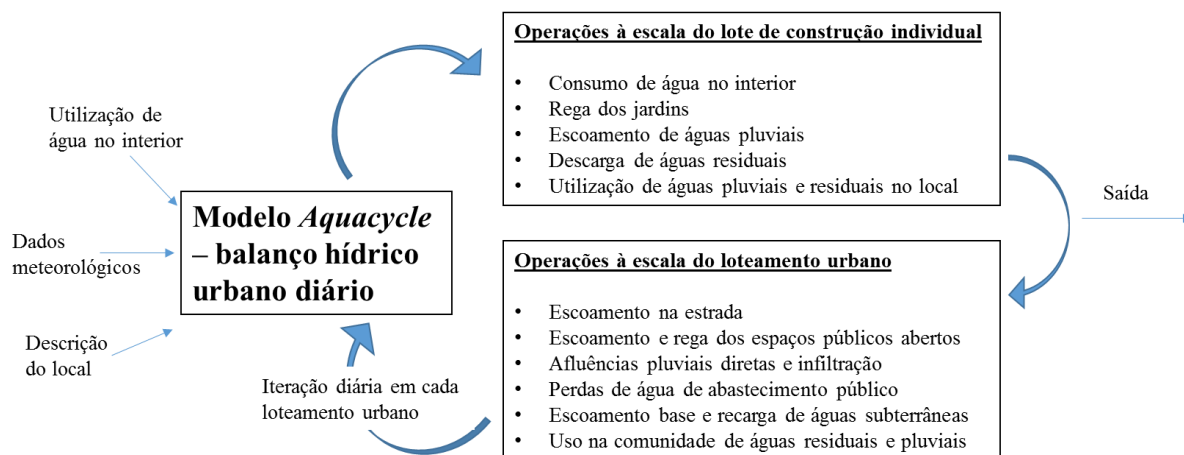


Figura 3.4 – Estrutura do modelo de cálculo do *Aquacycle* (adaptado de Mitchell (2005))

Os dados de entrada são constituídos, genericamente, pelos valores do uso doméstico da água, dos dados meteorológicos e pela descrição das características do local em estudo. À escala do *lote de construção individual* atua o consumo doméstico de água, a rega dos jardins, o escoamento de águas pluviais, as descargas de águas residuais e a utilização de águas pluviais e de águas residuais no local. Por sua vez, à escala do *loteamento urbano* são tratados o escoamento de água nas vias rodoviárias, o escoamento e rega em espaços abertos, a infiltração e a afluência, as perdas de água na rega de espaços abertos, as perdas de água no abastecimento, a recarga de águas subterrâneas, o escoamento base e o uso das águas pluviais e residuais. Assim, gera-se um ciclo com iterações diárias para cada loteamento urbano, para cada lote de construção individual do qual resulta um conjunto de resultados, à escala temporal diária, mensal e anual. Para a bacia de drenagem, o modelo apenas apresenta-se resultados à escala anual e mensal.

O modelo é caracterizado por um conjunto de características chave – escalas temporais e espaciais, requisitos de entrada, operações a diferentes escalas espaciais, fontes de abastecimento e utilizações alternativas de água e resultados de saída do modelo.

Como é visível no Quadro 3.1, a escala de tempo corresponde a um intervalo de tempo diário e a escala espacial abrange o lote de construção individual, o loteamento urbano e a bacia de drenagem. Quanto aos tipos de superfície são incluídas as áreas permeáveis irrigadas e não irrigadas, os telhados e as vias rodoviárias. Os requisitos de entrada correspondem à descrição

do local e da utilização doméstica da água, bem como à precipitação e evapotranspiração potencial diárias. Os resultados de saída englobam as águas pluviais, as águas residuais produzidas, a utilização da água de abastecimento disponível, a evapotranspiração e, ainda, caso se justifique, o abastecimento através de fontes alternativas. As opções de fontes alternativas para o abastecimento, ao nível do lote de construção individual, são a água importada, um reservatório para aproveitamento das águas pluviais e o tratamento das águas residuais com armazenamento e utilização no local. Para os loteamentos urbanos tem-se, por exemplo, o armazenamento e recarga de aquíferos.

Quadro 3.1 – Características chave do *Aquacycle* (adaptado de Mitchell (2005))

Item	Descrição
Escala temporal	Intervalo de tempo diário, mensal e anual
Escala espacial	Lote de construção individual, loteamento urbano e bacia de drenagem
Tipos de superfície	Permeáveis com rega, permeáveis sem rega, telhado, pavimento e estrada
Requisitos de entrada	Descrição do local
	Perfil de utilização de água no interior da habitação
	Precipitação e evapotranspiração potencial diárias
Resultados	Águas pluviais, águas residuais e utilização de água de abastecimento público
	Rendimento das águas pluviais e residuais
	Evapotranspiração real
	Estado de armazenamento
	Desempenho das fontes alternativas para abastecimento
Operações:	
Escala lote construção individual	Utilização de água no interior e exterior
	Escoamento de águas pluviais
	Recarga de águas subterrâneas
	Descarga de águas residuais
	Evapotranspiração do telhado, de pavimentos e jardins
	Utilização de águas residuais e pluviais à escala do lote de construção individual
Escala loteamento urbano	Escoamento de águas pluviais a partir de estradas e espaços públicos abertos
	Perdas no sistema de distribuição de água (água de abastecimento público)
	Afluências pluviais diretas e infiltração de águas pluviais para a rede de águas residuais
	Recarga de águas subterrâneas, armazenamento e escoamento base
	Evapotranspiração resultante das estradas e áreas de espaços públicos abertos

	Utilização de águas pluviais e residuais à escala do loteamento urbano
Bacia de drenagem	Utilização de águas pluviais e residuais à escala da bacia de drenagem
Fontes de abastecimento alternativas:	
Escala lote construção individual	Água de abastecimento público
	Reservatório de aproveitamento de águas pluviais
	Rega sub-superficial com águas cinzentas
	Tratamento, armazenamento e utilização de águas residuais no local

3.3 Representação conceptual do ciclo urbano da água

A Figura 3.5 mostra o modelo conceptual utilizado para representar o ciclo urbano da água segundo o *Aquacycle*. As interações entre as diferentes superfícies e armazenamentos encontram-se definidas pelas setas. Os algoritmos do modelo são igualmente definidos na Figura 3.5.

De acordo com a Figura 3.5, a equação do balanço hídrico (2) é a seguinte:

$$\Delta S = (P + I) - (E_a + R_s + R_w) \quad (2)$$

Onde,

ΔS – Variação do armazenamento

P – Precipitação

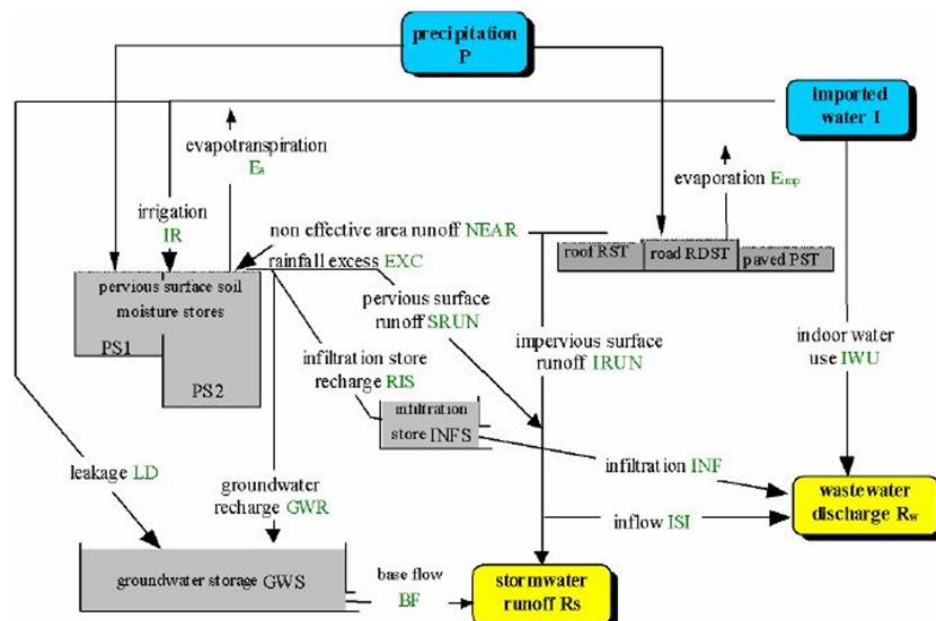
I – Água de abastecimento público

E_a – Evapotranspiração

R_s – Escoamento de águas pluviais

R_w – Descarga de águas residuais

O modelo *Aquacycle* exige três dos seis grupos de dados de entrada, sendo eles os valores do uso de água no interior, dados meteorológicos (precipitação e evapotranspiração potencial) e as características físicas da bacia de drenagem. Os três restantes grupos são gerados por parâmetros ajustados e calibrados (Quadro 3.2).



STORAGE LEVELS

- RST = roof surface storage level
- PST = paved surface storage level
- RDST = road surface storage level
- GWS = groundwater storage level
- INFS = infiltration storage level
- PS1 = pervious store 1 level
- PS2 = pervious store 2 level

Note:

GREEN capitals indicate processes that are represented by algorithms
 RED capitals indicate a measured Parameter
 BLUE Capitals represent a calibrated Parameter

Epc = 7mm

MAIN MODEL ALGORITHMS

- BF = BRC.GWS
- $E_c = A1.\min\{(PS1/PS1_c).E_{pc}, E_p\} + (100 - A1).\min\{(PS2/PS2_c).E_{pc}, E_p\}$
- $E_{imp} = \max(E_p, RST).(roof_{area}/cluster_{area}) + \max(E_p, PST).(paved_{area}/cluster_{area}) + \max(E_p, RDST).(road_{area}/cluster_{area})$
- $EXC = \{\max(PS1 - PS1_c, 0)\}.A1 + \{\max(PS2 - PS2_c, 0)\}.(100 - A1)$
- INF = IRC. \sqrt{INFS}
- $IR = \max(TG.PS1_c - PS1, 0).A1.\%GI + \max(TG.PS2_c - PS2, 0).(100 - A1).\%GI$
- $IRUN = ERA.(P - (RIL + RST)).(roof_{area}/cluster_{area}) + EPA.(P - (PIL + PST)).(paved_{area}/cluster_{area}) + ERDA.(P - (RDIL + RDST)).(road_{area}/cluster_{area})$
- ISI = $\%I.(SRUN + IRUN)$
- IWU = I - IR - LD
- LD = $\%L.(IR + IWU)/(100 - \%L)$
- $NEAR = (100 - ERA).(P - (RIL + RST)).(roof_{area}/cluster_{area}) + (100 - EPA).(P - (PIL + PST)).(paved_{area}/cluster_{area}) + (100 - ERDA).(P - (RDIL + RDST)).(road_{area}/cluster_{area})$
- GWR = BI.EXC
- RIS = II.EXC
- $R_s = IRUN + SRUN - ISI + BF$
- $R_w = IWU + INF + ISI$
- SRUN = EXC - RIS - GWR

Figura 3.5 – Representação conceptual do ciclo urbano da água pelo *Aquacycle* (Mitchell, 2005)

Quadro 3.2 – Dados de entrada (adaptado de Mitchell (2005))

Dados de Entrada	Extensão do ficheiro
Uso de água no interior	.wpf
Dados meteorológicos	.clm
Lote construção individual	.ubl
Loteamento urbano	.clu
Bacia Hidrográfica	.cmt
Parâmetros e Valores iniciais	.prm

Os dados do consumo de água no interior de uma residência familiar têm como finalidade prever a quantidade de água utilizada na cozinha, nas casas de banho, na lavandaria e nas aplicações sanitárias em cada lote de construção individual. O *Aquacycle* usa os registos anteriormente referidos, juntamente com o número de utilizadores especificados na ocupação familiar para determinar o uso de água no interior da habitação.

Cada parâmetro definido pelo utilizador (Quadro 3.3) relaciona-se diretamente com as características físicas da bacia hidrográfica, sendo constante em cada simulação. Pode variar dependendo dos cenários em estudo. Os parâmetros de calibração são fixos durante todo o processo de simulação (Quadro 3.4).

Quadro 3.3 – Parâmetros definidos pelo utilizador no *Aquacycle* (adaptado de Mitchell (2005))

Escala espacial	Parâmetros Medidos	Unidades	Simbologia
Lote de construção individual	Números de lotes	no.	block _{num}
	Dimensão média do lote	peessoas	occ
	Ocupação média	m ²	block _{area}
	Área média de jardim	m ²	garden _{area}
	Área média de telhado	m ²	roof _{area}
	Área média pavimentada	m ²	paved _{area}
	Percentagem média de jardins irrigados	%	%GI

Loteamento urbano	Área do loteamento urbano	ha	clust _{area}
	Percentagem de perdas de água	%	%L
	Área de estradas no lote	ha	road _{area}
	Saída de águas pluviais do lote que escoam para o lote número?	número	-
	Saída de águas residuais do lote que escoam para o lote número?	número	-
Espaços públicos abertos	Área de espaço público aberto no loteamento urbano	ha	POS _{area}
	Percentagem de rega de espaços públicos abertos	%	%POSI

Quadro 3.4 – Parâmetros de calibração no *Aquacycle* (adaptado de Mitchell (2005))

Conjunto de resultados	Parâmetros	Simbologia	Unidades	Varição
Águas Pluviais	Percentagem de área do armazenamento 1	%	AI	0-100
	Capacidade permeável do armazenamento 1	mm	PS1c	≥ 0
	Capacidade permeável do armazenamento 2	mm	PS2c	≥ 0
	Perdas iniciais na área do telhado	mm	RIL	≥ 0
	Área efetiva do telhado	%	ERA	0-100
	Perdas iniciais nas áreas pavimentadas	mm	PIL	≥ 0
	Área efetiva dos pavimentos	%	EPA	0-100
	Perdas iniciais nas áreas de estradas	mm	RDIL	≥ 0
	Área efetiva das estradas	%	ERDA	0-100
	Índice de escoamento base	rácio	BI	0-1
	Constante de recessão de escoamento base	rácio	BRC	0-1
Águas Residuais	Percentagem de escoamento superficial	%	%I	0-1
	Índice de infiltração	rácio	II	0-1
	Constante recessão do armazenamento de infiltrações	rácio	IRC	0-100
Utilização de água	O nível (trigger) que determina a rega dos jardins	rácio	TG	0-1
	O nível (trigger) que determina a rega de espaços públicos abertos	rácio	POSTG	0-1

O Quadro 3.5 apresenta os onze tipos de resultados do modelo *Aquacycle*. A letra *n* no nome do ficheiro representa o número do loteamento urbano a que os resultados se referem.

Quadro 3.5 – Ficheiros de resultados (adaptado de Mitchell (2005))

Ficheiro com o conjunto de resultados	Nome do ficheiro
1. Balanço à bacia de drenagem	CatchmentDailyBal.csv
2. Balanço diário ao loteamento urbano	ClusterDailyBaln.csv
3. Balanço diário ao lote de construção individual	UnitBlockDailyBaln.csv
4. Valores mensais da bacia de drenagem	CatchmentMthly.csv
5. Valores mensais do loteamento urbano	ClusterMthlyn.csv
6. Valores anuais da bacia de drenagem	CatchmentYearly.csv
7. Valores anuais do loteamento urbano	ClusterYearlyn.csv
8. Uso de água na bacia de drenagem	CatchmentWaterDemand.csv
9. Uso de água o loteamento urbano	ClusterWaterDemandn.csv
10. Simulação	SimCat.csv
11. Otimização	optrec.csv

Os ficheiros com o conjunto de resultados de 1 a 7 estão relacionados com as especificações que constituem os dados de entrada e estes podem ser diários, mensais ou anuais. Os ficheiros de 8 a 10 são gerados, automaticamente, durante cada simulação. Quando a opção de otimização é selecionada origina-se o ficheiro de saída número 11.

Como se pode observar na Figura 3.5, as superfícies permeáveis armazenam água que provém da precipitação e da rega. A rega é feita nos espaços verdes públicos, tais como os parques, campos desportivos e jardins públicos. As necessidades de rega num jardim são determinadas a partir das condições meteorológicas, do tipo de vegetação e solo, da área a regar e do comportamento do jardineiro, sendo que este é dependente das necessidades e condições do jardim. As práticas de rega individuais são muito variáveis. O modelo *Aquacycle* assume que a rega é totalmente eficaz, isto é, admite que a precipitação efetiva é igual à precipitação total.

Os reservatórios de aproveitamento de águas pluviais, as estações de tratamento de águas residuais, os sistemas domésticos de armazenamento e de reutilização das águas cinzentas e recarga de aquíferos são exemplos de sistemas em pequena e média escala para fornecer água a serviços individuais ou comunitários (Clark, 1990 em Mitchell, 2001). Estes sistemas têm em comum a recolha, o armazenamento e, posteriormente, a distribuição da água. O que pode variar são os locais de recolha e de utilização. O tratamento da água pode ser ou não necessário, dependendo da sua origem e da sua finalidade.

O modelo *Aquacycle*, mais do que simular com detalhe a operação de um grande número de diferentes sistemas de utilização de águas pluviais e residuais, modela um número mais reduzido de abordagens genéricas, com o intuito de representar os elementos comuns dos diferentes sistemas e capturar o verdadeiro uso destas tecnologias de reutilização.

No Quadro 3.6 apresentam-se diferentes possibilidades de usos de água proveniente do aproveitamento de águas pluviais e da reutilização de águas residuais. Estas fontes de água relacionam-se nas diferentes escalas espaciais onde pode ocorrer a gestão de água, de modo a promover o bom uso das águas residuais e pluviais. Da junção destas pode advir uma reutilização favorável, tanto das águas residuais como pluviais, permitindo assim, uma otimização dos recursos hídricos urbanos. Além disso, o modelo *Aquacycle* define regras para determinar as prioridades de cada procura a partir de fontes disponíveis (Quadro 3.7):

- Usar a fonte de menor qualidade de água disponível que satisfaça os requisitos da procura;
- Suprir primeiro as necessidades de água para uso interior em relação ao uso exterior;
- Utilizar primeiramente as fontes existentes nos lotes de construção individual e só depois as dos lotes urbanos;
- Utilizar as fontes presentes nos loteamentos urbanos antes das existentes na bacia de drenagem;
- Só usar a água de abastecimento público depois de todas as fontes locais esgotarem;
- Se não for selecionada uma fonte específica com potencial, deve-se usar a fonte mais próxima como prioritária.

Quadro 3.6 – Métodos de utilização das águas pluviais e residuais pelo *Aquacycle* (adaptado de Mitchell (2005))

Escala	Método	Fonte(s) de água *	Utilização *	Comentários
Lote construção individual	Reservatório para aproveitamento de águas pluviais	Águas pluviais recolhidas a partir do telhado.	Em todos os lotes tanto para uso interior como exterior.	Pode utilizar-se um dispositivo de retenção da primeira chuvada. Apenas pode abastecer ao lote que se localizar no interior.
	Rega sub-superficial com águas cinzentas	Águas cinzentas: cozinha, casa de banho, lavandarias e instalações sanitárias.	Rega no lote de construção individual.	Aplicação das águas cinzentas diretamente no jardim através de um sistema de rega sub-superficial de acordo com as exigências de rega diárias.
	Sistema de tratamento de águas residuais no local	Águas residuais: cozinha, casa de banho, lavandaria e instalações sanitárias.	Descargas nas instalações sanitárias. Rega.	Pode armazenar efluentes tratados. Apenas pode abastecer o próprio lote. Opção de lançar os efluentes no sistema de águas pluviais ou de águas residuais.
Loteamento urbano	Armazenamento de águas pluviais	Águas de escoamento superficial do lote de construção individual, das estradas e dos espaços públicos abertos. Águas pluviais provenientes de outros loteamentos urbanos.	Descargas nas instalações sanitárias. Rega.	Pode utilizar-se um dispositivo de retenção da primeira chuvada para o sistema de águas residuais. Qualquer lote de construção individual ou lote urbano pode ser abastecido por qualquer armazenamento de águas pluviais localizado na bacia de drenagem.

Loteamento urbano (cont.)	Tratamento e armazenamento de águas residuais	Águas residuais provenientes do lote de construção individual e de outros lotes urbanos.	Autoclismos. Rega.	Qualquer lote de construção individual ou loteamento urbano pode ser abastecido por qualquer armazenamento de águas residuais localizado na bacia de drenagem. Opção de lançar os efluentes no sistema de águas pluviais ou de águas residuais.
	Recarga e armazenamento de aquíferos	Águas de escoamento superficial do lote de construção individual, das estradas e dos espaços públicos abertos. Águas pluviais provenientes de outros loteamentos urbanos.	Autoclismos. Rega.	Recarga e recuperação são limitadas pela taxa que a água pode ser injetada e bombeada.
Bacia de drenagem	Armazenamento de águas pluviais	Escoamento de águas pluviais na bacia de drenagem	Autoclismos. Rega.	Pode utilizar-se um dispositivo de retenção da primeira chuvada. Qualquer lote de construção individual ou lote urbano pode ser abastecido pelo armazenamento de águas pluviais localizado na bacia de drenagem.
	Armazenamento e tratamento de águas residuais	Descargas de águas residuais na bacia de drenagem	Autoclismos. Rega.	Qualquer lote de construção individual ou loteamento urbano pode ser abastecido pelo armazenamento de águas residuais localizado na bacia de drenagem. Opção de lançar os efluentes no sistema de águas pluviais ou de águas residuais.

Quadro 3.7 - Prioridades no abastecimento para satisfação da procura em função das várias fontes disponíveis *Aquacycle* (adaptado de Mitchell (2005))

Fonte de abastecimento de água	Necessidades de água					
	Lote de construção individual					Loteamento urbano
	Cozinha	Casa de banho	Lavandaria	Instalações Sanitárias	Rega	Rega de espaços públicos abertos
Rega com águas cinzentas pela sub-superfície diretamente no lote de construção individual (cozinha e/ou casa de banho e/ou lavandaria)					1	
Tratamento de águas residuais no lote de construção individual				1	2	
Reservatório de aproveitamento de águas pluviais no lote de construção individual	1	1	1	2	3	
Armazenamento de águas residuais no lote urbano (localizado no próprio ou noutra loteamento urbano)				3	4	1
Armazenamento de águas pluviais no lote urbano (localizado no próprio ou noutra loteamento urbano)				4*	5*	2*
Recuperação e armazenamento de aquíferos (através do armazenamento de águas pluviais no loteamento urbano)				4	5	2
Armazenamento de águas residuais na bacia de drenagem				5	6	3
Armazenamento de águas pluviais na bacia de drenagem				6	7	4
Rede pública de água	2*	2**	2**	7**	8	5

* O armazenamento de água subterrâneas é considerado na mesma escala espacial que o armazenamento de águas pluviais, ou seja, a nível do loteamento urbano.

** Considera-se que cada lote de construção individual é abastecido automaticamente pela rede pública se existirem falhas no abastecimento a partir de fontes de água com prioridades de utilização superiores.

4 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1 Bacia da Ribeira dos Covões

A área selecionada para este presente trabalho foi a Bacia Hidrográfica da Ribeira dos Covões, localizada na margem esquerda do rio Mondego, na periferia da cidade de Coimbra (Figura 4.1). Esta abrange três freguesias do concelho de Coimbra: São Martinho do Bispo, Santa Clara e Antanho (Figura 4.2).

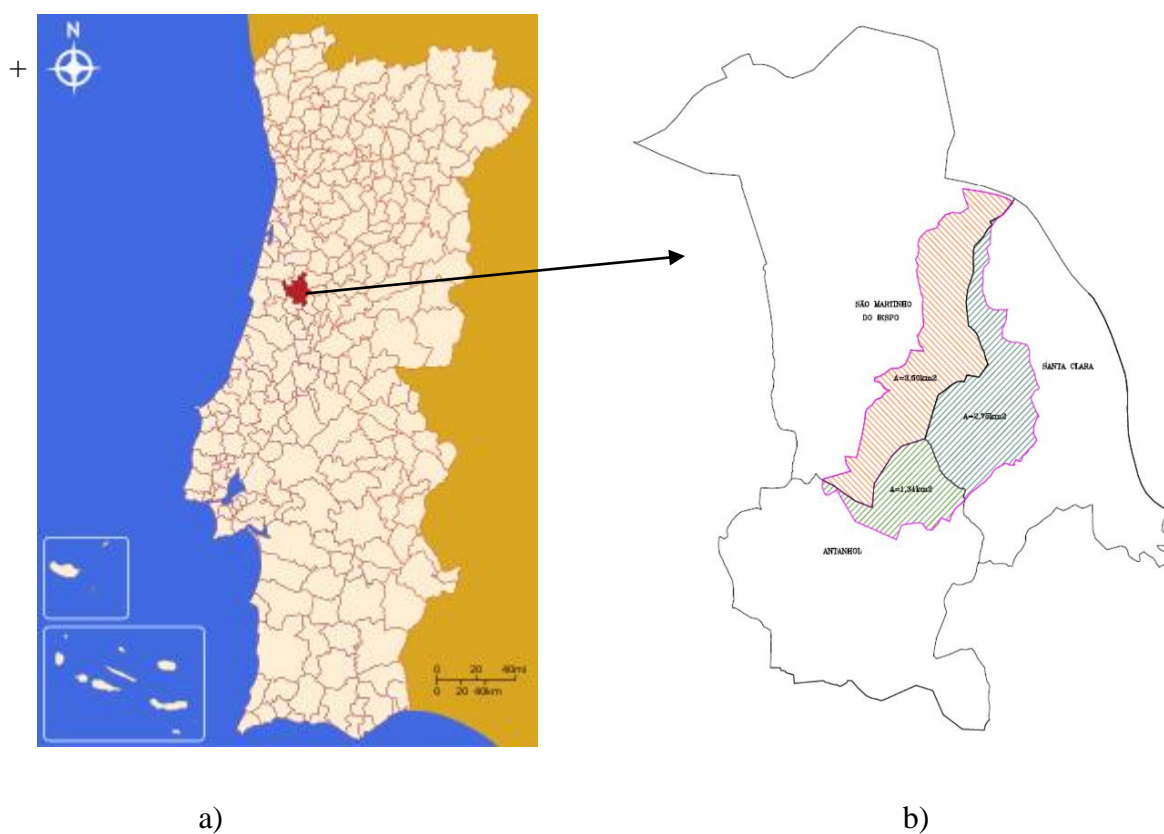


Figura 4.1 - Localização da Bacia Hidrográfica do caso de estudo: a) concelho de Coimbra (Wikipédia@, 2014); b) Ribeira dos Covões (AC, 2009)

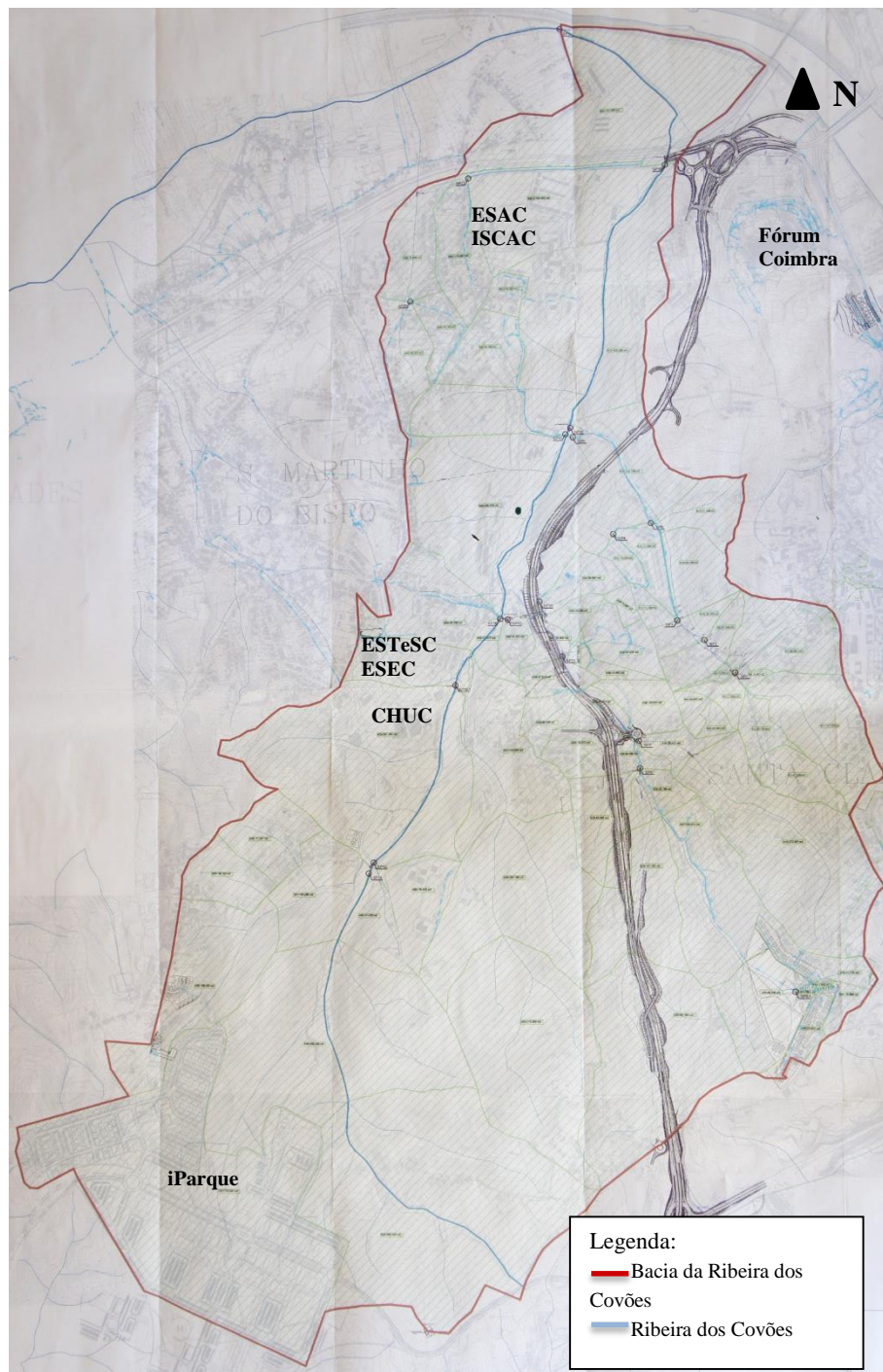


Figura 4.2 – Plano de Drenagem da Bacia da Ribeira dos Covões (AC, 2009)

4.2 Processamento de dados e modelação do uso urbano da água

4.2.1 Características físicas da bacia

A bacia em estudo tem as seguintes características:

- Área = 760.83 ha;
- Perímetro = 16862 m;
- Comprimento da linha de água principal = 5122 m;
- Altura média = 111 m;
- Cota máxima= 206 m;
- Cota mínima=18 m;
- Declive médio da linha de água principal = 3.7 %.

A Figura 4.3 representa a Carta Hipsométrica da Bacia da Ribeira dos Covões para uma melhor perceção do terreno.

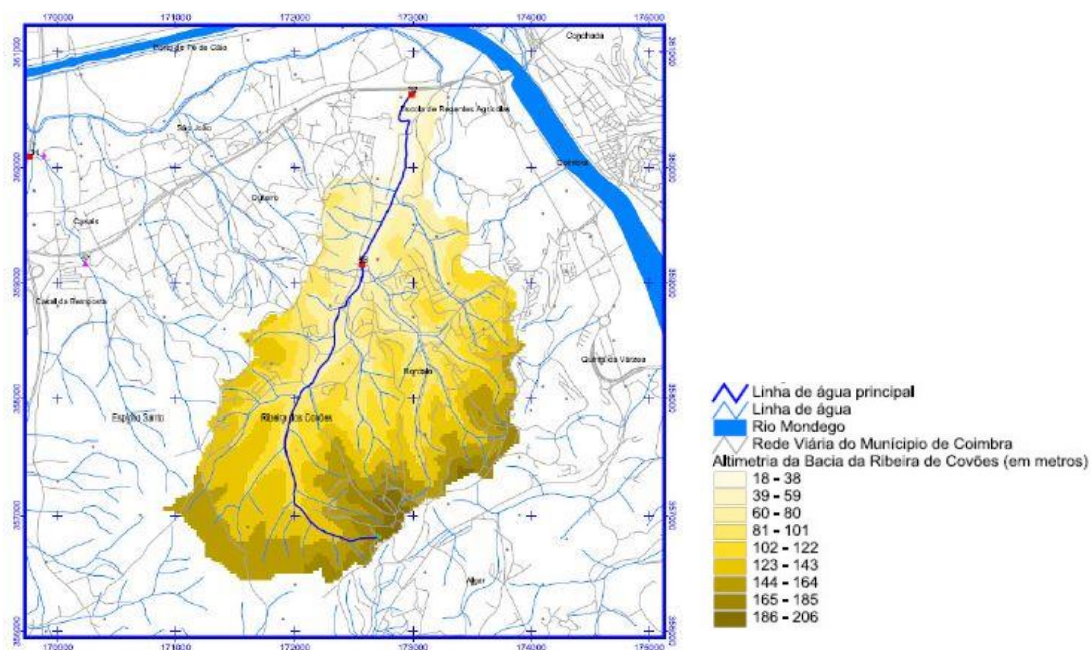


Figura 4.3 – Carta Hipsométrica da Bacia da Ribeira dos Covões (Marques *et al.*, 2007)

Segundo o *Plano de Drenagem da Bacia da Ribeira dos Covões*, a bacia encontra-se dividida em 69 sub-bacias. No entanto, o modelo *Aquacycle* limita as operações até 50 sub-bacias, inclusive. Para isso, foi necessário ajustar as divisões das mesmas com o auxílio do Plano de Drenagem fornecida pelas Águas de Coimbra, agrupando-se algumas sub-bacias de acordo com a sua drenagem, ou seja, juntando-se sub-bacias que drenassem para o mesmo coletor. No total, obtiveram-se 48 sub-bacias que correspondem, no modelo *Aquacycle*, ao loteamento urbano (Figura 4.4). Este foi o primeiro passo para a bacia em causa se enquadrar nos requisitos do modelo *Aquacycle*.

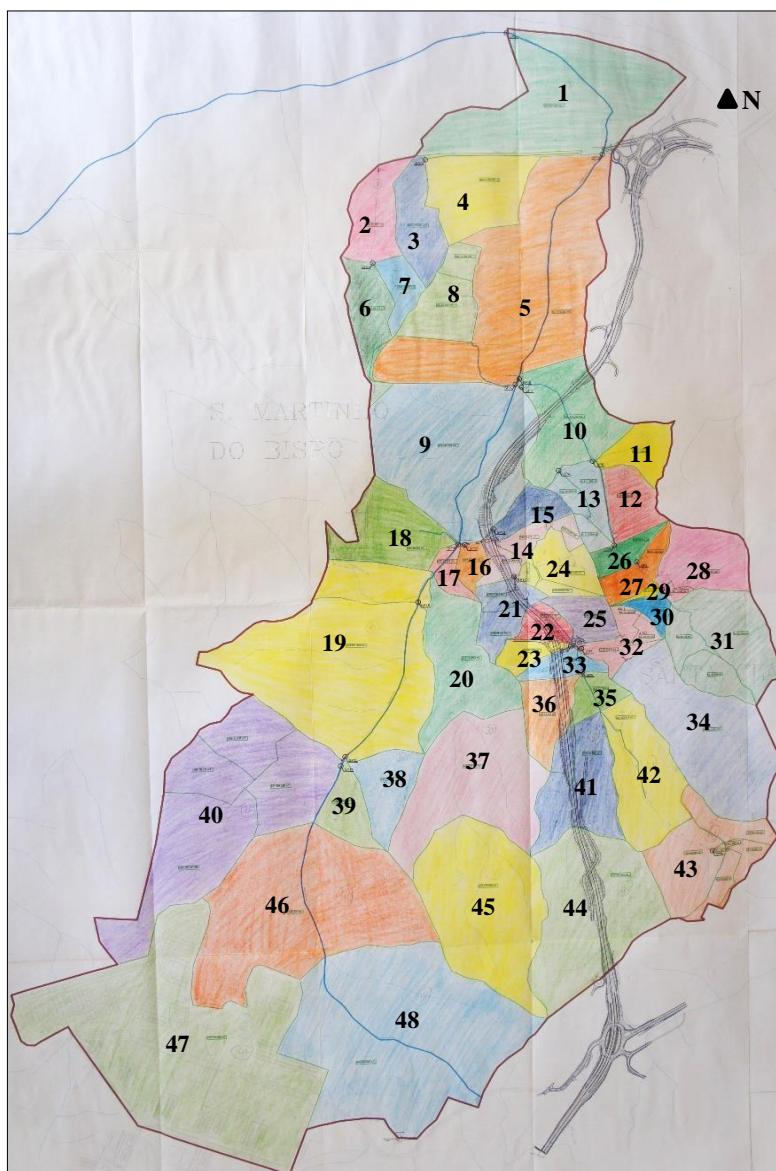


Figura 4.4 – Representação das 48 sub-bacias (adaptada de AC (2009))

De seguida, definiram-se para cada loteamento urbano, os seguintes parâmetros:

- à escala do lote de construção individual

- ocupação média;
- número de lotes;
- área correspondente ao lote de construção individual (m²);
- área de jardim (m²);
- área de telhado (m²);
- área do pavimento (m²);
- área irrigada de jardim (% da área total do lote).

- à escala do loteamento urbano

- área total o loteamento urbano (ha);
- área das vias rodoviárias (ha);
- área de espaços públicos abertos (ha);
- área irrigada de espaços públicos abertos (% da área total dos espaços públicos abertos);
- perdas de água na rede pública de distribuição (%);
- escoamento de águas pluviais para o loteamento urbano (número);
- escoamento de águas residuais para o loteamento urbano (número).

É de notar que se definiu um lote de construção individual como referência, representativo das zonas residenciais da bacia em estudo (Quadro 4.1). A exceção são os loteamentos urbanos onde existem instalações públicas (Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC), parte do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra (ISCAC) – loteamento urbano n°4; parte do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra (ISCAC) – loteamento urbano n°5; Escola Superior da Tecnologia da Saúde de Coimbra (ESTeSC), Escola Superior de Enfermagem de Coimbra – Pólo B (ESEC) e Centro Hospital e Universitário de Coimbra (CHUC) – loteamento urbano n°19, Escola EB 2/3 Inês de Castro – loteamento urbano n°38 e iParque - loteamento urbano n°47), em relação aos quais se determinaram, individualmente, os parâmetros anteriormente descritos.

Quadro 4.1 – Valores do lote de construção individual de referência

	Ocupação média (pessoa/lote)	Área unitária (m ²)	Área jardim (m ²)	Área telhado (m ²)	Área pavimento (m ²)
Lote construção individual de referência	3	650	420	180	50

Os Quadros 4.2 e 4.3 apresentam os valores dos parâmetros que caracterizam cada loteamento urbano presentes na bacia da Ribeira dos Covões, os quais fazem parte dos dados de entrada no modelo *Aquacycle*.

Quadro 4.2 – Parâmetros característicos do loteamento urbano à escala do lote de construção individual

À escala do lote de construção individual							
Loteamento Urbano	Ocupação média (pessoa/lote)	Número de lotes	Área unitária (m ²)	Área jardim (m ²)	Área telhado (m ²)	Área pavimento (m ²)	Área de rega de jardim (%)
1	3	38	650	420	180	50	70
2	3	48	650	420	180	50	70
3	3	75	650	420	180	50	70
4	78	9	4000	1600	2000	400	70
5	264	11	3400	1020	1700	680	70
6	3	50	650	420	180	50	70
7	3	42	650	420	180	50	70
8	3	75	650	420	180	50	70
9	3	55	650	420	180	50	70
10	3	8	650	420	180	50	70
11	3	3	650	420	180	50	70
12	3	10	650	420	180	50	70
13	3	80	650	420	180	50	70
14	3	35	650	420	180	50	70

15	3	15	650	420	180	50	70
16	3	20	650	420	180	50	70
17	3	2	650	420	180	50	70
18	3	80	650	420	180	50	70
19	1280	8	15000	7500	4500	3000	70
20	3	85	650	420	180	50	70
21	3	55	650	420	180	50	70
22	3	12	650	420	180	50	70
23	3	26	650	420	180	50	70
24	3	28	650	420	180	50	70
25	3	5	650	420	180	50	70
26	3	16	650	420	180	50	70
27	3	25	650	420	180	50	70
28	3	68	650	420	180	50	70
29	3	7	650	420	180	50	70
30	3	6	650	420	180	50	70
31	3	90	650	420	180	50	70
32	3	18	650	420	180	50	70
33	3	22	650	420	180	50	70
34	3	64	650	420	180	50	70
35	3	30	650	420	180	50	70
36	3	25	650	420	180	50	70
37	3	18	650	420	180	50	70
38	55	8	3500	350	1750	1400	70
39	3	5	650	420	180	50	70
40	3	109	650	420	180	50	70
41	3	12	650	420	180	50	70
42	3	44	650	420	180	50	70
43	3	155	650	420	180	50	70
44	3	60	650	420	180	50	70
45	3	62	650	420	180	50	70
46	3	0	650	420	180	50	70
47	25	45	7000	3500	3000	500	70
48	3	28	650	420	180	50	70
Total	1831	1792					

Quadro 4.3 – Parâmetros característicos de cada loteamento urbano

À escala do loteamento urbano				
Loteamento Urbano	Área Total (ha)	Área vias rodoviárias (ha)	Área espaços públicos abertos (ha)	Área de rega de espaços públicos abertos (%)
1	34,17	1,71	29,99	7,5
2	7,46	0,22	4,12	7,5
3	7,56	0,23	2,46	7,5
4	13,53	0,41	9,52	7,5
5	47,96	1,44	42,78	7,5
6	6,94	0,21	3,48	7,5
7	3,43	0,1	0,6	7,5
8	8,57	0,26	3,44	7,5
9	34,96	2,1	29,29	7,5
10	14,47	0,87	13,08	7,5
11	5,13	0,15	4,78	7,5
12	6,02	0,18	5,19	7,5
13	6,05	0,18	0,67	7,5
14	5,12	0,51	2,33	7,5
15	3,86	0,12	2,77	7,5
16	2,03	0,06	0,67	7,5
17	2,16	0,06	1,97	7,5
18	9,65	0,29	4,16	7,5
19	50,15	1,5	36,65	7,5
20	15,26	0,46	9,28	7,5
21	5,71	0,43	1,71	7,5
22	2,86	0,43	1,65	7,5
23	2,63	0,26	0,68	7,5
24	6,56	0,2	4,54	7,5
25	4,3	0,13	3,85	7,5
26	2,86	0,09	1,73	7,5
27	4,15	0,12	2,4	7,5
28	10,09	0,3	5,37	7,5
29	0,5	0,02	0,03	7,5
30	1,79	0,05	1,35	7,5
31	18,77	0,56	12,36	7,5
32	4,91	0,15	3,59	7,5
33	3,05	0,31	1,32	7,5

34	27,3	0,82	22,32	7,5
35	3,38	0,1	1,33	7,5
36	6,37	0,64	4,11	7,5
37	26,52	0,8	24,55	7,5
38	7,04	0,21	4,03	7,5
39	5,1	0,15	4,62	7,5
40	43,57	1,31	35,18	7,5
41	14,12	1,27	12,07	7,5
42	15,24	0,46	11,92	7,5
43	18,31	0,55	7,69	7,5
44	29,76	2,38	23,48	7,5
45	31,58	0,95	26,6	7,5
46	46,54	1,4	45,14	7,5
47	73,33	14,67	27,16	7,5
48	60,01	1,8	56,39	7,5
Total	760,83	41,59	554,38	

Admitiu-se, para o lote de construção individual, uma percentagem de áreas de rega de 70%.

As áreas de espaços públicos abertos irrigadas pelos serviços públicos competentes representam uma parcela muito pequena da área total, por isso, admitiu-se 7.5%.

4.2.2 Dados meteorológicos e consumos de água

O modelo *Aquacycle* define como dados de entrada, para além das características físicas da bacia em estudo, os valores diários da precipitação e da evapotranspiração potencial e, ainda, uma estimativa dos consumos de água no interior dos edifícios. O período considerado para o estudo foi de 11 anos, entre Janeiro de 2002 e Dezembro de 2012. Na Figura 4.5 apresenta-se a precipitação anual, a evapotranspiração potencial anual e o número de dias por ano com precipitação para o período em estudo.

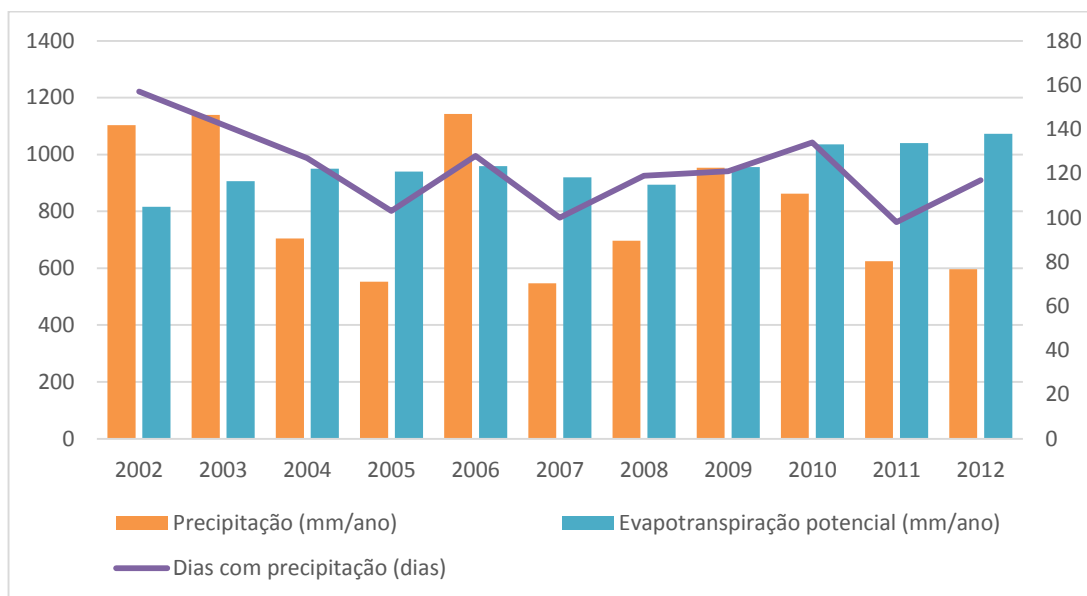


Figura 4.5 - Precipitação anual, evapotranspiração potencial anual e número de dias por ano com precipitação (2002-2012)

Para estimar os valores dos consumos associados aos usos interiores de água, admitiu-se, em média, uma captação de 150 L/(hab.dia), tendo em conta os consumos atuais do local em estudo. Desta forma, os valores obtidos são apresentados na Figura 4.6.

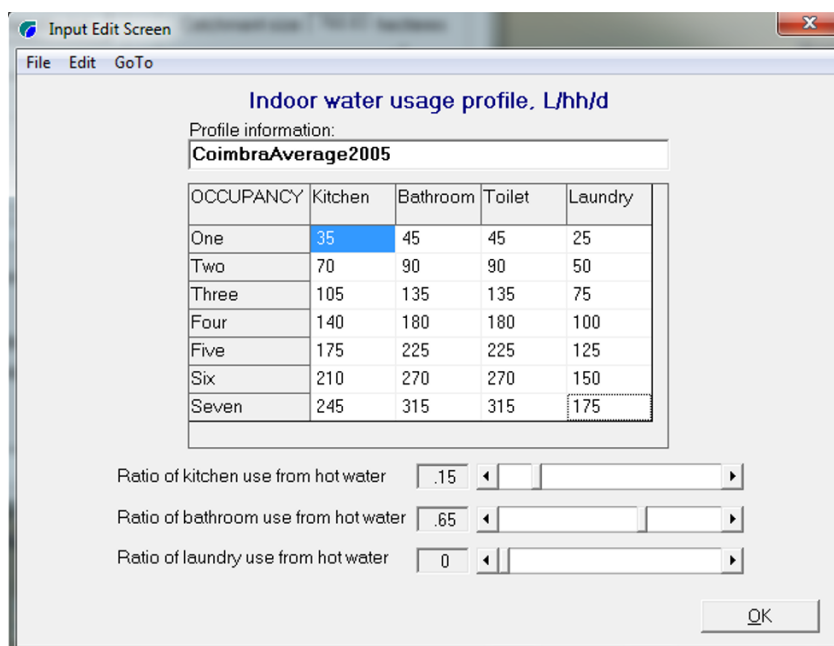


Figura 4.6 – Usos interiores de água (L/(hab.dia))

4.3 Calibração do modelo e verificação

O modelo *Aquacycle* apresenta 16 parâmetros de calibração, 11 dos quais relativos ao escoamento de águas pluviais, 3 às águas residuais e 2 aos usos exteriores de água.

Os parâmetros de calibração utilizados estão indicados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Parâmetros de calibração (adaptado de Mitchell (2005))

Conjunto de resultados	Parâmetros		Unidades
Águas Pluviais	Percentagem de área do armazenamento 1	22	%
	Capacidade permeável do armazenamento 1	32	mm
Águas Pluviais (cont.)	Capacidade permeável do armazenamento 2	240	mm
	Perdas iniciais na área do telhado	0	mm
	Área efetiva do telhado	100	%
	Perdas iniciais nas áreas pavimentadas	0	mm
	Área efetiva dos pavimentos	100	%
	Perdas iniciais nas áreas de estradas	0	mm
	Área efetiva das estradas	100	%
	Índice de escoamento base	0.55	-
	Constante de recessão do escoamento base	0.0025	-
	Águas Residuais	Percentagem de escoamento superficial	3
Índice de infiltração		0.095	-
Constante recessão do armazenamento de infiltrações		0.12	-
Utilização de água	O nível (trigger) que determina a rega dos jardins	0.50	-
	O nível (trigger) que determina a rega de espaços públicos abertos	0.42	-

5 DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS

5.1 Definição de Cenários

O modelo *Aquacycle* tem como objetivo modelar e avaliar várias opções de reutilização/aproveitamento da água através da simulação e análise de diferentes cenários, de forma a identificar possíveis melhorias no ciclo urbano da água.

As simulações dos cenários adotados são aplicadas à escala do lote de construção individual ou à escala do loteamento urbano visando a redução de perdas de água na rede pública e o aproveitamento de águas pluviais. Na definição de cenários não se considera reutilização de águas residuais.

É de notar que se definiu um lote de construção individual como referência representativo das zonas residenciais da bacia em estudo (Quadro 4.1). A exceção são os lotes de construção individual que fazem parte dos loteamentos urbanos onde existem instalações públicas (Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC), parte do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra (ISCAC) – loteamento urbano nº4; parte do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra (ISCAC) – loteamento urbano nº5; Escola Superior da Tecnologia da Saúde de Coimbra (ESTeSC), Escola Superior de Enfermagem de Coimbra – Pólo B (ESEC) e Centro Hospital e Universitário de Coimbra (CHUC) – loteamento urbano nº19, Escola EB 2/3 Inês de Castro – loteamento urbano nº38 e iParque - loteamento urbano nº47, em relação aos quais se determinaram, individualmente, os parâmetros apresentados nos Quadros 4.2 e 4.3.

Para a modelação dos cenários em estudo, os Quadros 5.1 e 5.2 apresentam, em síntese, os valores dos parâmetros calculados para a bacia da Ribeira dos Covões. Como já foi referido, considerou-se que os lotes de construção individual, exceto aqueles que fazem parte dos loteamentos urbanos onde existem instalações públicas, representam lotes habitacionais.

Quadro 5.1 – Quadro síntese dos valores dos parâmetros calculados à escala do lote de construção individual

Nº total de lotes construção individual	Nº total de pessoas nos lotes de construção individual	Área total da bacia (ha)	Área total dos loteamentos urbanos (m ²)	Área total vias rodoviárias (m ²)	Área total dos espaços públicos abertos (m ²)
1792	20544	760,83	164,86	41,59	554,38

Quadro 5.2 – Quadro síntese dos valores dos parâmetros calculados à escala do loteamento urbano

Nº do loteamento urbano	Área unitária (m ²)	Área de jardim (m ²)	Área de telhado (m ²)	Área do pavimento (m ²)
1 - 48	650	420	180	50
Exceções				
4	4000	1600	2000	400
5	3400	1020	1700	680
19	15000	7500	4500	3000
38	3500	350	1750	1400
47	7000	3500	3000	500

Em primeiro lugar, começou por definir-se um **Cenário de Referência** para representar o estado atual do uso da água, sendo as suas necessidades satisfeitas apenas através da rede pública. Neste cenário, em todos os loteamentos urbanos consideram-se perdas de 20%, valor médio habitual para sistemas de abastecimento de água em Coimbra (valor medido nas Zonas de Medição e Controlo – ZMC), a percentagem de área de jardins irrigada nos lotes de construção individual é de 70% e a percentagem de áreas de espaços públicos abertos irrigados é de 7.5%. Todas as restantes opções são desativadas, representadas no modelo como zero (Figura 5.1).

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluster 8
UNIT BLOCK SCALE								
No. of blocks	38	48	75	9	11	50	42	75
Average occupancy	3	3	3	78	264	3	3	3
Area of unit block, m ²	650	650	650	4000	3400	650	650	650
Area of garden, m ²	420	420	420	1600	1020	420	420	420
Area of roof, m ²	180	180	180	2000	1700	180	180	180
Area of pavement, m ²	50	50	50	400	680	50	50	50
Per cent of garden irrigated, %	70	70	70	70	70	70	70	70
CLUSTER SCALE								
Total area of cluster, hectares	34,17	7,46	7,56	13,53	47,96	6,94	3,43	8,5
Road area, hectares	1,71	0,22	0,23	0,41	1,44	0,21	0,1	0,2
Area of public open space, hectares	29,99	4,12	2,4	9,52	42,78	3,48	0,6	3,4
Per cent of public open space irrigated, %	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Leakage rate, %	20	20	20	20	20	20	20	20
Stormwater output flows into Cluster No.?	0	0	0	0	0	0	0	0
Wastewater output flows into Cluster No.?	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5.1 – Parâmetros calculados e definidos pelo utilizador - Cenário de Referência

Para este cenário admitiu-se ainda que à escala do lote de construção individual não há reservatórios de aproveitamento de águas pluviais, pelo que a rega de jardins pertencentes a este tipo de lotes é feita exclusivamente pela rede pública, conforme descrito na Figura 5.2.

Input Edit Screen

File Edit Go To

Number of Clusters: 48 Unit Block Note: yes = 1 and no = 0

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluste
IMPORTED WATER						
Supply garden irrigation with imported water?	1	1	1	1	1	1
RAIN TANK						
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0
First flush, Litres	0	0	0	0	0	0
Hot water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Kitchen cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Bathroom cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Laundry cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Toilet water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Garden irrigation from rain tank?	0	0	0	0	0	0
SUB-SURFACE GREYWATER IRRIGATION						
Kitchen greywater for sub-surface irrigation?	0	0	0	0	0	0
Bathroom greywater for sub-surface irrigation?	0	0	0	0	0	0
Laundry greywater for sub-surface irrigation?	0	0	0	0	0	0
WASTEWATER TREATMENT AND STORAGE						
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0
Treat kitchen wastewater?	0	0	0	0	0	0
Treat bathroom wastewater?	0	0	0	0	0	0
Treat laundry wastewater?	0	0	0	0	0	0
Treat toilet wastewater?	0	0	0	0	0	0
Toilet water from wastewater store?	0	0	0	0	0	0
Garden irrigation from wastewater store?	0	0	0	0	0	0
Overflow to sewer?	0	0	0	0	0	0
Overflow to stormwater?	0	0	0	0	0	0
CLUSTER SCALE STORMWATER STORAGE						
Unit block runoff draining to cluster stormwater store?	0	0	0	0	0	0
Supply toilet from a cluster stormwater store? (Specify cluster number)	0	0	0	0	0	0
Supply garden irrigation from a cluster stormwater store? (Specify cluster number)	0	0	0	0	0	0
CLUSTER SCALE WASTEWATER STORAGE						
Unit block wastewater draining to cluster wastewater store?	0	0	0	0	0	0
Supply toilet from a cluster wastewater store? (Specify cluster number)	0	0	0	0	0	0
Supply garden irrigation from a cluster wastewater store? (Specify cluster number)	0	0	0	0	0	0
CATCHMENT SCALE STORMWATER STORAGE						
Supply toilet from stormwater storage?	0	0	0	0	0	0
Supply garden irrigation from stormwater storage?	0	0	0	0	0	0
CATCHMENT SCALE WASTEWATER STORAGE						
Supply toilet from wastewater storage?	0	0	0	0	0	0
Supply garden irrigation from wastewater storage?	0	0	0	0	0	0

OK

Figura 5.2 – Opções à escala do lote de construção individual – Cenário de Referência

À escala do loteamento urbano definiu-se que para a rega dos espaços públicos abertos se utilizava a água proveniente da rede pública (Figura 5.3).

Number of Clusters: Note: yes =1 and no = 0

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0	0
Collect wastewater from upstream clusters?	0	0	0	0	0	0	0
Storage overflow to sewer?	0	0	0	0	0	0	0
Storage overflow to stormwater?	0	0	0	0	0	0	0
AQUIFER STORAGE AND RECOVERY							
Storage capacity, m ³	0	0	0	0	0	0	0
Maximum recharge rate, m ³ /d	0	0	0	0	0	0	0
Maximum recovery rate, m ³ /d	0	0	0	0	0	0	0
PUBLIC OPEN SPACE IRRIGATION							
Supply from imported water?	1	1	1	1	1	1	1
Supply from a cluster stormwater store? (Specify cluster number)	0	0	0	0	0	0	0
Supply from a cluster wastewater store? (Specify cluster number)	0	0	0	0	0	0	0
Supply from a catchment stormwater store?	0	0	0	0	0	0	0
Supply from a catchment wastewater store?	0	0	0	0	0	0	0
Drain runoff into the cluster stormwater store?	0	0	0	0	0	0	0

OK

Figura 5.3 - Opções à escala do loteamento urbano – Cenário de Referência

Definiu-se também o **Cenário 1**, em que a diferença relativamente ao Cenário de Referência reside apenas na percentagem de perdas, admitindo-se, neste caso, um valor de 0% (Figura 5.4). Deste modo pode-se avaliar o impacto da redução das perdas no balanço hídrico.

Number of Clusters: 48		Measured Parameters							Note: yes = 1 and no = 0
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Clu	
UNIT BLOCK SCALE									
No. of blocks	38	48	75	9	11	50	42	75	
Average occupancy	3	3	3	78	264	3	3	3	
Area of unit block, m ²	650	650	650	4000	3400	650	650	650	
Area of garden, m ²	420	420	420	1600	1020	420	420	420	
Area of roof, m ²	180	180	180	2000	1700	180	180	180	
Area of pavement, m ²	50	50	50	400	680	50	50	50	
Per cent of garden irrigated, %	70	70	70	70	70	70	70	70	
CLUSTER SCALE									
Total area of cluster, hectares	34,17	7,46	7,56	13,53	47,96	6,94	3,43	8,5	
Road area, hectares	1,71	0,22	0,23	0,41	1,44	0,21	0,1	0,2	
Area of public open space, hectares	29,99	4,12	2,4	9,52	42,78	3,48	0,6	3,4	
Per cent of public open space irrigated, %	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Leakage rate, %	0	0	0	0	0	0	0	0	
Stormwater output flows into Cluster No.?	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wastewater output flows into Cluster No.?	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 5.4 – Parâmetros calculados e definidos pelo utilizador – Cenário 1

Para uma melhor gestão da água urbana foram definidos os **Cenários 2a e 2b** com reservatórios de 20 m³ (Gouveia, 2012) e os **Cenários 3a e 3b** com reservatórios de 10 m³ para armazenamento de águas pluviais (um reservatório por lote de construção individual). Admitiu-se que o número de habitantes que poderiam investir na aquisição/colocação de um reservatório para aproveitamento de águas pluviais corresponde a 5% (Cenários 2a e 3a) e 10% (Cenários 2b e 3b) do total de habitantes, o que corresponde a 363 e a 705 reservatórios, respetivamente, mantendo-se os parâmetros já calculados e as restantes hipóteses admitidas para o Cenário de Referência. As Figuras 5.5 e 5.6 exemplificam de que forma o modelo apresenta a colocação dos reservatórios de aproveitamento de águas pluviais nos loteamentos urbanos previamente definidos para os Cenários 2a e 3b, respetivamente. Para os loteamentos urbanos com reservatório de aproveitamento de águas pluviais, a rega de jardins pertencentes aos lotes de construção individual é feita, em primeiro lugar, através destes mesmos reservatórios. Refira-se que a rega ocorre apenas dentro do mesmo loteamento urbano e não de um loteamento urbano para outro. Note-se ainda que os loteamentos urbanos 4, 5, 19, 38 e 47 não são contabilizados

para a colocação de reservatórios pois estas instituições possuem fontes próprias de água para rega.

	Cluster 30	Cluster 31	Cluster 32	Cluster 33	Cluster 34	Cluste
IMPORTED WATER						
Supply garden irrigation with imported water?	1	1	1	1	1	1
RAIN TANK						
Storage capacity, m ³	20	0	0	20	0	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0
First flush, Litres	0	0	0	0	0	0
Hot water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Kitchen cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Bathroom cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Laundry cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Toilet water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Garden irrigation from rain tank?	1	0	0	1	0	0

Figura 5.5 – Opções à escala do lote de construção individual – Cenário 2a

	Cluster 30	Cluster 31	Cluster 32	Cluster 33	Cluster 34	Cluste
IMPORTED WATER						
Supply garden irrigation with imported water?	1	1	1	1	1	1
RAIN TANK						
Storage capacity, m ³	10	0	10	10	10	0
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0
First flush, Litres	0	0	0	0	0	0
Hot water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Kitchen cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Bathroom cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Laundry cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Toilet water from rain tank?	0	0	0	0	0	0
Garden irrigation from rain tank?	1	0	1	1	1	0

Figura 5.6 - Opções à escala do lote de construção individual – Cenário 3b

Por fim, no **Cenário 4** considerou-se em todos os loteamentos urbanos, exceto os números 4, 5, 19, 38 e 47, a aquisição/colocação de reservatórios de aproveitamento de águas pluviais de 20 m³. Conforme já referido, a rega dos jardins pertencentes aos lotes de construção individual é realizada, em primeiro lugar, através desses mesmos reservatórios para aproveitamento de águas pluviais, mantendo-se do mesmo modo as restantes hipóteses admitidas no Cenário de Referência (Figura 5.7).

Number of Clusters: 48		Unit Block					Note: yes = 1 and no = 0
	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluste	
IMPORTED WATER							
Supply garden irrigation with imported water?	1	1	1	1	1	1	
RAIN TANK							
Storage capacity, m ³	20	0	0	20	20	20	
Exposed surface, m ²	0	0	0	0	0	0	
First flush, Litres	0	0	0	0	0	0	
Hot water from rain tank?	0	0	0	0	0	0	
Kitchen cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0	
Bathroom cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0	
Laundry cold water from rain tank?	0	0	0	0	0	0	
Toilet water from rain tank?	0	0	0	0	0	0	
Garden irrigation from rain tank?	1	0	0	1	1	1	

Figura 5.7 – Opções à escala do lote de construção individual – Cenário 4

Note-se que o Cenário 4 é definido como aquele que corresponde ao limite máximo de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais a colocar caso a zona em estudo regiões atinja uma situação de escassez de água.

O Quadro 5.3 apresenta, em síntese, as hipóteses admitidas para cada cenário em estudo. Todas as restantes opções não são consideradas pelo que os valores representados no modelo são zero.

Quadro 5.3 – Definição dos Cenários

Cenário	Loteamento urbano	Lote construção individual	Loteamento urbano	Lote construção individual			Parâmetros		
			Abastecimento para rega de jardins públicos abertos através da água de abastecimento público (0/1)	Abastecimento de água importada para rega de jardins (0/1)	Volume reservatório (m3)	Rega de jardins interiores através do reservatório (0/1)	Percentagem de água para rega no lote de construção individual (%)	Perdas (%)	Percentagem de água para rega de espaços públicos abertos (%)
Referência	Todos	1792	1	1	0	0	70	20	7.5
1	Todos	1792	1	1	0	0	70	0	7.5
2a	Todos, exceto 4,5,19,38,47	363* ²	1	1	0/20	0/1 (caso exista ou não reservatório)	70	20	7.5
2b	Todos, exceto 4,5,19,38,47	705*	1	1	0/20	0/1 (caso exista ou não reservatório)	70	20	7.5
3a	Todos, exceto 4,5,19,38,47	363*	1	1	0/10	0/1 (caso exista ou não reservatório)	70	20	7.5
3b	Todos, exceto 4,5,19,38,47	705*	1	1	0/10	0/1 (caso exista ou não reservatório)	70	20	7.5
4	Todos, exceto 4,5,19,38,47	1711	1	1	20 (exceto 4,5,19,38,47)	1 (exceto 4,5,19,38,47)	70	20	7.5

* Lotes com reservatórios para aproveitamento de águas pluviais

5.2 Análise de Cenários

5.2.1 Considerações gerais

Os balanços hídricos anuais para o período de simulação 2002-2012 foram obtidos através do modelo *Aquacycle*.

A análise dos resultados dos vários cenários foi realizada ao nível da bacia, pois é a escala mais adequada para se poder efetuar as devidas comparações.

Para os vários cenários analisados obtiveram-se um conjunto de valores relativos aos resultados que se mantiveram iguais nas várias simulações (Quadro 5.4).

Como os dados meteorológicos não variam ao longo do período em estudo, os valores da precipitação, da evapotranspiração potencial, da evapotranspiração real em áreas permeáveis, da evapotranspiração real, da recarga de águas subterrâneas, do escoamento de águas pluviais no loteamento urbano e da evapotranspiração real resultante dos espaços verdes na bacia, mantêm-se iguais. As águas residuais também se mantêm iguais visto que a população não se altera. Por outro lado, as características da bacia e a área a regar não se alteram daí que as necessidades de rega, o escoamento superficial nos espaços verdes e o escoamento das águas subterrâneas resultantes dos espaços verdes são também as mesmas ao longo das várias simulações.

Quadro 5.4 – Conjunto de resultados iguais nas simulações dos vários cenários

Ano	Prec. (mm/ano)	Evapotransp. potencial (mm/ano)	Evapotransp. real de áreas permeáveis (mm/ano)	Evapotansp. real (mm/ano)	Águas residuais (mm/ano)	Recarga de águas subterrâneas (mm/ano)	Nº dias com prec.	Necessidades de rega (m3/ano)	Necessidades de rega (mm/ano)	Necessidades de rega dos jardins privados (m3/ano)	Água para rega (m3/ano)	Área total de rega (m ²)	Esc. sup. em jardins (mm/ano)	Rega fornecida para jardins privados (m3/ano)	Evapotransp. real dos jardins privados (mm/ano)	Recarga de águas subterrâneas através dos jardins na bacia (mm/ano)
2002	1103,6	816,2	510	510	181,4	212	157	277146,2	254	186214,4	277146,2	1090933	108,1	186214,4	735,1	2335,1
2003	1139,9	905,7	516,1	516,1	211,5	277,5	142	351291,6	322	234503,9	351291,6	1090933	364,4	234503,9	778,7	3165,9
2004	705,1	949,7	544,7	544,7	165,5	64,9	127	362978	332,7	242964,3	362978	1090933	109,6	242964,3	818,2	796,9
2005	552,2	939,8	460,5	460,5	155,2	34,1	103	471755,3	432,4	312044,2	471755,3	1090933	107	312044,2	779,7	434,4
2006	1143,2	959,8	546,5	546,5	196,7	271,8	128	349328,2	320,2	234937,7	349328,2	1090933	46	234937,7	813,2	3109,3
2007	546,4	919,8	519,9	519,9	166,9	54,7	100	401101,4	367,7	263234,5	401101,4	1090933	16,4	263234,5	801,8	583,6
2008	697,2	894,2	509,1	509,1	156,6	33,8	119	360247,7	330,2	238500,5	360247,7	1090933	9,8	238500,5	774,1	465,7
2009	953,7	955,5	503,6	503,6	177,9	179	121	428899,2	393,1	284782	428899,2	1090933	93,5	284782	812,5	2123
2010	862,1	1035,6	507,8	507,8	185	156,7	134	420334,4	385,3	280421,1	420334,4	1090933	43,2	280421,1	808,8	1804,3
2011	624,5	1039,8	527	527	163,7	62,5	98	468316,5	429,3	309959,6	468316,5	1090933	15,2	309959,6	851,1	674,6
2012	596,2	1072,6	472,9	472,9	155,2	29	117	460421,9	422	307403,2	460421,9	1090933	36,5	307403,2	814,3	349,8
Média anual	811,2	953,4	510,7	510,7	174,1	125,1	122,4	395595,4	362,6	263162,3	395595,4	1090933	86,3	263162,3	798,8	1440,1

5.2.2 Cenário de Referência

Para o Cenário de Referência e para o período em estudo (2002-2012) analisou-se o balanço hídrico para o ano mais seco, para o ano mais chuvoso e para as diferentes estações do ano.

O ano mais seco (ano onde se verifica a maior diferença entre a evapotranspiração potencial e a precipitação) foi o 2012, enquanto que o ano mais chuvoso (ano onde diferença entre a evapotranspiração potencial e a precipitação é menor) foi o 2002.

As Figuras 5.8 e 5.9 representam uma visão generalizada dos balanços anuais de água (entrada e saída) no ano mais chuvoso, mais seco e a média do período em estudo, indicando as proporções relativas a cada componente de entrada e saída, em percentagem.

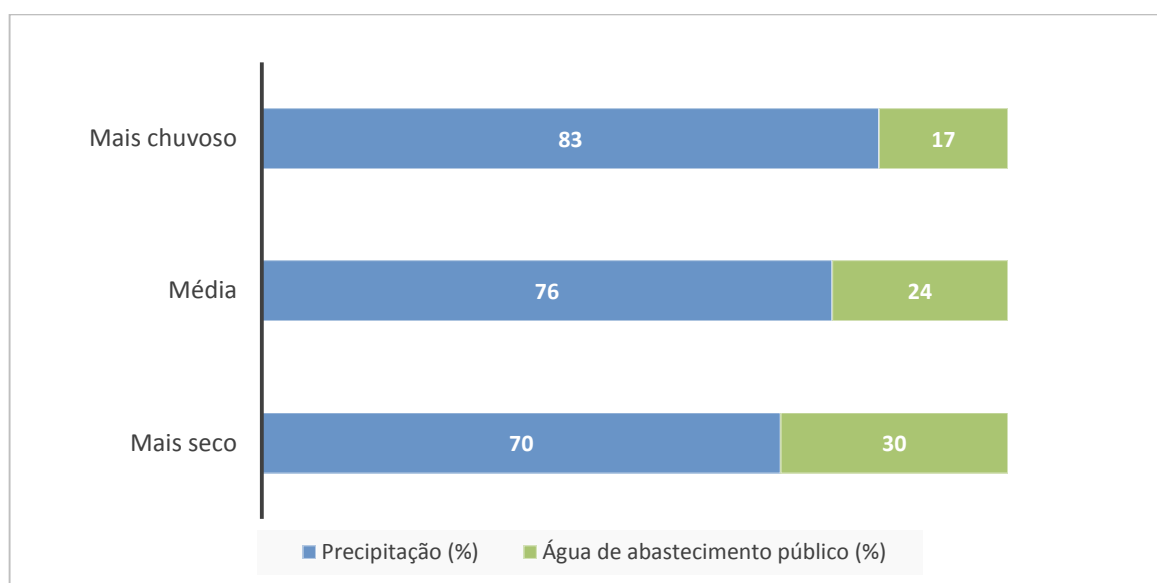


Figura 5.8 – Componentes de entrada do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário de Referência

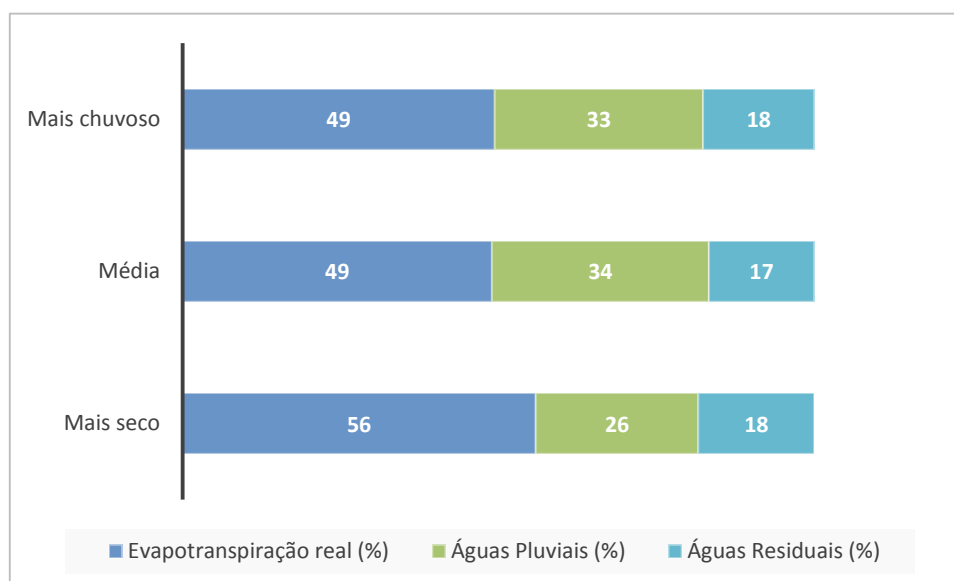


Figura 5.9 – Componentes de saída do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário de Referência

A Figura 5.8 mostra que em média a precipitação é aproximadamente três vezes superior à água de abastecimento público variando esta relação entre 4.9 e 2.3 para o ano mais chuvoso e para o ano mais seco, respetivamente.

Da Figura 5.9, relativamente às componentes de saída, pode concluir-se que a evapotranspiração real é a componente que apresenta o maior valor. Por sua vez, em média, a quantidade de água de abastecimento público é menor que o valor do escoamento das águas pluviais. No ano mais seco, o valor da evapotranspiração real é superior à soma do valor do escoamento das águas pluviais com o valor das águas residuais, enquanto que no ano mais chuvoso, a soma das componentes referidas são aproximadamente iguais. Os valores das componentes de saída relativamente ao ano mais chuvoso são muito semelhantes aos valores médios.

O Quadro 5.5 apresenta o balanço hídrico anual médio da bacia em estudo, no período 2002-2012.

Quadro 5.5 - Balanço hídrico anual da bacia em estudo – Cenário de Referência

Período de Tempo	Unidades	Prec.	Água de abastecimento público	Evapotransp. real	Esc. Águas Pluviais	Águas Residuais	Varição do armazenamento na bacia
Média	mm/ano	811	250	511	358	174	18
	L/(hab.dia)	823	254	518	363	177	19
Cv anual	%	29	4	5	31	11	-
Mais seco (2012)	mm/ano	596	261	473	218	155	11
	L/(hab.dia)	605	265	480	221	157	12
Mais chuvoso (2002)	mm/ano	1104	230	510	340	181	302
	L/(hab.dia)	1120	234	517	345	184	307

Como se pode verificar através do Quadro 5.5, em média, a quantidade de águas residuais corresponde a 70% da quantidade da água de abastecimento público. Esta relação traduz o fator de afluência à rede de águas residuais, que geralmente varia entre 0.70 e 0.90. O valor obtido no limite inferior do intervalo traduz a importância da área ajardinada no total da área da bacia considerada. A variação do armazenamento na bacia é de 18 mm, o que indica que a tendência para que haja um aumento não é significativa para os anos simulados.

No ano mais seco, a precipitação é de 596 mm e a evapotranspiração potencial de 1073 mm, o que perfaz uma diferença de 477 mm, enquanto que a evapotranspiração real é cerca de 80% da precipitação. Este valor da precipitação corresponde a 73% da média da precipitação para o período em estudo.

No ano mais chuvoso, a precipitação foi de 1104 mm e a evapotranspiração potencial de 816 mm, correspondendo a uma diferença de 288 mm. A variação do armazenamento na bacia apresenta o maior valor neste ano. A diferença entre a precipitação do ano mais chuvoso e a média da precipitação entre 2002-2012 (293 mm) o que corresponde a um aumento de 36% origina uma diminuição na quantidade de água de abastecimento público de 20 L/(hab.dia). O valor da evapotranspiração real corresponde a menos de metade do valor da precipitação. As componentes do balanço hídrico provenientes da urbanização (água de abastecimento público e águas residuais) tiveram menos impacto que as restantes componentes (precipitação, evapotranspiração real e águas pluviais). Aproximadamente 85% das entradas e saídas da água estão relacionadas com as ocorrências naturais, ou seja, a precipitação, a evapotranspiração real e o escoamento das águas pluviais, e com as variações de armazenamento na bacia.

A quantidade de água de abastecimento público na bacia varia entre os 265 L/(hab.dia) no ano mais seco e 234 L/(hab.dia), no ano mais chuvoso. Verifica-se, assim, uma diferença de 31 L/(hab.dia) cerca de 12% em relação ao valor médio da capitação para o período em estudo.

Para qualquer um dos anos em estudo (ano mais seco e o ano mais chuvoso), o valor da água de abastecimento público não excede o valor da precipitação. Os maiores coeficientes de variação para as várias componentes do balanço hídrico correspondem à precipitação e ao escoamento de águas pluviais. Os menores coeficientes correspondem à água de abastecimento público, à evapotranspiração real, e às águas residuais geradas, por esta ordem

O Quadro 5.6 apresenta o balanço hídrico médio sazonal com os dados de entrada e saída, relativamente a cada estação do ano.

Quadro 5.6 – Balanço hídrico médio sazonal (2002-2012) – Cenário de Referência

Período de Tempo	Unidades	Prec.	Água de abastecimento público	Evapotransp. real	Esc. Águas Pluviais	Águas Residuais	Varição do armazenamento na bacia
Primavera	mm	147	62	213	66	39	-109
	L/(hab.dia)	149	63	216	67	39	-111
Cv	%	33	10	11	25	4	-
Verão	mm	71	89	104	49	38	-31
	L/(hab.dia)	72	90	105	50	38	-31
Cv	%	73	5	20	24	1	-
Outono	mm	359	52	88	129	48	145
	L/(hab.dia)	364	53	89	131	48	147
Cv	%	43	11	19	51	21	-
Inverno	mm	235	47	106	113	50	13
	L/(hab.dia)	238	48	108	115	51	13
Cv	%	51	4	12	53	24	-

O Verão é a estação do ano em que a quantidade de água de abastecimento público apresenta o maior valor, representando 36% da média anual da quantidade de água de abastecimento público. Durante esta época a quantidade de água de abastecimento público é cerca de duas vezes maior que o escoamento das águas pluviais. A evapotranspiração real excede a precipitação em 47%. É nesta estação que se verifica o coeficiente de variação mais elevado, 73% para a precipitação.

No Outono há uma alteração notória de algumas das componentes do balanço hídrico. Assim, em relação ao Verão, a água de abastecimento público diminui cerca de 42%, a precipitação aumenta 5 vezes e o escoamento de águas pluviais aumenta 2.6 vezes.

No Inverno, a água de abastecimento público é menor que a precipitação e equivalente ao valor do escoamento das águas residuais. A evapotranspiração real é aproximadamente metade da precipitação. É nesta estação que se verifica o maior coeficiente de variação para o escoamento de águas pluviais.

Na Primavera o valor da evapotranspiração real é superior à precipitação e representa o dobro do valor registado no Inverno.

5.2.3 Cenário 1 vs Cenário de Referência

Inicialmente comparou-se o cenário admitido como mais próximo da realidade atual (Cenário de Referência) com a situação em que se admite não existirem perdas de água na rede de distribuição pública (Cenário 1). A razão para a formulação deste cenário prende-se com o facto de se julgar à priori que as medidas com mais impacto no uso sustentável da água estão relacionadas com a eficiência hídrica.

O Quadro 5.7 apresenta os resultados que sofreram alteração entre os dois cenários, excetuando os valores do escoamento superficial em zonas permeáveis e impermeáveis que se mantêm. Todos os restantes resultados não indicados apresentam valor zero.

Comparando os dois cenários, o escoamento base diminui (em média 27.3%), visto que não existem perdas de água na rede pública. Em relação aos indicadores de sustentabilidade, o escoamento de águas pluviais e a quantidade água de abastecimento público também diminuem, em média, 12.5% e 20% (como seria de esperar), respetivamente. A variação de água armazenada varia nos dois cenários face à variação dos parâmetros intervenientes na expressão do balanço hídrico (em média 28%) (Equação (2)).

A partir de um programa de controlo ativo de perdas de água poder-se-á atingir, para a realidade portuguesa, cerca de 10% a 15% de perdas de água, ou seja, no máximo, perto de 190000 m³/ano.

Quadro 5.7 – Resultados do Cenário de Referência vs Cenário 1

Ano	Escoamento superficial (mm/ano)	Escoamento superficial em áreas impermeáveis (mm/ano)	Escoamento base (mm/ano)	Escoamento de águas pluviais (mm/ano)	Água de abastecimento público (mm/ano)	Água de abastecimento público (m3/ano)	Varição do armazenamento na bacia (mm/ano)
Cenário de Referência							
2002	289,3	156,6	51	340,3	230,3	1752412,8	302,2
2003	335,5	161,8	252,1	587,6	242,5	1845094,5	67,2
2004	140,7	100,1	212,8	353,5	244,9	1863554,5	-113,6
2005	99,7	78,4	131,2	230,9	262,3	1995674,1	-32,1
2006	332,4	162,2	159,4	491,8	242,2	1842640,2	150,4
2007	111,8	77,5	222,8	334,6	250,7	1907356,7	-224,3
2008	120,1	98,9	136,9	257	244,5	1860141,6	19
2009	247,4	135,3	148,8	396,1	255,3	1942104	131,3
2010	220,4	122,3	203,3	423,8	253,9	1931398	-0,6
2011	127,7	88,6	173,8	301,5	261,7	1991375,7	-106
2012	102,8	84,6	114,8	217,5	260,9	1985359,4	11,5
Média anual	193,4	115,1	164,2	357,7	249,9	1901437,3	18,6
Cenário 1							
2002	289,3	156,6	35,2	324,5	184,3	1401930,2	272
2003	335,5	161,8	217,4	552,9	194	1476075,6	53,3
2004	140,7	100,1	169,5	310,2	195,9	1490843,6	-119,4
2005	99,7	78,4	83,4	183	209,8	1596539,3	-36,8
2006	332,4	162,2	110,1	442,5	193,8	1474112,2	151,2
2007	111,8	77,5	174,4	286,2	200,6	1525885,4	-226,1
2008	120,1	98,9	87,4	207,5	195,6	1488113,3	19,6
2009	247,4	135,3	98,7	346,1	204,2	1553683,2	130,3
2010	220,4	122,3	152,8	373,2	203,1	1545118,4	-0,8
2011	127,7	88,6	122,7	250,4	209,4	1593100,5	-107,2
2012	102,8	84,6	62,4	165,2	208,8	1588287,5	11,6
Média anual	193,4	115,1	119,4	312,9	199,9	1521149,8	13,4

As Figuras 5.10 e 5.11 apresentam, respetivamente, as componentes de entrada e saída do balanço hídrico anual para o Cenário 1.

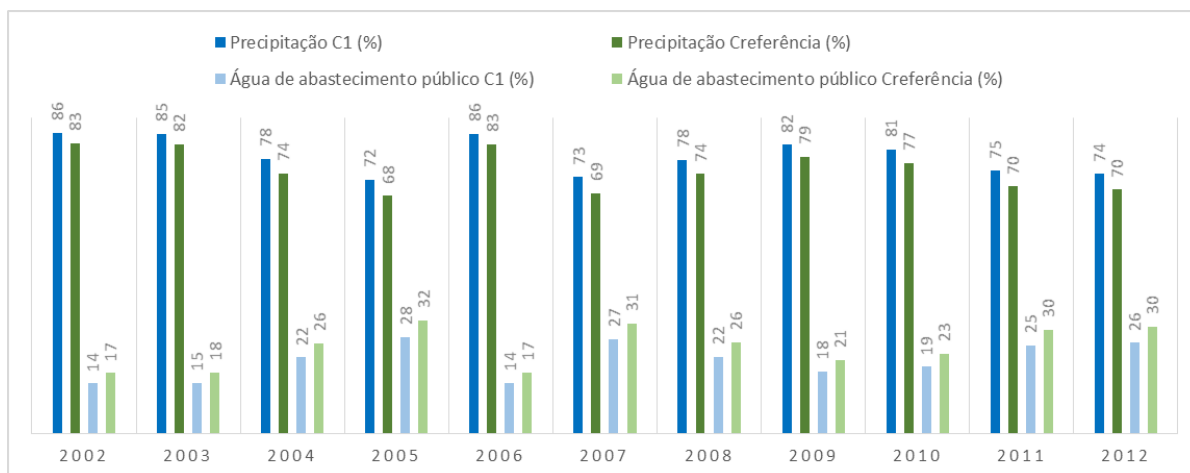


Figura 5.10 – Componentes de entrada do balanço hídrico anual – Cenário 1 vs Cenário de Referência

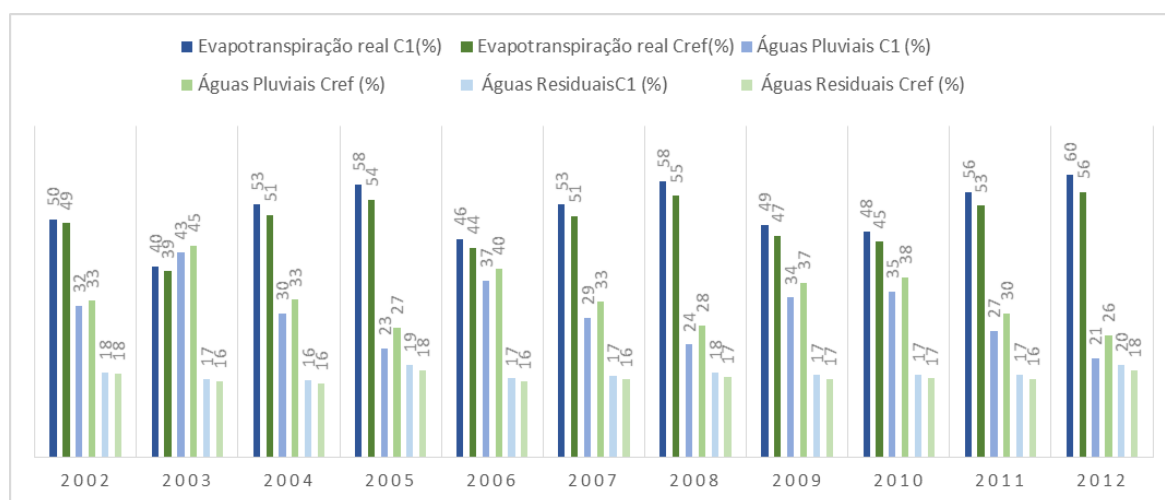


Figura 5.11 – Componentes de saída do balanço hídrico anual – Cenário 1 vs Cenário de Referência

A Figura 5.10 mostra que a precipitação é a componente de entrada do balanço hídrico com maior percentagem. Ao longo dos anos, esta varia entre os 72% e os 86%, apresentando uma média de 79%, para o Cenário 1 e entre 68% e 83% com uma média de 75%, para o Cenário de Referência. Quanto ao indicador de sustentabilidade, água de abastecimento público, este varia

entre os 14% e 28% com uma média de 21%, para o Cenário 1 e entre 17% e 32% apresentando uma média de 25%, para o Cenário de Referência.

Em relação às componentes de saída do balanço hídrico (Figura 5.11), a evapotranspiração real apresenta a maior percentagem com uma média de 51.9% e a variar no intervalo entre os 40% e 60%, para o Cenário 1 e com uma média de 50% e a variar no intervalo entre os 39% e 56%, para o Cenário de Referência. Quanto aos indicadores de sustentabilidade, o escoamento das águas pluviais varia entre os 21% e os 43 % (com uma média de 30.5%) e as águas residuais entre os 16% e 20% (em média 17.6%), para o Cenário 1 e para o Cenário de Referência o escoamento das águas pluviais varia entre os 26% e os 45% (com uma média de 34%) e as águas residuais entre os 16% e 18% (em média 17%).

5.2.4 Cenários 2a e 2b vs Cenário Referência

Para os Cenários 2a e 2b define-se que, respetivamente, 5% e 10% dos habitantes podem investir na colocação de um reservatório para aproveitamento de águas pluviais com capacidade de 20 m³, o que corresponde a 363 e a 705 reservatórios, respetivamente.

O Quadro 5.8 apresenta os resultados dos Cenários 2a e 2b.

As diferenças entre estes cenários residem na diminuição do escoamento em superfícies permeáveis e impermeáveis. A diminuição do escoamento base não é significativa. O escoamento de águas pluviais e a quantidade de água de abastecimento público também diminuem de modo insignificante. A água que se encontra nos reservatórios apenas é utilizada para rega de jardins privados. A quantidade de água disponível nos reservatórios (mas não utilizada) aumenta do Cenário 2a para o Cenário 2b, de acordo com o aumento do número de reservatórios, ou seja, 94% em média. A quantidade de água utilizada pelos reservatórios para rega de jardins privados representa 35% da quantidade de água disponível, o que significa que em várias épocas do ano os períodos de rega não coincidem com os períodos de maior quantidade de água armazenada nos reservatórios.

Quadro 5.8 - Resultados dos Cenários 2a e 2b

Ano	Cenário 2a												
	Esc. superficial (mm/ano)	Esc. superficial em áreas impermeáveis (mm/ano)	Esc. base (mm/ano)	Esc. de águas pluviais (mm/ano)	Água de abast. público (mm/ano)	Água de abast. público (m3/ano)	Variação do armazenamento na bacia (mm/ano)	Rendimento dos telhados (m3/ano)	Água em excesso nos reservatórios (m3/ano)	Água disponível nos reservatórios (m3/ano)	Nº de falhas de resposta do reservatório às solicitações de rega	Água utilizada através do reservatório (m3/ano)	Déficit do reservatório (m3/ano)
2002	286,9	154,2	50,8	337,7	228,4	1737403,5	302,9	72109,2	52841,3	29434	800	12007,9	17426,1
2003	333,8	160,0	251,8	585,6	240,3	1828059,5	67	74481,1	60808,5	37066,9	1136	13672,6	23394,2
2004	138,5	97,8	212,3	350,8	242	1841470,5	-113,8	46071,2	28404	38404,2	960	17667,2	20736,9
2005	98	76,7	130,7	228,7	260,1	1979065,8	-32,1	36080,7	22765	49323,3	1696	13315,8	36007,5
2006	330,7	160,5	158,9	489,6	239,9	1825167,7	150,4	74696,7	60811,4	37135,4	1056	13978	23157,4
2007	110,3	76	222,3	332,6	248,5	1890869,1	-224,5	35701,8	23985,4	41608,2	1632	13300,2	28307,9
2008	117,8	96,7	136,4	254,3	241,8	1839958,3	19,2	45555	27731,9	37698,6	1088	16146,6	21552
2009	245,2	133,1	148,2	393,4	252,4	1920186,3	131,3	62314,8	44780,6	45014,1	1296	17534,1	27479,9
2010	218,9	120,8	202,8	421,8	251,9	1916453,5	-0,5	56329,6	44361,6	44324,8	1488	11968,1	32356,7
2011	126	86,9	173,4	299,3	259,5	1974132,9	-106	40804,8	27010,6	48993,8	1712	13794,2	35199,5
2012	100,5	82,3	114,2	214,7	257,9	1962542,5	11,4	38955,7	20702,2	48589,7	1344	18253,5	30336,2
Média Anual	191,5	113,2	163,8	355,3	247,5	1883092,8	18,7	53005,9	37652,4	41596,7	1291,6	14693,5	26903,3
Ano	Cenário 2b												
	Esc. superficial (mm/ano)	Esc. superficial em áreas impermeáveis (mm/ano)	Esc. base (mm/ano)	Esc. de águas pluviais (mm/ano)	Água de abast. público (mm/ano)	Água de abast. público (m3/ano)	Variação do armazenamento na bacia (mm/ano)	Rendimento dos telhados (m3/ano)	Água em excesso nos reservatórios (m3/ano)	Água disponível nos reservatórios (m3/ano)	Nº de falhas de resposta do reservatório às solicitações de rega	Água utilizada através do reservatório (m3/ano)	Déficit do reservatório (m3/ano)
2002	284,6	151,8	50,7	335,3	226,5	1723262,5	303,6	140046,8	102625,7	57165,2	1200	23321,2	33844
2003	332,1	158,4	251,5	583,6	238,2	1812010	66,9	144653,3	118099,1	71989,3	1704	26554,2	45435,1
2004	136,3	95,7	211,9	348,3	239,3	1820664,1	-113,9	89477,2	55164,8	74586,6	1440	34312,4	40274,2
2005	96,4	75,1	130,2	226,6	258,1	1963418,3	-32	70074,2	44213	95793,1	2544	25861,2	69931,9
2006	329	158,8	158,5	487,5	237,7	1808706,1	150,3	145072,1	118104,9	72122,5	1584	27147,3	44975,2
2007	108,9	74,6	221,9	330,8	246,5	1875335,3	-224,7	69338,2	46583,2	80809,2	2448	25831,0	54978,2
2008	115,7	94,5	136,0	251,7	239,3	1820942,7	19,3	88474,7	53859,4	73216,2	1632	31359,1	41857,1
2009	243,0	131	147,7	390,7	249,7	1899536,7	131,2	121024,5	86970,7	87424	1944	34053,9	53370,1
2010	217,5	119,4	202,4	419,8	250,0	1902373,5	-0,4	109400,5	86156,7	86085,3	2232	23243,8	62841,5
2011	124,3	85,2	172,9	297,2	257,3	1957887,6	-106	79249,1	52458,6	95153,2	2568	26790,4	68362,8
2012	98,3	80,1	113,7	212	255,1	1941045,7	11,3	75657,8	40206,8	94368,4	2016	35451	58917,4
Média Anual	189,6	111,3	163,4	353	245,2	1865809,6	18,7	102945,3	73126,6	80787,1	1937,3	28536,9	52250,2

Em relação aos indicadores de sustentabilidade, comparando cada um dos cenários com o Cenário de Referência (Quadro 5.7), a colocação de reservatórios origina, em média, uma diminuição igual no que respeita à quantidade de água de abastecimento público e ao escoamento de águas pluviais (Cenário de Referência/Cenário 2a - 2.4 mm/ano, ou seja, aproximadamente 18300 m³/ano e Cenário de Referência/Cenário 2b - 4.7 mm/ano, ou seja, aproximadamente 35600 m³/ano), diminuição essa que, no entanto, não é significativa. No caso da água de abastecimento público é de 0.97% quando se compara o Cenário 2a com o Cenário de Referência e 1.9% no caso do Cenário 2b vs Cenário de Referência enquanto que para o escoamento de águas pluviais a diferença é de 0.67% quando se compara o Cenário 2a com o Cenário de Referência e 1.3% para o caso do Cenário 2b vs Cenário de Referência.

Considerando a comparação entre o Cenário de Referência e o Cenário 2b, note-se que a diminuição do escoamento de águas pluviais (aproximadamente 35600 m³/ano) corresponde apenas a cerca de 9% da quantidade de água total necessária para rega (cerca de 396000 m³/ano; este valor pode ser obtido a partir da diferença entre a média da quantidade de água de abastecimento público quando não há perdas de água e o consumo de água para a população em estudo).

As Figuras 5.12 e 5.13 representam, graficamente, as componentes de entrada e saída do balanço hídrico anual relativamente aos Cenários 2a e 2b.

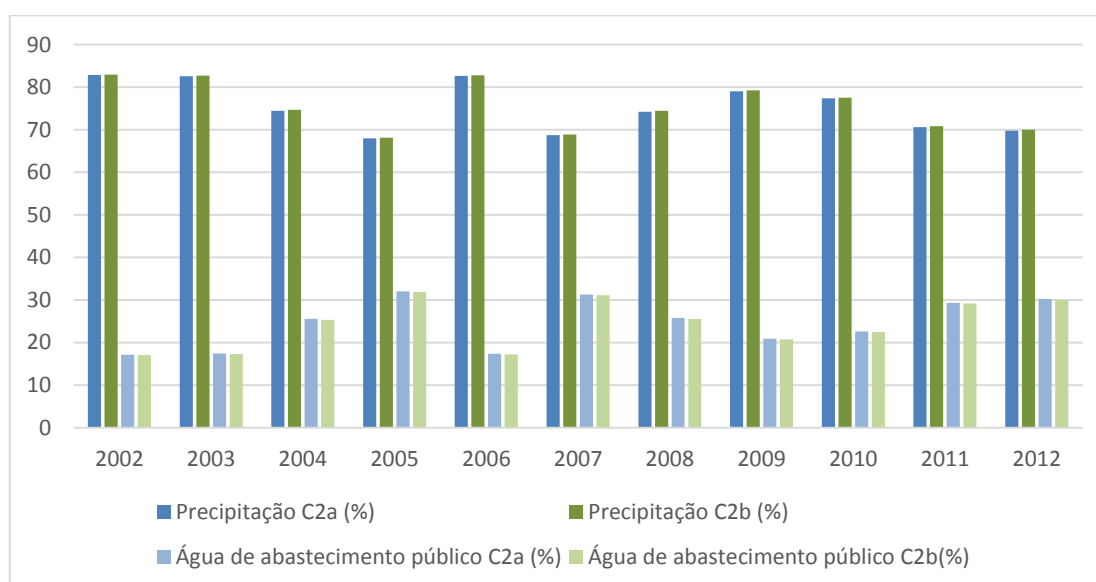


Figura 5.12 – Componentes de entrada do balanço hídrico anual – Cenário 2a vs Cenário 2b

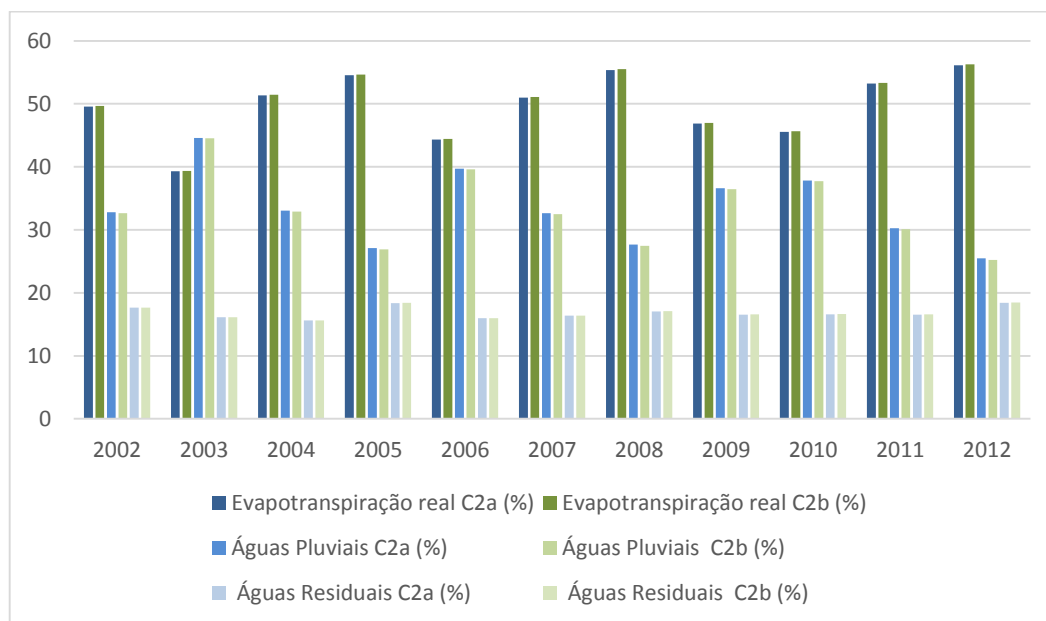


Figura 5.13 – Componentes de saída do balanço hídrico anual – Cenário 2a vs Cenário 2b

Como se pode verificar na Figura 5.12, tanto no Cenário 2a como no Cenário 2b, a precipitação varia entre os 68% e os 83%. A água de abastecimento público varia entre os 17% e os 32%. As diferenças entre estes dois cenários, como se pode observar, não são significativas. Comparando com a Figura 5.10, os valores das componentes de entrada relativos ao Cenário de Referência são idênticos.

Na Figura 5.13, nos dois cenários, a evapotranspiração real varia entre os 39% e 56%, as águas pluviais entre os 25% e 45% e as águas residuais entre os 16% e 18%. As pequenas oscilações apenas se verificam em alguns anos. Para o Cenário de Referência (Figura 5.10) os valores das componentes de saída também são idênticos.

5.2.5 Cenários 3a e 3b vs Cenário de Referência

Nos Cenários 3a e 3b a capacidade do reservatório para aproveitamento de águas pluviais é de 10m³, procurando, deste modo, colocar em prática a ideia do “faça você mesmo” relativamente à sustentabilidade urbana e admitem-se, respetivamente, as percentagens de 5% e 10% dos habitantes que vão adquirir um reservatório para aproveitamento de águas pluviais.

O Quadro 5.9 apresenta os resultados dos Cenários 3a e 3b.

Quadro 5.9 - Resultados do Cenários 3a vs Cenário 3b

Cenário 3a													
Ano	Esc. superficial (mm/ano)	Esc. superficial em áreas impermeáveis (mm/ano)	Esc. base (mm/ano)	Esc. de águas pluviais (mm/ano)	Água de abast. público (mm/ano)	Água de abast. público (m3/ano)	Variação do armazenamento na bacia (mm/ano)	Rendimento dos telhados (m3/ano)	Água em excesso nos reservatórios (m3/ano)	Água disponível nos reservatórios (m3/ano)	Nº de falhas de resposta do reservatório às solicitações de rega	Água utilizada através do reservatório (m3/ano)	Défi ce do reservatório (m3/ano)
2002	287,8	155,1	50,9	338,7	229	1741941	302,5	72109,2	60101,3	29434	992	8377,9	21056,1
2003	334,2	160,5	251,9	586,1	240,9	1832597	67,1	74481,1	64438,5	37066,9	1296	10042,6	27024,2
2004	139	98,4	212,5	351,5	242,7	1846886,9	-113,7	46071,2	32737,2	38404,2	1152	13334,1	25070,1
2005	98,4	77,1	130,8	229,3	260,7	1983603,3	-32,1	36080,7	26395	49323,3	1856	9685,8	39637,5
2006	331,1	160,9	159	490,1	240,5	1829705,2	150,4	74696,7	64441,4	37135,4	1216	10348	26787,4
2007	110,6	76,3	222,4	333	249,1	1895406,6	-224,3	35701,8	25938,8	41608,2	1808	9670,2	31937,9
2008	118,5	97,3	136,6	255	242,4	1844495,8	18,9	45555	33038,4	37698,6	1248	12516,6	25182
2009	245,6	133,6	148,3	393,9	253	1924723,8	131,3	62314,8	48410,6	45014,1	1456	13904,1	31109,9
2010	219,4	121,3	203	422,3	252,5	1920991	-0,5	56329,6	47991,6	44324,8	1648	8338,1	35986,7
2011	126,4	87,3	173,5	299,9	260,1	1978670,4	-106	40804,8	30640,6	48993,8	1856	10164,2	38829,5
2012	101,1	83	114,4	215,5	258,8	1969350	11,4	38955,7	26148,2	48589,7	1632	12807,5	35782,2
Média Anual	192	113,7	163,9	355,9	248,1	1887916,3	18,6	53005,9	41841,2	41596,7	1469	10834,7	30762,1
Cenário 3b													
2002	286,4	153,6	50,8	337,1	227,7	1732075	302,8	140046,8	116725,7	57165,2	1488	16271,1	40894
2003	333	159,3	251,7	584,7	239,3	1820822,5	67	144653,3	125149,1	71989,3	1944	19504,2	52485,1
2004	137,4	96,8	212,2	349,6	240,7	1831183,5	-113,9	89477,2	63580,4	74586,6	1728	25896,8	48689,8
2005	97,3	76	130,5	227,7	259,2	1972230,8	-32	70074,2	51263	95793,1	2784	18811,2	76981,9
2006	329,9	159,7	158,7	488,6	238,9	1817518,6	150,3	145072,1	125154,9	72122,5	1824	20097,3	52025,2
2007	109,4	75,1	222,1	331,5	247,6	1884147,8	-224,3	69338,2	50377,1	80809,2	2712	18781	62028,2
2008	117	95,8	136,2	253,2	240,5	1829755,2	18,9	88474,7	64165,5	73216,2	1872	24309,1	48907,1
2009	243,9	131,9	147,9	391,9	250,8	1908349,2	131,2	121024,5	94020,7	87424	2184	27003,9	60420,1
2010	218,4	120,3	202,6	421	251,2	1911186	-0,4	109400,5	93206,7	86085,3	2472	16193,8	69891,5
2011	125,2	86,1	173,2	298,4	258,5	1966700,1	-106	79249,1	59508,6	95153,2	2784	19740,4	75413
2012	99,6	81,4	114	213,6	256,9	1954266,8	11,4	75657,8	50783,7	94368,4	2448	24874	69494,3
Média Anual	190,7	112,4	163,6	354,3	246,5	1875177,5	18,6	102945,3	81261,8	80787,1	2203,5	21042,6	59744,5

No Quadro 5.9 verifica-se que existe uma diminuição nos escoamentos em superfícies permeáveis e impermeáveis. A quantidade de água importada, o escoamento de águas pluviais e o escoamento base diminuem de forma não significativa. A quantidade de água disponível nos reservatórios aumenta do Cenário 3a para o Cenário 3b, a mesma quantidade apresentada nos Cenários 2a e 2b (Quadro 5.8), isto é, 94% em média, visto que o aumento dos reservatórios mantém-se. A quantidade de água utilizada pelos reservatórios para rega de jardins privados representa 26% da quantidade de água disponível.

Relativamente aos indicadores de sustentabilidade, comparando cada um dos cenários com o Cenário de Referência (Quadro 5.7), com a aquisição de reservatórios, em média, a quantidade de água de abastecimento público e o escoamento de águas pluviais diminuem de igual modo (Cenário de Referência/Cenário 3a - 1.8 mm/ano, ou seja, aproximadamente 13500 m³/ano e Cenário de Referência/Cenário 3b - 3.4 mm/ano, ou seja, aproximadamente 26200 m³/ano), diminuição essa que, no entanto, não é significativa. No caso da água de abastecimento público é de 0.7% quando se compara o Cenário 3a com o Cenário de Referência e 1.4% no caso do Cenário 3b vs Cenário de Referência enquanto que para o escoamento de águas pluviais a diferença é de 0.5% quando se compara o Cenário 3a com o Cenário de Referência e 0.95% para o caso do Cenário 3b vs Cenário de Referência.

Considerando a comparação entre o Cenário de Referência e o Cenário 3b, note-se que a diminuição do escoamento de águas pluviais (aproximadamente 26200 m³/ano) corresponde apenas a cerca de 6.6% da quantidade de água total necessária para rega.

As Figuras 5.14 e 5.15 representam, graficamente, as componentes de entrada e saída do balanço hídrico anual dos Cenários 3a e 3b.

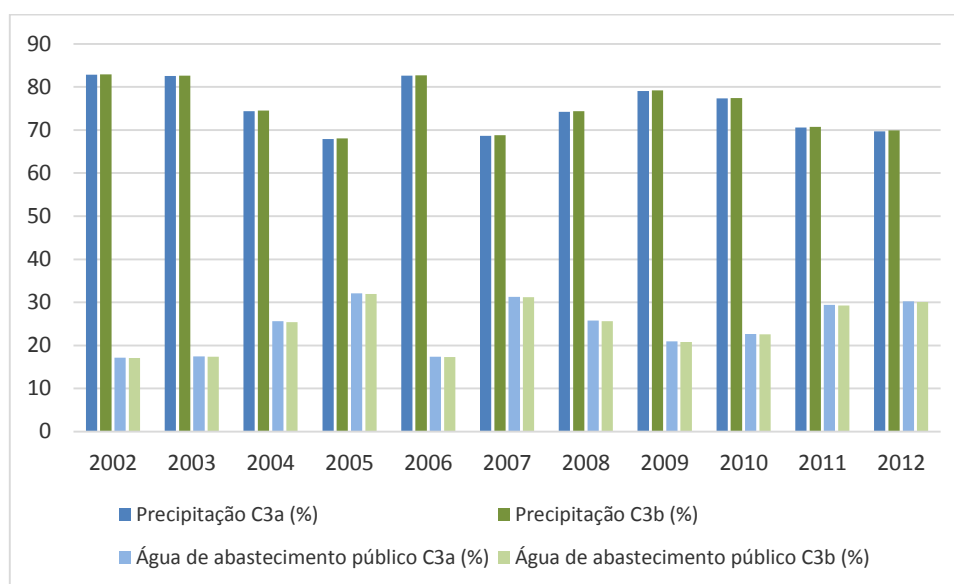


Figura 5.14 – Componentes de entrada do balanço hídrico anual – Cenário 3a vs Cenário 3b

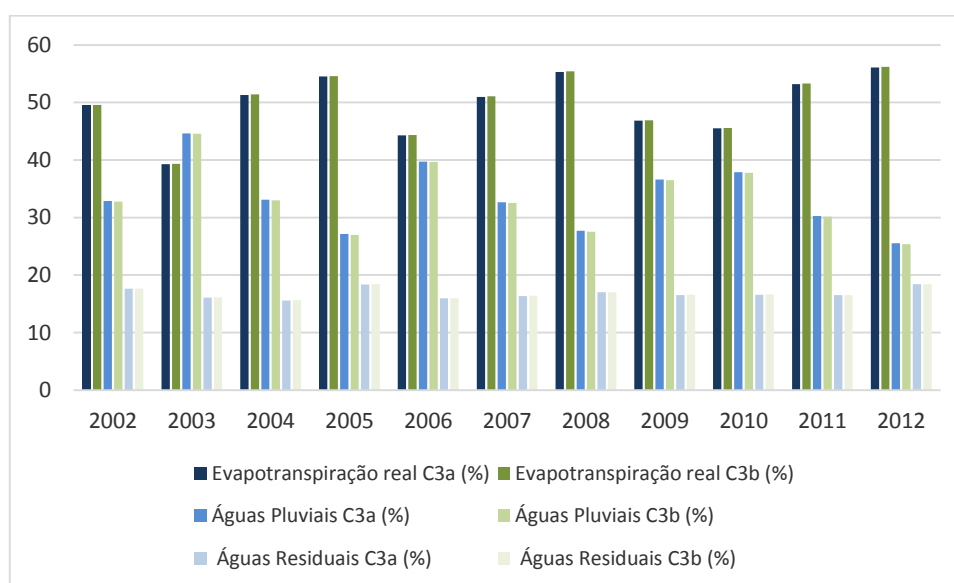


Figura 5.15 – Componentes de saída do balanço hídrico anual – Cenário 3a vs Cenário 3b

Comparando as Figuras 5.12 e 5.14 constata-se que os intervalos das percentagens das componentes, precipitação e quantidade da água de abastecimento público, mantêm-se em relação aos Cenários 2a e 2b (68% - 83% e 17% - 32%, respetivamente); o mesmo se verifica para o Cenário de Referência (Figura 5.10).

Como se pode verificar pela Figura 5.15, o intervalo das percentagens da evapotranspiração real e das águas residuais varia de igual modo (39% - 56% e 16% - 18%, respetivamente) comparado com os Cenários 2a e 2b (Figura 5.13). O escoamento de águas pluviais varia entre 26% e 45%. Para o Cenário de Referência (Figura 5.11) os intervalos das percentagens das componentes de saída são idênticos.

Face aos resultados apresentados, pode-se então afirmar que a diferença entre reservatórios para aproveitamento de águas pluviais de capacidade 10 m³ e 20 m³ é mínima.

5.2.6 Cenário 4 vs Cenário de Referência

No Cenário 4 considerou-se em todos os loteamentos urbanos, exceto os números 4, 5, 19, 38 e 47, a aquisição/colocação de reservatórios de aproveitamento de águas pluviais de 20 m³ (1711 reservatórios).

As Figuras 5.16 e 5.17 mostram, para o Cenário 4, as percentagens das componentes de entrada e de saída do balanço hídrico no ano mais chuvoso (2002), no ano mais seco (2012) e a média no período em estudo (2002-2012).

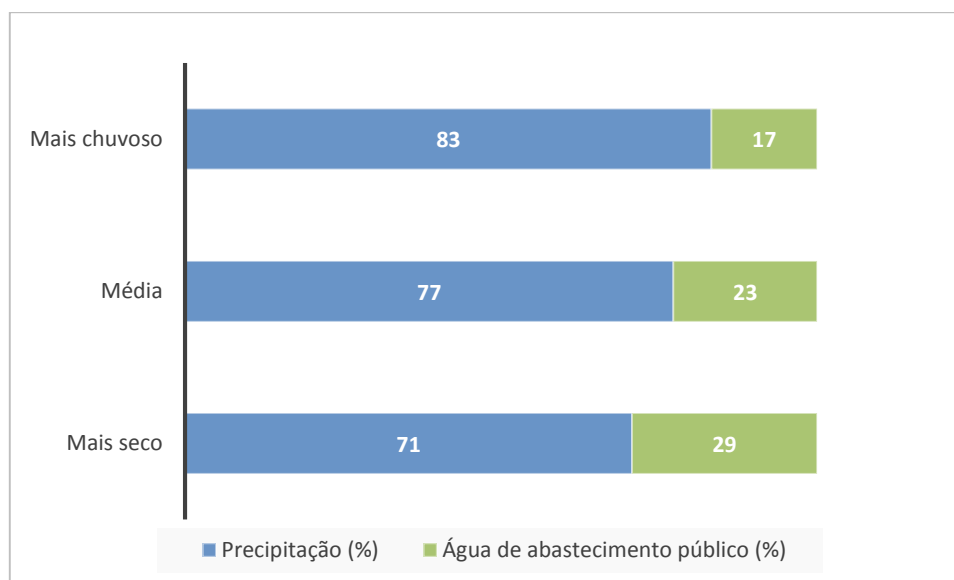


Figura 5.16 - Componentes de entrada do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário 4

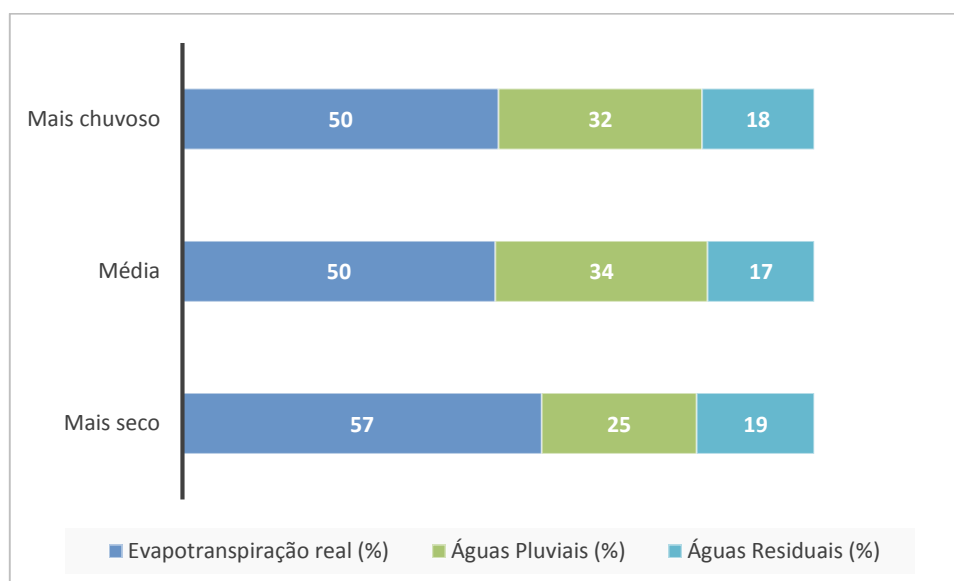


Figura 5.17 – Componentes de saída do balanço hídrico no ano mais chuvoso, mais seco e a média – Cenário 4

Como se pode verificar pela Figura 5.16 a precipitação é, em média, três vezes superior à quantidade de água de abastecimento público variando esta relação entre 4,9 e 2,5 para o ano mais chuvoso e para o ano mais seco, respetivamente.

Como se pode observar da Figura 5.17, a quantidade de água de abastecimento público é, em média, menor que o escoamento de águas pluviais. Relativamente à evapotranspiração real esta apresenta a maior percentagem em relação às restantes componentes. No ano mais chuvoso, a evapotranspiração real é igual à soma do escoamento das águas pluviais com as águas residuais. No entanto, no mais seco, a evapotranspiração real é superior à soma do escoamento de águas pluviais com as águas residuais. Os valores das componentes de saída no ano mais chuvoso são equivalentes aos valores médios.

O Quadro 5.10 mostra o balanço hídrico anual ao longo de um período de simulação de 11 anos – ano mais chuvoso, ano mais seco e a média.

Quadro 5.10 - Balanço hídrico anual da bacia em estudo – Cenário 4

Período de Tempo	Unidades	Prec.	Água de abasteci-mento público	Evapotransp. real	Esc. Águas Pluviais	Águas Residuais	Varição do armazenamento na bacia
Média	mm/ano	811	239	511	346	174	19
	L/(hab.d)	823	242	518	351	177	19
C_v	%	29	4	5	33	11	-
Mais seco (2012)	mm/ano	596	247	473	204	155	11
	L/(hab.d)	605	250	480	207	157	11
Mais chuvoso (2002)	mm/ano	1104	221	510	328	181	306
	L/(hab.d)	1120	224	517	333	184	310

Analisando o Quadro 5.10 a quantidade de águas residuais é, em média, 73% da água do abastecimento público.

Para o ano mais chuvoso, a diferença entre os valores da precipitação e a média corresponde a 293 mm originando uma diminuição na água de abastecimento público de 18 L/(hab.dia). As componentes do balanço hídrico provenientes da urbanização (água de abastecimento público e águas residuais) tiveram menos impacto que as restantes componentes (precipitação, evapotranspiração real e águas pluviais) comparadas com a média do balanço hídrico a médio-prazo. Aproximadamente 83% das entradas e saídas da água estão relacionadas com as ocorrências naturais, ou seja, a precipitação, a evapotranspiração real, o escoamento das águas pluviais e as variações de armazenamento na bacia.

Em relação aos indicadores de sustentabilidade, a diferença entre a quantidade de água de abastecimento público no ano mais seco (250 L/(hab.dia)) e no ano mais chuvoso (224 L/(hab.dia)) é pequena. O valor das águas residuais é inferior ao valor do escoamento das águas pluviais.

O maior coeficiente de variação anual corresponde ao valor do escoamento das águas pluviais, sendo que a diferença do ano mais chuvoso para o ano seco é de 124 mm/ano.

O Quadro 5.11 apresenta o balanço hídrico médio sazonal com os respetivos componentes de entrada e saída.

Quadro 5.11 – Balanço hídrico médio sazonal (2002-2012) – Cenário 4

Período de Tempo	Unidades	Prec.	Água de abastecimento público	Evapotransp. real	Esc. Águas Pluviais	Águas Residuais	Varição do armazenamento na bacia
Primavera	mm	147	55	213	64	39	-113
	L/(hab.dia)	149	56	216	65	39	-115
Cv	%	33	8	11	27	4	-
Verão	mm	71	86	104	46	38	-31
	L/(hab.dia)	72	87	105	46	38	-31
Cv	%	73	7	20	24	1	-
Outono	mm	359	51	88	125	48	149
	L/(hab.dia)	364	52	89	127	48	151
Cv	%	43	11	19	54	21	-
Inverno	mm	235	47	106	112	50	14
	L/(hab.dia)	238	47	108	113	51	14
Cv	%	51	2	12	54	25	-

O Verão é a estação do ano em que a quantidade de água de abastecimento público apresenta o maior valor, em média, 35% da utilização anual. A quantidade de água de abastecimento público é cerca de duas vezes superior ao valor do escoamento de águas pluviais. A evapotranspiração real excede a precipitação em 47%. É nesta estação que se verifica o coeficiente de variação mais elevado, 73% para a precipitação.

No Outono há uma alteração notória de algumas das componentes do balanço. Assim, em relação ao Verão, a água de abastecimento público diminui cerca de 40%, a precipitação aumenta 5 vezes e o escoamento de águas pluviais aumenta 2.7 vezes.

No Inverno, a água de abastecimento público é equivalente ao valor do escoamento de águas residuais. O valor da evapotranspiração real é, aproximadamente, metade do valor da precipitação. É nesta estação que se verificar o maior coeficiente de variação das águas residuais de 25%.

Na Primavera, o valor da evapotranspiração real é superior ao valor da precipitação e comparada com as restantes estações do ano, aumentou praticamente para o dobro.

O Quadro 5.12 apresenta os resultados globais do Cenário 4.

Quadro 5.12 – Resultados do Cenário 4

Ano	Esc. superficial (mm/ano)	Esc. superficial em áreas impermeáveis (mm/ano)	Esc. base (mm/ano)	Esc. de águas pluviais (mm/ano)	Água de abastecimento público (mm/ano)	Água de abastecimento público (m3/ano)	Variação do armazenamento na bacia (mm/ano)	Rendimento dos telhados (m3/ano)	Água em excesso nos reservatórios (m3/ano)	Água disponível nos reservatórios (m3/ano)	Nº de falhas de resposta do reservatório às solicitações de rega	Água utilizada através do reservatório (m3/ano)	Déficit do reservatório (m3/ano)
2002	277,7	145,0	50,3	328,0	221,0	1681666,5	305,6	339886,7	249067,5	138737,0	2100,0	56599,3	82137,8
2003	327,3	153,5	250,6	577,9	232,0	1764800,1	66,5	351066,4	286620,6	174714,6	2982,0	64445,8	110268,7
2004	130,1	89,4	210,8	340,8	231,3	1759461,5	-114,3	217156,7	133882,3	181017,9	2520,0	83274,4	97743,5
2005	91,7	70,4	128,8	220,5	252,0	1917390,8	-31,9	170066,6	107302,7	232485,1	4452,0	62763,8	169721,3
2006	324,1	153,9	157,2	481,3	231,4	1760283,7	150,3	352082,7	286634,7	175037,8	2772,0	65885,2	109152,6
2007	104,8	70,5	220,7	325,5	240,5	1829642,4	-225,3	168280,3	113055,1	196120,0	4284,0	62690,5	133429,5
2008	109,4	88,2	134,8	244,2	232,0	1765007,8	19,7	214723,7	130714,2	177692,2	2856,0	76107,1	101585,1
2009	236,9	124,8	146,2	383,0	241,7	1838795,2	131,2	293720,5	211073,5	212173,7	3402,0	82647,1	129526,6
2010	213,3	115,1	201,0	414,2	244,6	1860957,0	-0,1	265509,6	209098,1	208924,7	3906,0	56411,5	152513,2
2011	119,4	80,3	171,6	291,1	251,1	1910101,9	-105,9	192333,5	127314,5	230932,0	4494,0	65019,0	165913,0
2012	91,8	73,6	112,3	204,1	246,8	1877812,2	11,1	183617,7	97580,0	229027,4	3528,0	86037,7	142989,7
Média anual	184,2	105,9	162,2	346,4	238,6	1814970,6	18,8	249843,0	177474,7	196066,2	3390,3	69257,6	126808,6

Comparando o Cenário 4 com o Cenário de Referência (Quadro 5.7), os valores da precipitação, da evapotranspiração real, das águas residuais e a variação do armazenamento na bacia não sofreram alterações, em relação à média.

Em relação aos indicadores de sustentabilidade, a colocação de reservatórios origina, em média, uma diminuição igual no que respeita à quantidade de água de abastecimento público e ao escoamento de águas pluviais (11.3 mm/ano, ou seja, aproximadamente 86500m³/ano). No caso da água de abastecimento público essa diminuição é de 4.5% enquanto que para o escoamento de águas pluviais é de 3.2%.

Note-se mesmo que com a colocação de reservatórios em 1711 lotes, a diminuição do escoamento de águas pluviais (aproximadamente 86500 m³/ano) corresponde apenas a cerca de 22% da quantidade de água total necessária para rega.

6 CONCLUSÕES

6.1 Considerações Finais

A água é essencial à vida de todos os seres vivos. A preservação, a necessidade do tratamento e a reutilização faz com que a sua gestão sustentável seja cada vez mais relevante. A escassez de água torna-se uma ameaça em várias regiões pois, muitas vezes, não têm capacidade para satisfazer as necessidades de água existentes na região. Para uma melhor gestão da água é necessário conhecer o ciclo hidrológico e os recursos hídricos disponíveis em cada região, bem como o ciclo urbano da água, considerando as suas vertentes de utilização e consumo. A análise do balanço hídrico permite avaliar o impacto da urbanização sobre os processos hidrológicos que ocorrem numa bacia de drenagem e, ainda, explorar alternativas na gestão dos recursos hídricos.

Para avaliar a quantidade total de água que é utilizada no ciclo urbano da água recorreu-se ao modelo *Aquacycle*, tendo sido este desenvolvido para fornecer uma visão holística do sistema de água urbana, permitindo que o abastecimento de água, a drenagem de água residuais e o escoamento de água pluviais se integrem como num único sistema. A aplicabilidade deste modelo exige o conhecimento dos valores do uso doméstico da água, dos dados meteorológicos e a descrição das características de uso do solo do local em estudo.

No âmbito do presente estudo, o modelo *Aquacycle* permite uma avaliação das fontes alternativas para melhorar a sustentabilidade no uso da água: redução de perdas de água na rede e aproveitamento de águas pluviais. Para isso, foram analisados diferentes cenários de forma a identificar possíveis melhorias no ciclo urbano da água. No presente estudo, por razões de limitação de recurso, particularmente de tempo, na definição de cenários não se considerou a reutilização de águas residuais.

O modelo foi aplicado para a bacia da Ribeira dos Covões, pertencente ao concelho de Coimbra, abrangendo um área de 760.83 ha.

Comparando os cenários com 20% e sem perdas de água, como seria de esperar, o escoamento base diminui (em média 27.3%), visto que não existem perdas de água na rede pública. Em relação aos indicadores de sustentabilidade, o escoamento de águas pluviais e a quantidade água de abastecimento público através da rede pública também diminuem, em média, 12.5% e 20% respetivamente.

No que diz respeito aos cenários com e sem reservatórios para aproveitamento de águas pluviais, em relação aos indicadores de sustentabilidade analisados, água de abastecimento público e escoamento de águas pluviais, verifica-se que a diferença entre eles é muito pouco significativa.

A capacidade dos reservatórios para aproveitamento de águas pluviais (10 m³ e 20m³) não foi capaz de satisfazer a procura da água para rega sem recorrer à água de abastecimento público, visto que, a água disponível nos reservatórios pode ou não coincidir com o período de maior necessidade de água para rega, face à diferença temporal entre os períodos com precipitação e os períodos com necessidades de rega. Verificou-se que mesmo na situação correspondente ao cenário em que na maior parte dos lotes se colocavam reservatórios, apenas cerca de $\frac{1}{5}$ das necessidades de água para rega foram satisfeitas. Para reduzir as necessidades de rega poder-se-ia optar por adequar as espécies plantadas nos jardins a espécies que consumam menos água, embora esta medida seja mais fácil de implementar em jardins novos (Almeida *et al*, 2006).

Conclui-se então que, no ponto de vista individual, estas alternativas não têm grande impacto. Não faz sentido avançar por soluções individuais antieconómicas, na medida em que as necessidades de rega só seriam, eventualmente, satisfeitas através de instalação de reservatórios com volumes não razoáveis para serem suportados através do investimento de particulares. No entanto, a nível coletivo o aproveitamento de águas pluviais poderá ser uma boa opção, caso ocorram iniciativas/investimentos adequados por parte das entidades públicas. Note-se que, de acordo com o Plano de Drenagem da Ribeira dos Covões (AC, 2009), está prevista a construção de sete bacias de retenção de águas pluviais com uma capacidade de armazenamento aproximada de 156000 m³. Pelo aproveitamento de água armazenada nestas bacias para rega de espaços públicos facilmente se conseguirá uma redução da utilização da água de consumo público equivalente à conseguida com a instalação de reservatórios individuais nos lotes de construção individuais, conforme se viu na análise dos Cenários 3a e 3b.

6.2 Estudos futuros

O estudo da Sustentabilidade na Gestão do Ciclo Urbano da Água aborda alternativas para melhorar a gestão deste recurso hídrico. Este é um tema que necessita de ser desenvolvido com alternativas concretizáveis e viáveis proporcionando uma utilização de forma racional e sustentável, de modo a prevenir a escassez de água. Face às conclusões apresentadas, sugere-se como prosseguimentos de estudo:

- Estudo da bacia com implantação de soluções de aproveitamento de águas da chuva coletivas;
 - Desenvolvimento e quantificação de outros indicadores de sustentabilidade do uso da água como, por exemplo, a reutilização de águas residuais;
 - Ampliação do modelo de simulação do Ciclo Urbano da Água utilizado de modo que seja possível analisar o impacto económico (em termos de investimento e de operação e manutenção) das fontes alternativas de água consideradas e soluções tecnológicas empregues.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AC (2009). “Plano de Drenagem da Bacia da Ribeira dos Covões”. Águas de Coimbra. Gabinete Técnico de Inovação. Coimbra: Versão 1.

Almeida, M. C., Vieira, P., Ribeiro, R. M. A. (2006). “Uso eficiente da água no sector urbano”. Guia Técnico nº 8 do ERSAR. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho 2007/60/CE, de 23 de outubro de 2007, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 288 (2007-11-06), pp. 27-34.

EUCAR@ (2014). <http://www.eucar.be/Sustainable%20Propulsion/focus-on-urban-mobility-1/urban%20and%20rural%20population2.jpg/view>. European Council for Automotive R&D. Acedido em 10 janeiro 2014.

FAO (2008). *Global waterstress and scarcity*. In http://www.grida.no/graphicslib/detail/global-waterstress-and-scarcity_14bc#.

FAO@ (2012). http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm. Aquastat. *Food and Agriculture organization of the united nations*. Acedido em 10 abril 2014.

FAO@ (2014). http://www.fao.org/nr/water/topics_scarcity.html. FAO water. *Food and Agriculture organization of the united nations*. Acedido em 5 março 2014.

Foxon, T.J., McIlkenny, G., Gilmour, D., Oltean-Dumbrava, C., Souter, N., Ashley, R., Butler, D., Pearson, P., Jowitt, P. e Moir, J. (2002). “Sustainability Criteria for Decision Support in the UK Water Industry”.

Grimmond C.S.B., Oke T.R. e Steyn D.G. (1986). “Urban Water Balance 1, Model for Daily Totals”, *Water Resources Research*, 22(10), 1397-1403.

Kharas, H. (2011). “The Emerhing Middle Class in Developing Countries”. *Brookings*, june XX: p. 8.

Last, E.M. (2010). “CITY WATER BALANCE - A New Scoping Tool For Integrated Urban Water Management Options”. Doctor of Philosophy, The University of Birmingham Birmingham, United Kingdom.

Lekkas, D.F, Manoli, E., e Assidimacopoulos, D. (2008). “Integrated Urban Water Modelling Using the Aquacycle Model”. Global NEST Journal, Vol. 10, No 3, pp. 310-319.

Libelium@(2012).

http://www.libelium.com/es/smart_water_cycle_monitoring_sensor_network/#!/prettyPhoto. Libelium Worl (página internet oficial), Spain.

Marques, J. A. S., Carvalho, R.F., Simões, N., Pina, R. e Reis, P. (2007). “Estudos de Hidrologia Urbana na Cidade de Coimbra”, Instituto de Investigação Interdisciplinar. Universidade de Coimbra.

McKinsey (2009). “Charting our water future: Economic frameworks to inform decision-making”. Munich: 2030 Water Resource Group, McKinsey Company.

McPherson, M.B. (1981). “Research on urban hydrology: a contribution to the International Hydrological Programme”. Technicalpapers in Hydrology No. 15, UNESCO, Paris.

Mitchell (2005). “Aquacycle User Guide - a daily urban water balance model”. CRC for Catchment Hydrology, Monash University, Australian.

Mitchell, V.G, McMahon, T. e Mein, R. (2003). “Components of the Total Water Balance of an Urban Catchment”. Environmental Management, Vol. 32, No 6, pp. 735-746.

Mitchell, V. G., Meins, R. G., McMahon, T. A. (2001). “Modelling the urban water cycle”. Environmental Management, pp. 615-629.

Molden, D. (2007). “A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture”. Earthscan, London.

Pina, R.D, Simões, T. M. N., Marques, A.S., Temido, J.L.S.S e Sousa, J.J.O. (2010). “A Gestão dos Sistemas de Drenagem da Cidade de Coimbra”. Encontro Nacional de Saneamento Básico. Simpósio luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Temido, J. (2005). “Apontamentos da disciplina de Tratamento de Águas e Efluentes”. Departamento de Química da FCTUC.

USGS@ (2013). <http://ga.water.usgs.gov/>. United States Geological Survey. Acedido em 11 de janeiro 2014.

Wikipédia@(2014),
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Coimbra#mediaviewer/Ficheiro:LocalCoimbra.svg>. Acedido em 11 fevereiro 2014.