

**Aplicação do WEAP na simulação da gestão integrada do  
Empreendimentos de Fins Múltiplos de Alqueva**

**Francisco Branco Roque da Nazaré Ferreira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia do Ambiente**

**Versão final**

**julho 2014**



## Agradecimentos

A realização desta dissertação implicou um enorme desafio que sem o auxílio de outros não seria possível ser terminada. Aqui deixo os meus agradecimentos a quem me sempre apoiou.

Ao orientador desta dissertação, o professor Rodrigo Proença de Oliveira, pelas constantes orientações, revisões e recomendações realizadas durante todo o estudo, demonstrando sempre a sua dedicação, disponibilidade e conhecimento.

Ao Engenheiro Costa Miranda, pela sua pronta disponibilidade, mesmo quando o contato era súbito, no esclarecimento de dúvidas e na disposição de informações.

Um agradecimento especial ao Doutor Reis Santos, que para além de toda a rapidez e cuidados necessários, sempre apoiou e incentivou, demonstrando sempre toda a sua simpatia, humildade e preocupação.

Aos amigos e colegas de faculdade, pelos trabalhos, estudos, momentos de descontração e prestação de apoio na realização da tese, direta ou indiretamente.

À Sara, por todo o apoio prestado, incentivos de motivação e todas as reprimendas necessárias durante este estudo.

Finalmente gostaria de agradecer aos meus pais e ao meu irmão, por todos conselhos, carinho, dedicação e paciência, durante todo o meu percurso.



## Resumo

A presente dissertação tem como objetivo estimar a capacidade de satisfação das necessidades de água na região do Alqueva e avaliar o modelo matemático de apoio ao planeamento e gestão de recursos hídricos, WEAP. O WEAP (Water Evaluation and Planning) é um modelo desenvolvido pelo *Stockholm Environment Institute* que permite simular de forma integrada sistemas de recursos hídricos com múltiplos objetivos.

O caso de estudo é o Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), que está dividido em três subsistemas: Alqueva, Ardila e Pedrógão. Simularam-se três cenários: o cenário 2012/2013 de exploração da área atualmente equipada que corresponde à exploração de quase todo o subsistema Alqueva e a parte do de Ardila; o cenário 1ª fase de exploração integral da área regada dos três subsistemas; e o cenário 2ª fase que se encontra em estudo pela EDIA, e que corresponde a uma expansão da área regada prevista do projeto original.

A metodologia empregue incluiu a estimativa das afluências ao sistema a partir dos registos hidrométricos e de resultados de estudos anteriores e a aplicação do modelo WEAP para definir o modelo de gestão da água na área de influência do EFMA e compreender a capacidade do sistema de satisfazer as necessidades de água para abastecimento urbano e rega. A avaliação da capacidade de satisfação das necessidades de água foi avaliada recorrendo a estatísticas como o volume fornecido e a garantia de abastecimento.

Os resultados obtidos demonstram a capacidade das infraestruturas de satisfazerem as necessidades nos diversos cenários com elevadas taxas de garantias mensais e reduzidas falhas de abastecimento. O modelo WEAP permite construir o modelo da bacia hidrográfica com as suas infraestruturas e usos, de um modo simples, mas os seus algoritmos de cálculos apresentam algumas simplificações e carências que limitam a simulação do sistema.

**Palavras-chaves:** modelo de planeamento e gestão de bacias hidrográficas, WEAP, necessidades hídricas, Alqueva, gestão de infraestruturas

## Abstract

The aim of this study is to evaluate the capacity to satisfy the water requirements from urban and agriculture uses in the Alqueva region, as well to analyze WEAP, a decision support system for integrated water resource management and policy analysis.

The research case study is the Alqueva system which is divided in its three smaller systems: Alqueva, Ardila e Pedrógão. Three scenarios were simulated: the 2012/2013 scenario, where the Alqueva subsystem is fully working and Ardila is only partially working; the first phase scenario when all the subsystems are working; and the second phase scenario, resulting from an expansion of the first scenario.

The methodology used included the use of WEAP to design and build a model to understand the capacity to satisfy the water needs, the warranties and other parameters. The results showed that the reservoirs are prepared to satisfy the needs at the present scenario. On the other scenarios the reservoirs are prepared to supply the needs with high reliability taxes and low deficits. WEAP model is easy to build and design, but they present some flaws, like looping, few performance evaluators and some unknown parameters in the results.

**Keywords:** water basin simulator, WEAP, water requirements, Alqueva, reservoir management



# Índice

Agradecimentos .....	ii
Resumo .....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vii
Índice de Figuras .....	ix
Índice de Quadros .....	xi
1. Introdução.....	1
2. Caracterização das infraestruturas e explorações da Barragem do Alqueva.....	3
2.1 Descrição Geral.....	3
2.2 Hidrografia e hidrologia .....	4
2.2.1 Hidrografia .....	4
2.2.2 Escoamento.....	7
2.2.3 Evaporação.....	12
2.3 Infraestruturas.....	12
2.3.1 Infraestruturas de armazenamento .....	12
2.3.2 Canais de adução e de rega e perímetros de rega .....	15
2.3.3 Esquema do modelo de simulação.....	18
2.4 Necessidades Hídricas .....	20
2.4.1 Necessidades para uso urbano .....	20
2.4.2 Necessidades para uso agrícola .....	20
2.5 Necessidades de água para fins ecológicos .....	23
3. Modelos de Simulação Matemática.....	25
3.1 Introdução .....	25
3.2 Descrição de modelos.....	26
3.2.1 Mike HIDRO Basin .....	26
3.2.2 Aquatool.....	26
3.2.3 IRAS 2010-Interactive River and Aquifer Simulation .....	26
3.2.4 WRAP- Water Rights Analysis Package.....	26
3.2.5 RIBASIM- River Basin Planning and Management.....	26
3.2.6 WEAP- Water Evaluation and Planning .....	27
4. Análise dos cenários simulados.....	33
4.1 Síntese dos cenários .....	33
4.2 Resultados para o cenário 2012/2013.....	34
4.3 Resultados para o cenário 1ª fase .....	36



4.4	Resultados para o cenário 2ª fase .....	39
4.5	Volume armazenado na albufeira do Alqueva nos vários cenários.....	44
4.6	Correções necessárias para a modelação e avaliação do desempenho de WEAP .....	46
5.	Conclusões .....	48
6.	Bibliografia .....	50

## Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema simplificado do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva .....	3
Figura 2 – Sub-bacias hidrográficas da área do EFMA .....	7
Figura 3 - Escoamento mensal observado em estações hidrométricas da área de influência do EFMA .....	9
Figura 4 - Escoamento anual de acordo com vários estudos e estações hidrométricas.....	10
Figura 5 - Esquema do EFMA .....	19
Figura 6 - Organização do <i>software WEAP</i> na secção esquemática .....	27
Figura 7 - Organização do <i>software WEAP</i> na secção dados .....	28
Figura 8 - Volume armazenado na Albufeira do Alqueva para os cenários de estudo .....	45
Figura 9 - Looping no subsistema de Alqueva.....	46



## Índice de Quadros

Quadro 1 - Área das bacias hidrográficas do sistema do Alqueva (km <sup>2</sup> ).....	5
Quadro 2 - Escoamento médio mensal das secções de interesse do EFMA (dam <sup>3</sup> ) .....	11
Quadro 3 - Distribuição da taxa de evaporação mensal no EFMA (mm) .....	12
Quadro 4 - Características das infraestruturas de armazenamento .....	13
Quadro 5 - Perímetros de Rega abastecidos pelo EFMA (ha) .....	16
Quadro 6 - Consumo urbano no Subsistema do Alqueva (dam <sup>3</sup> ) .....	20
Quadro 7 - Distribuição da área das culturas nos subsistemas (ha) .....	20
Quadro 8 - Distribuição das dotações de rega nos subsistemas (mm) .....	20
Quadro 9 - Necessidades hídricas nos subsistemas (dam <sup>3</sup> ) .....	22
Quadro 10 – Necessidade ecológica dos cursos de água do sistema (m <sup>3</sup> /s) .....	23
Quadro 11 - Características gerais dos cenários .....	33
Quadro 12 - Balanço ao sistema do Alqueva no cenário 2012/13 (hm <sup>3</sup> ).....	34
Quadro 13 - Parâmetros de avaliação ao cenário 2012/13 .....	35
Quadro 14 - Balanço ao sistema do Alqueva no cenário 1ª fase (hm <sup>3</sup> ) .....	36
Quadro 15 - Parâmetros de avaliação ao cenário 1ª fase.....	37
Quadro 16 - Balanço ao sistema do Alqueva no cenário 2ª fase em hm <sup>3</sup> .....	39
Quadro 17 - Parâmetros de avaliação ao cenário 2ª fase.....	41



# 1. Introdução

Os recursos hídricos são especiais. No seu estado natural são lindíssimos e atraem pessoas que gostam de viver próximas de rios, lagos ou no litoral. Esta atração resulta também dos benefícios económicos que a proximidade da água oferece porque a produção e o processamento de alimentos e a maior parte das atividades económicas consomem grandes volumes de água, cujo o transporte é difícil de assegurar a custos razoáveis. A água é também poderosa, conseguindo erodir rochas, modificar e até criar novas paisagens. A importância da água para o nosso bem-estar é enorme e a nossa dependência deste recurso é eterna.

Apesar de a água existir em grandes quantidades no planeta Terra, a sua distribuição no espaço e no tempo origina desencontros entre as necessidades e as disponibilidades de água e situações de risco ou de conflito. São frequentes as situações de excesso ou de *deficit* de água, de poluição da água ou de água a preços excessivos. Estes desequilíbrios tendem a agravar-se em resultado das mudanças globais, não só devido às alterações climáticas mas também a outras mudanças como o aumento populacional, mudanças no uso dos solos, urbanização e migração de zonas rurais para áreas urbanas. Todas elas implicam desafios nunca antes vistos (Loucks, van Beek, Stedinger, Dijkman, & Villars, 2005).

O objetivo do presente estudo é a avaliação de um instrumento de planeamento e de gestão dos recursos hídricos, tendo em vista a satisfação das necessidades de água urbanas e agrícolas de uma dada região. Nesta dissertação utilizou-se o modelo matemático WEAP (*Water Evaluation and Planning*) para avaliar a operação das infraestruturas da Empresa de Desenvolvimento das Infraestruturas do Alqueva (EDIA) e a sua capacidade para satisfazer as necessidades de água dos perímetros de rega e das áreas urbanas da região.

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. O presente capítulo identifica os objetivos do estudo e apresenta a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta o caso de estudo, o Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), descreve as bacias hidrográficas da região e as características das infraestruturas do sistema e, por fim, avalia as disponibilidades e as necessidades hídricas da região.

O terceiro capítulo discute os problemas que os gestores de recursos hídricos enfrentam e defende a necessidade de recorrerem a programas de simulação matemática. O capítulo descreve resumidamente alguns dos modelos disponíveis e, em maior pormenor, o modelo WEAP. É descrita a organização deste modelo, apresentadas as suas componentes e explicados os seus processos de cálculos.

O quarto capítulo apresenta uma breve descrição dos cenários estudados e as medidas adotadas para colmatar as limitações do WEAP. São também discutidos os resultados para o cenário 2012/2013, para o cenário 1ª fase e para o cenário 2ª fase. O capítulo termina com uma avaliação do modelo.

O quinto capítulo apresenta algumas conclusões gerais sobre o estudo ao sistema do Alqueva e uma crítica resumida ao modelo matemático WEAP.



## 2. Caracterização das infraestruturas e explorações da Barragem do Alqueva

### 2.1 Descrição Geral

O Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), localizado no baixo Alentejo, é um sistema de infraestruturas abastecido pelos recursos da bacia hidrográfica do rio Guadiana para captação, armazenamento e distribuição de água para rega e abastecimento público, assim como para a produção de energia elétrica. O EFMA é explorado pela EDIA - Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva - que é responsável pela construção, manutenção e exploração das infraestruturas e pela captação e distribuição da água proveniente destas. A exploração hidroelétrica é realizada pela EDP, através de um acordo. O empreendimento entrou em operação em 2002 com a conclusão da construção da barragem do Alqueva que criou a maior albufeira de Portugal.

A zona de influência do EFMA encontra-se na zona Região Hidrográfica do Guadiana (RH7) e a restante na zona leste da Região Hidrográfica do Sado (RH6). O clima da região apresenta um período mais quente, de maio a outubro, e um período mais frio, entre novembro e abril. A temperatura mensal média varia entre os 9,1°C e os 24,4°C. A precipitação anual média ronda os 570 mm, variando entre 730 mm em ano húmido e 435 mm em ano seco.

O EFMA encontra-se dividido em três subsistemas: Alqueva, Ardila e Pedrógão. O subsistema de Alqueva utiliza a água proveniente da barragem do Alqueva para responder às necessidades a oeste e sudoeste da barragem. Os subsistemas do Pedrógão e Ardila captam água na barragem de Pedrógão para satisfazer as necessidades a sul desta barragem, respectivamente nas margens esquerda e direita do Guadiana. (Figura 1).

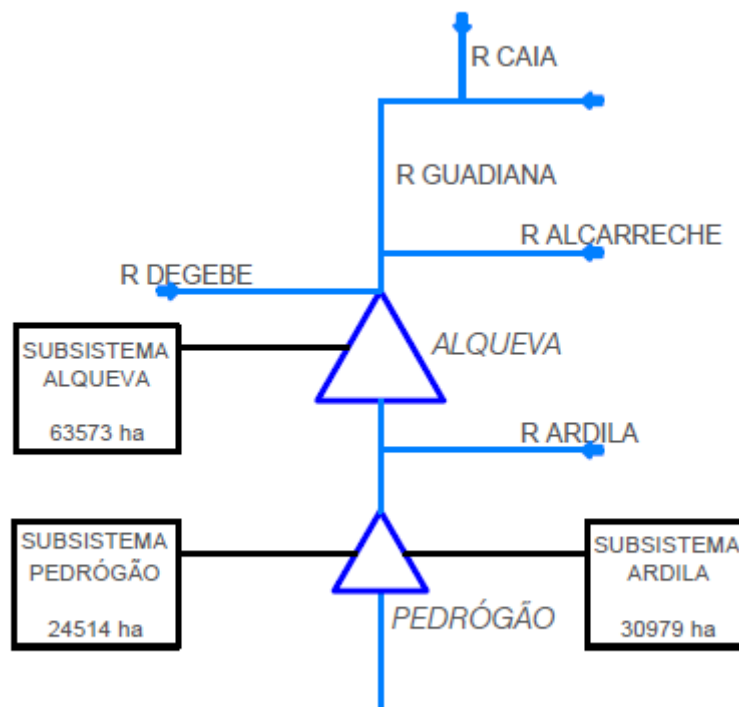


Figura 1 – Esquema simplificado do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva



## 2.2 Hidrografia e hidrologia

### 2.2.1 Hidrografia

A área de influência do EFMA abrange parcialmente as bacias hidrográficas do rio Guadiana e do rio Sado. A bacia hidrográfica do Guadiana abrange 55 513 km<sup>2</sup> em Espanha e 11 620 km<sup>2</sup> em Portugal. A barragem de Alqueva possui uma bacia hidrográfica com 55 289 km<sup>2</sup> e a de Pedrógão uma bacia hidrográfica com 59 404 km<sup>2</sup>.

O rio Guadiana nasce em Espanha, nos lagos da Ruidera, a uma altitude de 1700 metros, entra em território português próximo de Elvas, e desagua no Oceano Atlântico, próximo de Vila Real de Santo António. Apresenta um comprimento de 829 km, dos quais 260 km são localizados em território português. Em Portugal, o rio Guadiana tem como principais afluentes os rios Caia, Alcarreche, Degebe e Ardila (Figura 1).

A bacia hidrográfica do Sado tem 7 692 km<sup>2</sup> de área. O rio Sado tem as suas cabeceiras na serra da Vigia e desagua em Setúbal, no Oceano Atlântico, desenvolvendo-se totalmente em território português.

A área em estudo abrange as sub-bacias hidrográficas de vários cursos de água da RH7, nomeadamente Ardila, Degebe, Enxoé e Odearca, e da RH6, concretamente Alfundão, Odivelas, Roxo e Xarrama. O Quadro 1 apresenta as áreas das bacias hidrográficas a montante de cada secção com interesse, estimadas a partir de um Sistema Informação Geográfica, criado para o efeito. Estas secções de interesse são secções de entrada de água na área de estudo, nomeadamente barragens incluídas no sistema de infraestruturas do EFMA ou confluências com os principais afluentes dos rios Guadiana e Sado. O escoamento gerado em cada uma destas bacias hidrográficas corresponde às afluências do EFMA e constituem um dado de entrada do modelo. As zonas das Amoreiras, Cardieira, Marmelar e dos afluentes próximos de cada zona correspondem a sub-bacias individualizadas mas foram agregadas para simplificar o modelo e o cálculo das afluências. A Figura 2 apresenta a localização das bacias hidrográficas destas secções de interesse.

Quadro 1 - Área das bacias hidrográficas do sistema do Alqueva (km<sup>2</sup>)

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Secção da bacia	Área da bacia hidrográfica a montante (km <sup>2</sup> )
Guadiana a montante de Monte da Vinha	49685	Monte da Vinha	49685
Guadiana a montante de Barbosa	53695	Barbosa	53695
Degebe	1577	Montante Vigia	115
		Montante Loureiro	10
		Montante Monte Novo	268
		Montante Álamos	1046
		Jusante Álamos	138
Xarrama	750	Montante de Vale Gaio	750
Odivelas	437	Montante Alvito	199
		Jusante Alvito e Montante Odivelas	238
Marmelar	196	Montante Pedrógão	196
Odearca	401	Montante São Pedro	52
		Jusante Pedrógão	349
Alfundão	40	Montante Pisão	31
		Montante Penedrão	9
Roxo	438	Montante 5 Reis	27
		Montante Roxo	411
Cardeira	217	Jusante Pedrógão	217
Amoreiras	255	Montante Caliços	13
		Jusante Pias e Montante Amoreiras	50
		Montante Pias	33
		Montante Brinches	34
		Jusante Amoreiras e Jusante Caliços	82
		Jusante Pedrógão	43
Enxoé	255	Montante Laje	24
		Montante Enxoé	69
		Jusante Enxoé, Jusante Laje e Montante Serpa	124
		Jusante Serpa	38

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Secção da bacia	Área da bacia hidrográfica a montante (km <sup>2</sup> )
Ardila	3751	Jusante Ardila Fronteira e Montante Ribeira Toutalga	775
		Montante Furta Galinhas	56
		Jusante Furta Galinhas e Montante a Pedrógão	83
		Montante Ardila Fronteira	2837
Ardila (foz)	3611	Foz	3611
Secção de entrada de água da bacia do Guadiana na área de estudo	6652	Jusante de Alcarreche e jusante da foz de Enxoé	6652
Ponte Quintos-Barbosa	6497	Ponte Quintos-Barbosa	6497

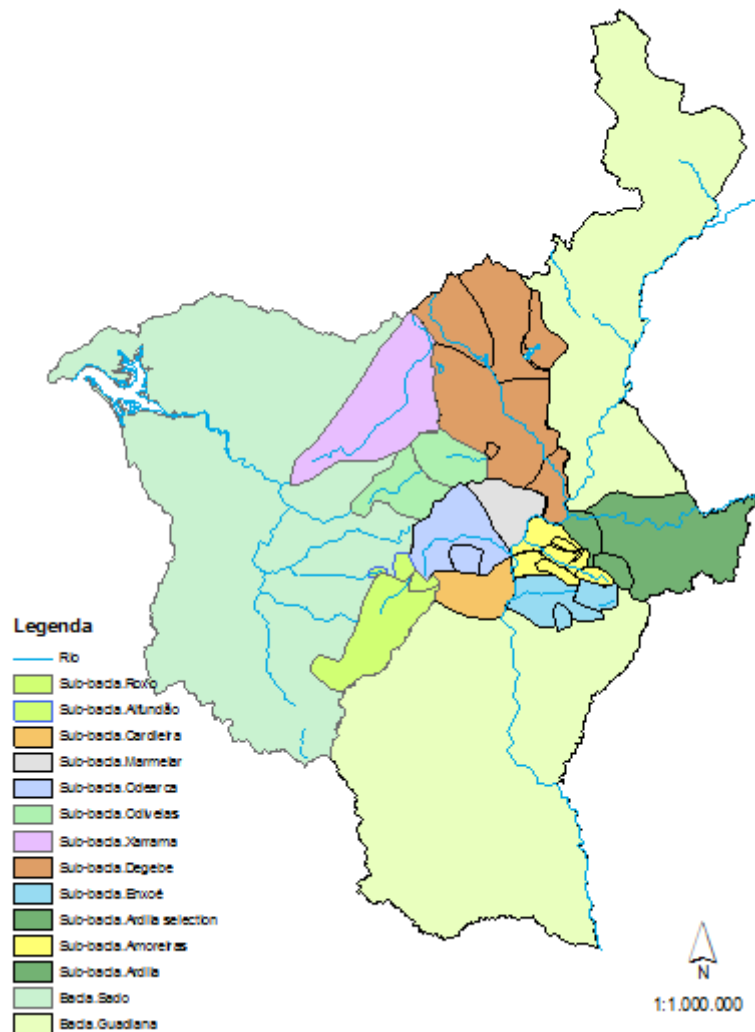


Figura 2 – Sub-bacias hidrográficas da área do EFMA

### 2.2.2 Escoamento

A estimativa do escoamento afluente ao EFMA foi realizada a partir dos registos de estações hidrométricas (Figura 3 e Figura 5) e de resultados de estudos existentes. Neste cálculo foi necessário ultrapassar a questão da não estacionaridade dos registos das estações hidrométricas que medem o escoamento proveniente de Espanha, em resultado da construção de barragens.

As estações hidrométricas seleccionadas para análise foram as de Albernoa (26J/01H), Amieira (24L/01H), Ardila (fz) (25M/01H), Barbosa (24M/01H), Entradas (27I/01H), Limas (27L/04H), Monte da Arregota (26K/01H), Monte da Ponte (27J/01H), Monte dos Bravos (24M/02H), Ponte Mourão (23M/01H), Ponte Quintos (26L/01H), Pulo do Lobo (27L/01H) e Vendinha (23K/01H), e ainda de Puente Palmas em Espanha.

Os estudos utilizados foram os realizados pela EDP (1988) e pela COBA (1985). O estudo da EDP apresenta diversas estimativas da série de aflúncias ao Alqueva consoante o volume de necessidades em Espanha (designado por R) e a capacidade de armazenamento em albufeiras em Espanha (designado por V). Estas séries são referidas por EDP-Alqueva-R=0/V=0 e EDP-Alqueva-R=4800/V=7000. O estudo da COBA apresenta duas séries de escoamento do Guadiana na fronteira em Caia, uma calculada para o regime natural e outra, designada de futuro, que assume o regime modificado após construção das barragens em Espanha. Infelizmente este estudo apenas apresenta valores anuais de escoamento.

As Figura 3 e Figura 4 comparam os valores de altura de escoamento das várias séries em análise. A série PM-MV diz respeito à diferença do escoamento medido em Ponte Mourão (23M/01H) e em Monte Vinha (21O/01H) e representa o escoamento gerado nas bacias hidrográficas dos afluentes que confluem com o Guadiana entre a sua entrada em Portugal e uma secção a montante de Alqueva e da confluência do Degebe. A série PM-MV não contabiliza o escoamento gerado nas bacias hidrográficas dos rios Alcarrache e Degebe. A série PL-PM diz respeito à diferença do escoamento medido em Pulo do Lobo (27L/01H) e em Ponte Mourão (23M/01H) (PL-PM) e representa o escoamento gerado na parte da área em estudo, que se situa nas bacias hidrográficas dos rios Guadiana e Sado. Esta série inclui a bacia hidrográfica do rio Degebe.

Analisando a Figura 3, consegue-se facilmente observar um comportamento semelhante de todas as séries na sucessão de semestres húmidos e secos e de anos secos e anos húmidos. As séries das estações de Amieira e do Vascão apresentam valores bastante superiores aos restantes, razão pela qual foram previamente descartadas. A série PM-MV e a série PL-PM apresentam um comportamento semelhante, apesar dos dados da primeira série começarem em 1979. Analisando a Figura 4 existe semelhanças entre as séries EDP-Alqueva-R=0/V=0 e COBA-Caia-Futuro. Os valores da série EDP-Alqueva-R=4800/V=7000 apresentam-se significativamente mais baixos quando comparados com outros.

Após a análise das duas figuras selecionou-se a série de escoamento EDP-Alqueva-R=4800/V=7000 para representar o escoamento do Rio Guadiana a montante de Alqueva. Como os dados desta série terminam no ano de 1981, os valores em falta foram completados com a série de Ponte Mourão, multiplicando por um fator para contabilizar as aflúncias da bacia hidrográfica de Alcarreche. Esta série de aflúncias do Alqueva pode representar a situação do enchimento após a construção de La Serena, terminada em fevereiro de 1990. Optou-se no estudo por utilizar esta série, uma vez que este estudo não tinha o objetivo de avaliar as aflúncias do Alqueva.

Para representar o escoamento na área de estudo utilizou-se a série PL-PM. O rio Ardila é o principal afluente do Rio Guadiana nesta região apresentado quase 3600 km<sup>2</sup>. Devido à sua influência na barragem de Pedrógão utilizou-se a série de escoamentos do SNIRH, através da estação Ardila (fz) para caracterizar este afluente.

O Quadro 2 apresenta o escoamento médio mensal das secções de interesse ao EFMA.

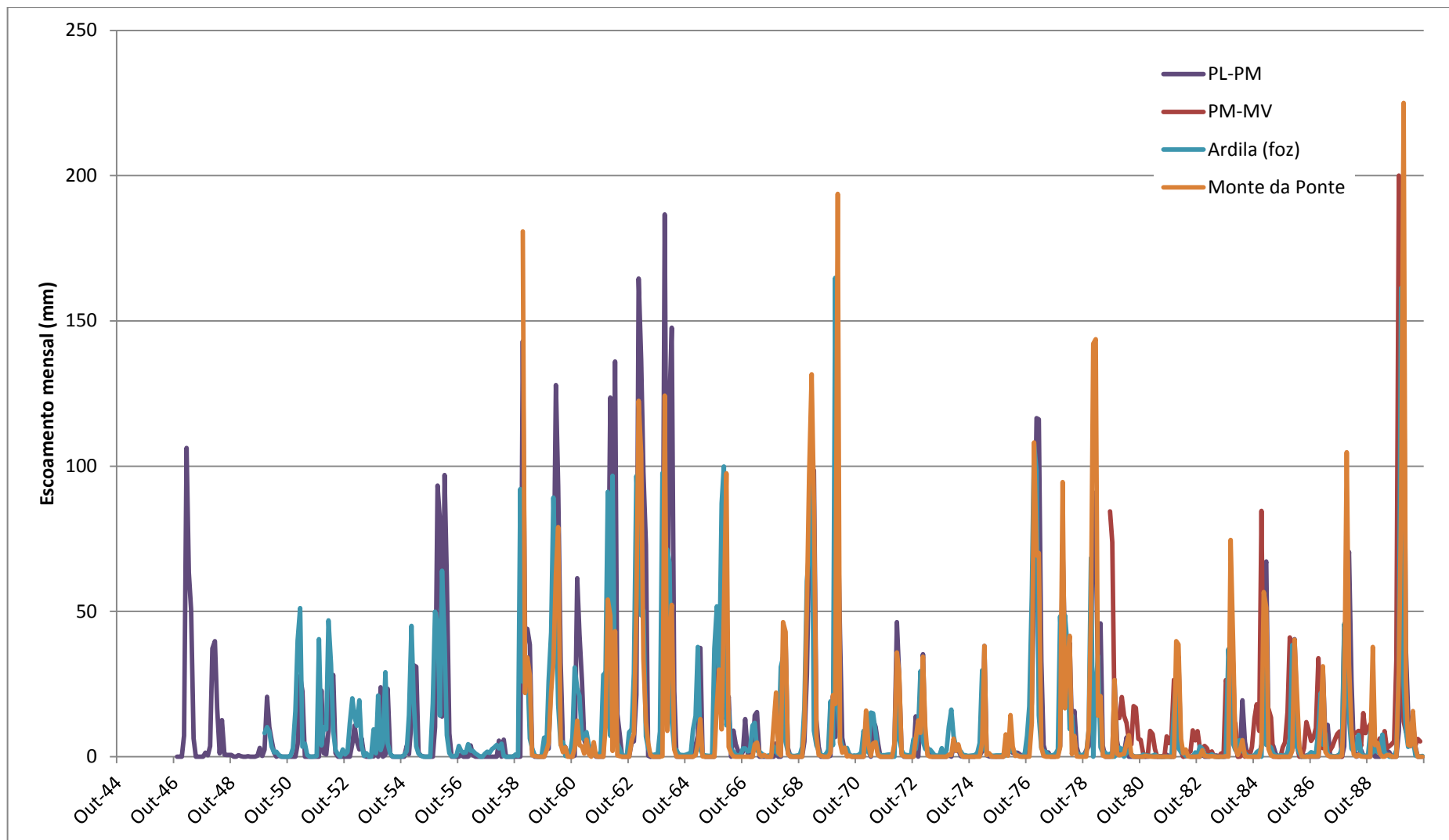


Figura 3 - Escoamento mensal observado em estações hidrométricas da área de influência do EFMA

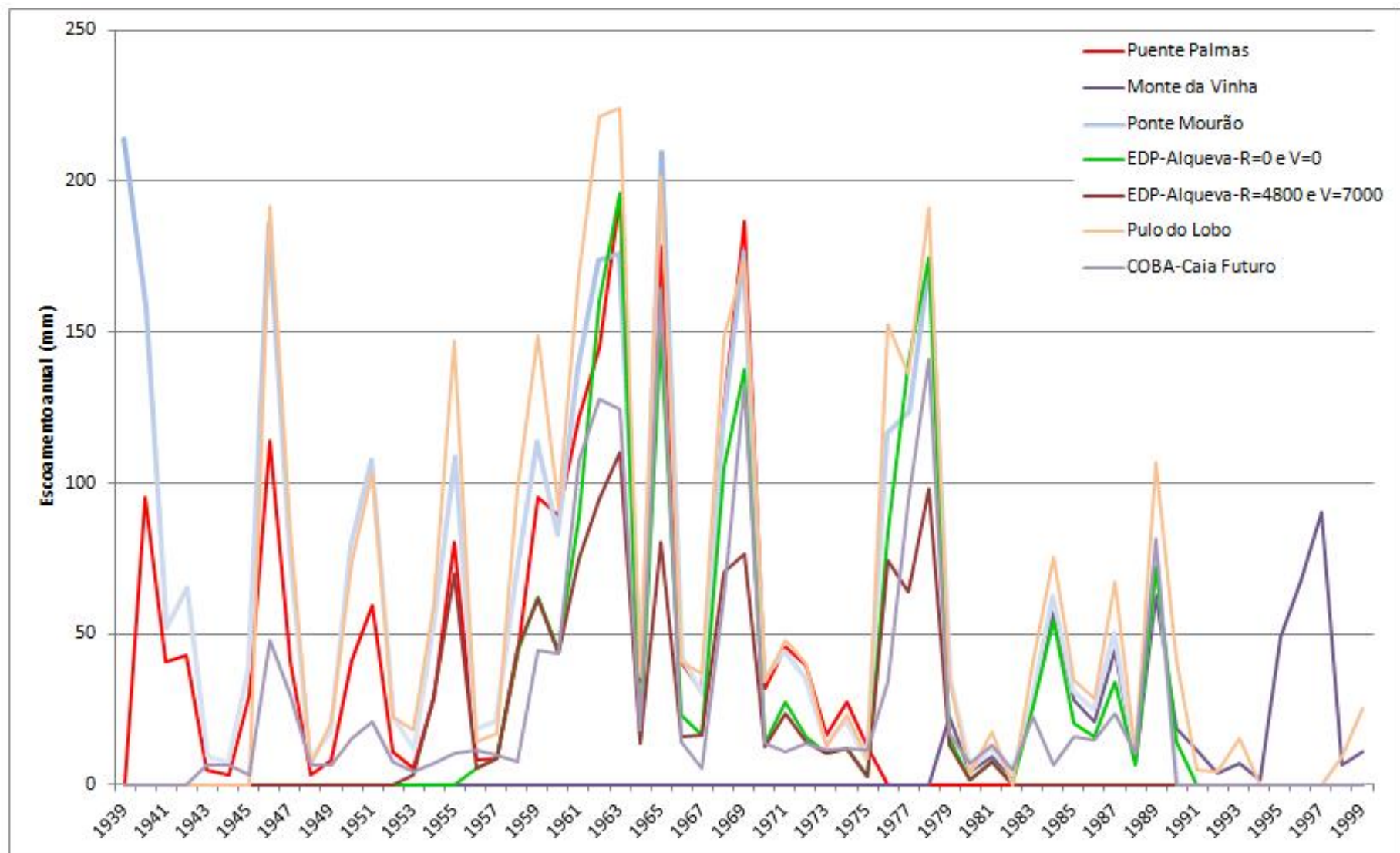


Figura 4 - Escoamento anual de acordo com vários estudos e estações hidrométricas

Quadro 2 - Escoamento médio mensal das secções de interesse do EFMA (dam<sup>3</sup>)

Secções de interesse do EFMA	out	nov	dec	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Ano (dam <sup>3</sup> )
Montante de Alqueva e montante de Degebe	27850	126953	353751	471153	474364	363803	168930	34875	24164	12522	13472	17758	<b>2089595</b>
Montante Vigia	358	1047	3295	3792	3529	3348	1137	254	79	14	4	8	<b>16865</b>
Montante Loureiro	31	91	287	330	307	291	99	22	7	1	0	1	<b>1467</b>
Montante Monte Novo	3255	9522	29972	34493	32097	30449	10342	2308	721	128	41	74	<b>153402</b>
Montante Álamos	834	2440	7679	8838	8224	7801	2650	591	185	33	10	19	<b>39304</b>
Jusante Álamos	429	1256	3954	4551	4235	4017	1364	305	95	17	5	10	<b>20238</b>
Montante de Vale Gaio	2334	6828	21490	24732	23014	21833	7415	1655	517	92	29	53	<b>109992</b>
Montante Alvito	619	1812	5702	6562	6106	5793	1968	439	137	24	8	14	<b>29185</b>
Jusante Alvito e Montante Odivelas	741	2167	6820	7848	7303	6928	2353	525	164	29	9	17	<b>34904</b>
Jusante de Alqueva e montante Pedrógão (margem esquerda)	610	1784	5616	6463	6014	5706	1938	432	135	24	8	14	<b>28745</b>
Montante São Pedro	162	473	1490	1715	1596	1514	514	115	36	6	2	4	<b>7626</b>
Montante Pisão	96	282	888	1022	951	902	306	68	21	4	1	2	<b>4546</b>
Montante Penedrão	28	82	258	297	276	262	89	20	6	1	0	1	<b>1320</b>
Montante 5 Reis	84	246	774	890	829	786	267	60	19	3	1	2	<b>3960</b>
Montante Roxo	1279	3742	11777	13553	12612	11964	4064	907	283	50	16	29	<b>60276</b>
Montante Caliços	40	118	372	429	399	378	129	29	9	2	1	1	<b>1907</b>
Jusante Pias e Montante Amoreiras	156	455	1433	1649	1534	1456	494	110	34	6	2	4	<b>7333</b>
Montante Pias	103	300	946	1088	1013	961	326	73	23	4	1	2	<b>4840</b>
Montante Brinches	106	310	974	1121	1043	990	336	75	23	4	1	2	<b>4986</b>
Jusante Amoreiras e Jusante Caliços	255	746	2350	2704	2516	2387	811	181	57	10	3	6	<b>12026</b>
Montante Laje	75	218	688	791	736	699	237	53	17	3	1	2	<b>3520</b>
Montante Enxoé	215	628	1977	2275	2117	2009	682	152	48	8	3	5	<b>10119</b>
Jusante Enxoé, Jusante Laje e Montante Serpa	386	1129	3553	4089	3805	3610	1226	274	85	15	5	9	<b>18185</b>
Montante Ribeira Toutalga no rio Ardila	10417	283178	78135	102789	87147	77774	32740	11112	5661	1562	776	1617	<b>692909</b>
Montante Furta Galinhas	161	4390	1211	1594	1351	1206	508	172	88	24	12	25	<b>10743</b>
Jusante Furta Galinhas e Montante a Pedrógão (margem direita)	237	6507	1798	2361	2004	1787	751	256	128	37	19	38	<b>15921</b>



### 2.2.3 Evaporação

Utilizou-se o seguinte quadro, representante da taxa de evaporação mensal da Barragem do Alqueva e de Pedrógão (Oliveira, 1994) para representar a evaporação nas barragens em estudo.

Quadro 3 - Distribuição da taxa de evaporação mensal no EFMA (mm)

Distribuição da Evaporação Mensal (mm)												
out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	TOTAL
97	50	26	33	44	87	116	168	204	167	244	164	1400

## 2.3 Infraestruturas

### 2.3.1 Infraestruturas de armazenamento

Os três subsistemas de infraestruturas do Alqueva incluem barragens, redes de distribuição primária e secundária e estações elevatórias.

O subsistema do Alqueva foi terminado em 2011 e encontra, atualmente, todas as albufeiras em exploração.

No subsistema do Ardila, as albufeiras de Pedrógão, Amoreira, Brinches, Enxoé e Lajes foram terminadas até ao ano 2008 e encontram-se em exploração. A construção das barragens de Caliços e de Pias deve terminar em 2016 e a de Furta-Galinhas em 2017. No entanto, a antecipação destes prazos foi anunciada recentemente.

O subsistema de Pedrógão ainda não apresenta nenhuma albufeira concluída. Desta forma apenas a barragem de Pedrógão disponibiliza água para o respetivo perímetro de rega deste subsistema. As barragens de Almeidas, Amendoeira e Magra só deverão entrar em exploração após a conclusão do subsistema Ardila. A albufeira de São Pedro estava prevista ser concluída no final do ano de 2012, mas a sua construção prolongou-se devido a atrasos.

O Quadro 4 apresenta as características das albufeiras no EFMA. A maioria dos dados foram obtidos na Carta EFMA (2013) e completados pela leitura de alguns relatórios não técnicos e pela consulta do site da Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens (CNPGB).

As curvas de área inundada e de volume de armazenamento das barragens de Álamos, Loureiro, Monte Novo, Alvito, Odivelas, Roxo, Pisão, Vale de Gaio e 5 Reis foram obtidas a partir do relatório (EDIA/COBA, s.d.). Para as restantes barragens, para as quais não existem curvas de área inundada, optou-se por assumir uma função linear entre a área inundada no nível mínimo de exploração (considerada igual a 80% da área de pleno armazenamento) e a área de pleno de armazenamento. As curvas de volume armazenado em falta foram estimadas adotando uma função linear e considerando que o volume mínimo de exploração é de 75% do volume em pleno armazenamento.

Quadro 4 - Características das infraestruturas de armazenamento

Subsistema	Ano conclusão	Albufeira	Curso de água	Volume total (hm <sup>3</sup> )	Volume útil (hm <sup>3</sup> )	APA (km <sup>2</sup> )	NPA (m)	NmE (m)	Concelhos abastecidos	Blocos de rega alimentados	Albufeiras a jusante
Alqueva	2002	Alqueva	Guadiana	4150	3150	250	152	135			Monte Novo, Álamos, Pedrógão
Alqueva	1981	Vigia	Degebe	17	15,6	2,6	224	199			Monte Novo
Alqueva	1982	Monte Novo	Degebe	15,3	14,8	2,77	196	171	Évora	Monte Novo	
Alqueva	2000	Álamos	Degebe	17,6	4,4	1,95	227,5	225,9			Loureiro
Alqueva	2000	Loureiro	Degebe	6,98	2,48	0,92	222	219		Monte Novo, Loureiro-Alvito	Alvito
Alqueva	1977	Alvito	Odivelas	132,5	130	14,8	197,5	172	Beja	Vale de Gaio, Alvito-Pisão, Beringel-Beja	Vale de Gaio, Odivelas, 5 Reis, Pisão
Alqueva	1949	Vale De Gaio	Xarrama	63	55	5,5	40,5	11		Vale de Gaio	
Alqueva	1972	Odivelas	Odivelas	96	70	9,73	103	91	Sines	Infra-estrutura12	
Alqueva	2011	5 Reis	Roxo	1,4	1,33	0,4	204	198		5 Reis-Trindade	Roxo
Alqueva	2007	Pisão	Alfundão	8,23	6,69	2,02	155	150		Pisão-Alfundão, Ferreira-Figueirinha-Valbom	Penedrão
Alqueva	2011	Penedrão	Alfundão	5,2	2,1	0,9	170	167			Roxo
Alqueva	1967	Roxo	Roxo	96,3	89,5	13,7	136	125		Roxo-Sado	
Ardila	2005	Pedrógão	Guadiana, Ardila	54	54	11	84,8	79		Pedrógão-Selmes	São Pedro, Brinches, Amoreira

Subsistema	Ano conclusão	Albufeira	Curso de água	Volume total (hm <sup>3</sup> )	Volume útil (hm <sup>3</sup> )	APA (km <sup>2</sup> )	NPA (m)	NmE (m)	Concelhos abastecidos	Blocos de rega alimentados	Albufeira a jusante
Ardila	2005	Amoreira	Amoreiras	10,7	9	1,49	135	125		Orada-Amoreira, Amoreira-Caliços	Caliços
Ardila	Em construção	Caliços	Amoreiras	0,84	0,6	0,24	193,5	190		Caliços-Moura, Caliços-Machado, Pias I	Furta-Galinhas, Pias, Brinches
Ardila	Por começar	Furta-Galinhas	Ardila	3,75	3	0,8	225	219			
Ardila	Em construção	Pias	Amoreiras	5,4	4,2	1,3	182,5	177,5		Pias II	Brinche
Ardila	2005	Brinches	Amoreiras	10,9	9,57	1,41	135	121,25		Brinches, Brinches-Enxoé I	Serpa, Enxoé, Laje
Ardila	1985 (modificada em 1998)	Enxoé	Enxoé	10,4	9,5	2,05	175	160,75			Serpa
Ardila	2008	Laje	Enxoé	4,17	3,37	0,67	177,5	170		Brinches-Enxoé II	Serpa
Ardila	2008	Serpa	Enxoé	10,2	9,92	1,52	123,5	105		Serpa	
Pedrógão	Por concluir	São Pedro	Odearca	10,83	10,16		142,5	131		São Matias I	Almeidas, Amendoeira
Pedrógão	Por começar	Almeidas	Odearca	0,54	0,5	0,1	193,3	190		São Matias II	
Pedrógão	Por começar	Amendoeira	Odearca	1	1	0,2	193	187,5		São Pedro-Baleizão I	Magra
Pedrógão	Por começar	Magra	Odearca	3	3	0,28	193	187,5		São Pedro-Baleizão II, Baleizão-Quintos	

### 2.3.2 Canais de adução e de rega e perímetros de rega

Os canais responsáveis pela adução e distribuição da água bruta podem ser classificados como adutores, canais distribuidores ou regadeiras, podendo ainda existir outros canais para situações mais específicas. Os canais adutores ligam-se com os canais distribuidores que por sua vez se ligam às regadeiras. As regadeiras distribuem a água pelo perímetro de rega através das bocas de regas.

A escala utilizada no presente trabalho apenas obriga ao conhecimento da rede canais adutores, não exigindo o conhecimento das suas características, nomeadamente da sua capacidade de transporte. Por essa razão essa informação não é aqui apresentada.

O Quadro 5 apresenta as características dos perímetros de rega para três cenários de estudo. O cenário 2012/2013 corresponde à exploração da maioria do subsistema do Alqueva e de parte do subsistema de Ardila. O cenário 1ª fase considera a exploração integral dos três subsistemas. Finalmente, o cenário 2ª fase, representa uma possível projeção dos objetivos do EFMA de acordo com um estudo que está a ser realizado pela EDIA.

As áreas indicadas para cada cultura estão distribuídas de acordo com estudos realizados pela EDIA, e apresentados na Carta do EFMA 2013. O bloco Roxo-Sado apresenta duas situações distintas: na situação 2012/2013 são regados 1176 ha de milho enquanto que na situação da 1ª fase são regadas as culturas definidas no quadro.

O cenário 2ª fase consiste numa amplificação do perímetro de rega de Monte Novo para 8975 ha e um novo perímetro de rega com 4000 ha designado de Degebe alimentado pela albufeira de Monte Novo. A amplificação da área de Monte Novo foi de modo a que as culturas apresentem-se as mesmas percentagens que no cenário 1ª fase (18% milho, 14% vinha e 68% de mix), já no Degebe a distribuição foi idêntica ao bloco Ardila (60% olival, 10% milho e 30% tomate).

Quadro 5 - Perímetros de Rega abastecidos pelo EFMA (ha)

Subsistema	Bloco	Curso de água	Área 2012/13 (ha)	Área 1ª fase (ha)	Área 2ª fase (ha)	Culturas no cenário 1ª fase			
						Olival	Milho	Vinha	Mix
Alqueva	Monte Novo <sup>1</sup>	Loureiro, Monte Novo	7875	-	1100	0	1415	1100	5360
Alqueva	Loureiro-Alvito	Loureiro	1100	-	-	0	550	400	150
Alqueva	Vale de Gaio	Vale de Gaio, Alvito	-	3939	-	0	1415	0	2524
Alqueva	Degebe	Monte Novo	-	-	4000	0	0	0	0
Alqueva	Infra-estrutura <sup>12</sup>	Odivelas	5645	-	-	5645	0	0	0
Alqueva	Alvito-Pisão	Alvito	9256	-	-	3114	0	3600	2542
Alqueva	Beringel-Beja	Alvito	-	5106	-	5106	0	0	0
Alqueva	Pisão-Alfundão	Pisão	6622	-	-	6622	0	0	0
Alqueva	Ferreira-Figueirinha-Valbom	Pisão	4943	-	-	4943	0	0	0
Alqueva	Ervidel	Penedrão	7896	-	-	0	1415	0	6481
Alqueva	5 Reis-Trindade	5 Reis	-	5615	-	0	1415	0	4200
Alqueva	Roxo-Sado <sup>2</sup>	Roxo	1176	4400	-	0	1420	0	4156
Área do subsistema do Alqueva			44513	63573	68073				
Ardila	Orada-Amoreira	Amoreira	2646	-	-	1588	265	0	794
Ardila	Amoreira-Caliços	Amoreira	-	2134	-	1280	213	0	640
Ardila	Caliços-Moura	Caliços	-	1530	-	918	153	0	459
Ardila	Caliços-Machado	Caliços, Furta Galinhas	-	4668	-	2801	467	0	1400
Ardila	Brinches I	Pedrógão	5506	-	-	3304	551	0	1652
Ardila	Brinches II	Brinches							
Ardila	Pias	Pias	-	4698	-	2819	470	0	1409
Ardila	Brinches-Enxoé I	Brinches	5114	-	-	3068	511	0	1534
Ardila	Brinches-Enxoé II	Enxoé, Lajes							
Ardila	Serpa	Serpa	4683	-	-	2810	468	0	1405
Área do subsistema do Ardila			17949	30979	30979				

<sup>1</sup> Área total 2ª fase do bloco Monte Novo 8975 ha

<sup>2</sup> Área total 1ª fase do bloco Roxo-Sado 5576 ha

Subsistema	Bloco	Curso de água	Área 2012/13 (ha)	Área 1ª fase (ha)	Área 2ª fase (ha)	Culturas no cenário 1ª fase			
						Olival	Milho	Vinha	Mix
Pedrogão	Pedrogão-Selmes	Pedrogão	4668	-	-	4668	0	0	0
Pedrogão	São Matias	São Pedro, Almeidas	-	5806	-	0	720	980	4106
Pedrogão	São Pedro Baleizão	Amendoeira	-	6035	-	4775	280	980	0
Pedrogão	Baleizão-Quintos	Magra	-	8005	-	4775	720	0	2510
Área do subsistema de Pedrogão			4668	24514	24514				
Área do EFMA			67131	119066	124166				

### **2.3.3 Esquema do modelo de simulação**

Este capítulo apresenta o esquema que foi inserido no WEAP com os respectivas afluências de cada curso de água de interesse, características das infraestruturas, perímetros de rega, consumos urbanos e caudas para fins ecológicos.

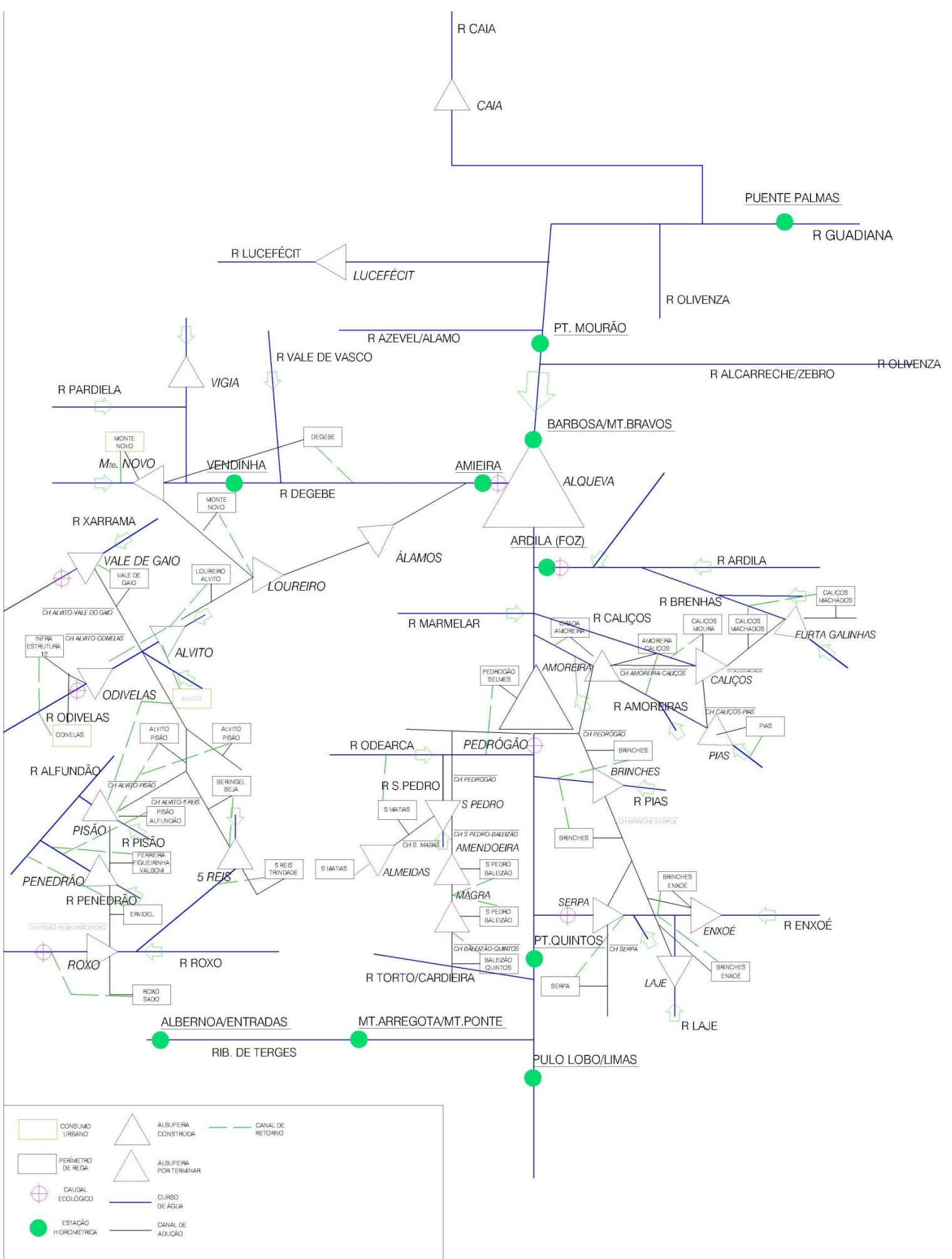


Figura 5 - Esquema do EFMA



## 2.4 Necessidades Hídricas

### 2.4.1 Necessidades para uso urbano

O EFMA satisfaz não só as necessidades dos perímetros de rega do baixo Alentejo como abastece também algumas populações próximas das suas infraestruturas, nomeadamente as populações de Évora e Beja. As necessidades para uso urbano foram estimadas por EDIA/COBA (s.d.) de acordo com as Estações de Tratamento de Água locais. O Quadro 6 representa o volume máximo captado em cada uma das albufeiras que abastecem centros urbanos.

Quadro 6 - Consumo urbano no Subsistema do Alqueva (dam<sup>3</sup>)

Mês	Volume máximo mensal Captado (dam <sup>3</sup> )		
	Monte Novo	Alvito	Odivelas
janeiro	818,4	260,4	440,5
fevereiro	765,6	243,6	437,2
março	818,4	260,4	487,0
abril	792,0	252,0	536,1
maio	818,4	260,4	461,4
junho	792,0	252,0	603,2
julho	818,4	260,4	560,8
agosto	818,4	460,4	544,4
setembro	792,0	252,0	583,9
outubro	818,4	260,4	538,2
novembro	792,0	250,0	499,3
dezembro	818,4	260,4	507,9
<b>Ano</b>	<b>9662,4</b>	<b>3272,4</b>	<b>6200</b>

### 2.4.2 Necessidades para uso agrícola

Os Quadros 7 e 8 apresentam um resumo da distribuição da área agrícola pelos três subsistemas e as dotações de rega de cada cultura.

Quadro 7 - Distribuição da área das culturas nos subsistemas (ha)

Cultura	Subsistema de Alqueva		Subsistema de Ardila		Subsistema de Pedrógão	
	Área	%	Área	%	Área	%
Olival	25430	40,0	18587	60,0	14218	58,0
Milho (humano/animal)	7630	12,0	3098	10,0	1720	7,0
Vinha	5100	8,0	0	0,0	1960	8,0
Girassol	25413	40,0	9294	30,0	6616	27,0
Tomate						
Melão						
<b>Total</b>	<b>63573</b>	<b>100,0</b>	<b>30979</b>	<b>100,0</b>	<b>24514</b>	<b>100,00</b>

Quadro 8 - Distribuição das dotações de rega nos subsistemas (mm)

Cultura	Dotação de Rega (mm)					
	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total
Olival	1	75	85	81	44	268
Milho	69	144	263	179	19	674
Vinha	15	95	131	108	38	387
Girassol	73	219	183	35	0	510
Tomate	67	96	173	163	6	505
Melão	68	157	214	51	0	490

O Quadro 9 representa as necessidades de rega estimadas para cada bloco e para os vários cenários, sendo possível identificar em que fase de desenvolvimento do EFMA cada bloco entra em exploração.

Assumiu-se que no cenário 2ª fase, o perímetro de rega de Monte Novo mantém a mesma distribuição de culturas do cenário 2012/2013 e, por isso, apresenta a mesma dotação média anual de rega (5166 m<sup>3</sup>/ha). No que respeita ao novo perímetro de rega do Degebe, que aparece no cenário 2ª fase, adotou-se a distribuição do Ardila (dotação média anual 3895 m<sup>3</sup>/ha).

No presente estudo não foram identificados as necessidades hídricas da Associação de Regantes e Beneficiários de Campilhas, da Associação de Regantes da Vigia e as necessidades de Vila Nova de Santo André. Apesar destas necessidades não serem consideradas, através do estudo conclui-se que o EFMA poderia satisfazer as necessidades.

Quadro 9 - Necessidades hídricas nos subsistemas (dam<sup>3</sup>)

Subsistema	Bloco	Cenário	Necessidade (dam <sup>3</sup> )					Necessidade 2012/13	Necessidade 1ª fase	Necessidade 2ª fase
			mai	jun	jul	ago	set			
Alqueva	Monte Novo	2012/13	4858	11516	15346	8170	794	181478	271382	292658
		2ª fase	5536	13126	17489	9310	904			
	Loureiro-Alvito	2012/13	544	1408	2256	1541	260			
	Vale de Gaio	1ª fase	2726	6009	8517	4628	319			
	Degebe	2ª fase	1133	4264	5372	3656	1154			
	Infra-estrutura12	2012/13	56	4234	4798	4572	2484			
	Alvito-Pisão	2012/13	2334	9755	12193	8520	2789			
	Beringel-Beja	1ª fase	51	3830	4340	4136	2247			
	Pisão-Alfundão	2012/13	66	4967	5629	5364	2914			
	Ferreira-Figueirinha-Valbom	2012/13	49	3707	4202	4004	2175			
	Ervidel	2012/13	5470	12234	16035	7912	398			
	5 Reis-Trindade	1ª fase	3888	8646	11701	6019	353			
Roxo-Sado	2012/13	811	1693	3093	2105	223	69991	120663	120663	
	1ª fase	3861	8584	11631	5991	353				
Ardila	Orada-Amoreira	2012/13	749	2821	3554	2418	765	69991	120663	120663
	Amoreira-Caliços	1ª fase	604	2275	2866	1950	617			
	Caliços-Moura	1ª fase	433	1631	2055	1398	442			
	Caliços-Machado	1ª fase	1321	4976	6269	4267	1349			
	Brinches I	2012/13	1558	5869	7395	5032	1591			
	Brinches II	2012/13								
	Pias	1ª fase	1330	5008	6309	4294	1358			
	Brinches-Enxoé I	2012/13	1447	5452	6868	4674	1478			
	Brinches-Enxoé II	2012/13								
Serpa	2012/13	1325	4992	6289	4280	1353				
Pedrógão	Pedrógão-Selmes	2012/13	47	3501	3968	3781	2054	13350	93032	93032
	São Matias	1ª fase	3491	8428	10979	5755	591			
	São Pedro Baleizão	1ª fase	388	4915	6079	5427	2527			
	Baleizão-Quintos	1ª fase	2285	8567	10721	7240	2288			
Necessidades totais do EFMA							264740	485077	506353	

## 2.5 Necessidades de água para fins ecológicos

As necessidades de água para fins ecológicos consistem num regime de caudal que assegure que os ecossistemas a jusante não sofrem impactes negativos consideráveis. O Quadro 10 apresenta os valores de caudal mínimo a garantir em cada mês a jusante de um conjunto de barragens. Assumiu-se que os valores de caudal ecológico a manter a jusante da barragem de Pedrógão são os determinados pelo Método de Texas, de acordo com os cálculos da comissão europeia em 1996 (Alves, 2003). Nos restantes casos considerou-se que o escoamento mensal para fins ecológicos correspondia a 15% da média das afluências mensais a cada barragem.

Quadro 10 – Necessidade ecológica dos cursos de água do sistema (m<sup>3</sup>/s)

Local	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Ano (m <sup>3</sup> /s)	Ano (hm <sup>3</sup> )
Pedrógão	3,00	5,00	10,00	12,00	18,00	19,00	10,00	7,00	4,00	3,00	2,00	2,00	7,90	<b>250,00</b>
Degebe	0,26	0,76	2,31	2,66	2,74	2,35	0,82	0,18	0,06	0,01	0,00	0,01	1,01	<b>31,92</b>
Ardila	0,60	17,38	4,54	5,98	5,61	4,52	1,97	0,65	0,34	0,09	0,05	0,10	3,49	<b>109,92</b>
Xarrama	0,13	0,40	1,20	1,39	1,43	1,22	0,43	0,09	0,03	0,01	0,00	0,00	0,53	<b>16,62</b>
Odivelas	0,08	0,23	0,70	0,81	0,83	0,71	0,25	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,31	<b>9,69</b>
Roxo	0,08	0,23	0,70	0,81	0,83	0,71	0,25	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,31	<b>9,71</b>
Enxoé	0,04	0,11	0,35	0,40	0,41	0,35	0,12	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15	<b>4,82</b>



## 3. Modelos de Simulação Matemática

### 3.1 Introdução

A simulação consiste na experimentação do funcionamento de um sistema de forma a obter uma avaliação do seu desempenho. A simulação matemática recorre a modelos computacionais para descrever o funcionamento de um sistema, por oposição à simulação física que faz uso de modelos físicos a uma escala reduzida. No domínio do planeamento e gestão dos recursos hídricos, a simulação matemática é de grande utilidade porque, regra geral, permite representar o funcionamento do sistema de forma bastante realista. A verificação de várias soluções alternativas permite identificar a solução mais adequada por um processo de tentativa e erro.

No domínio do planeamento e a gestão dos recursos hídricos, a simulação é aplicada nos seguintes tipos de estudos, entre outros:

- Pré-dimensionamento de infraestruturas;
- Avaliação da capacidade de satisfação das necessidades de água servidas por um aproveitamento hidráulico, tendo em conta uma determinada política de gestão;
- Definição de políticas de gestão de bacias hidrográficas de forma a assegurar a satisfação das necessidades de água, controlar a escassez de água ou conciliar usos conflitantes de água;
- Avaliação dos problemas de contaminação de águas superficiais ou subterrâneas por substâncias poluentes;
- Avaliação do risco de cheias.

Os modelos de simulação da operação de aproveitamentos hidráulicos permitem analisar os primeiros três tipos de questões. Estes modelos descrevem os sistemas de aproveitamentos hidráulicos como um conjunto de nós e arcos. Os primeiros representam sistemas de armazenamento de água (i.e. albufeiras ou aquíferos), secções de afluência de água, pontos de consumo, confluências de curso de ou derivações de água. Os arcos representam cursos de água, canais de adução e de distribuição de água, ou fluxos de retorno dos excedentes de consumo de água.

Os dados de entrada destes modelos incluem a identificação e caracterização das infraestruturas de armazenamento, de adução e de distribuição de água e dos locais de consumo de água, tais como centros urbanos, perímetros de rega e parques industriais. As afluências de água de cada secção com interesse e as necessidades de água são também dados de entrada do modelo. Os principais resultados deste tipo de modelos são os volumes de água armazenados ou transportados em cada infraestrutura ao longo do período de simulação e um conjunto de parâmetros que descrevem o desempenho do sistema, como o volume médio fornecido a cada utilização de água ou o número de falhas de abastecimento.

Os modelos matemáticos de simulação da operação de aproveitamentos hidráulicos podem distinguir-se pela forma como as regras de operação do sistema são definidas e pelo método computacional utilizado para calcular o balanço hídrico. As políticas de operação podem ser definidas por regras que definem cada decisão em função da água disponível (*supply driven rules*) ou por regras que definem os objetivos a atingir, deixando ao modelo a decisão sobre como os alcançar (*demand driven rules*) (Simões & Oliveira, 2010).

As regras *supply driven* são estabelecidas pelo utilizador de modo a satisfazer as necessidades de água em cada passo de cálculo. São aplicadas de montante para jusante e determinam como o balanço hídrico é realizado em cada nó e arco. Estas regras estão em função da água disponível em cada nó ou arco.

Em alternativa, os modelos com políticas *demand driven* incluem um sub-modelo de otimização que em cada passo de cálculo minimiza os desvios para um conjunto de metas predefinidas, por exemplo objetivos de fornecimento de água ou níveis ideais de armazenamento em albufeira. Em cada passo de cálculo o modelo

determina as descargas a realizar em cada albufeira e as atribuições de água a cada uso, de modo a tentar que estas metas sejam cumpridas. No modelo *demand driven* o fornecimento de água é influenciado pela procura de água.

A decisão sobre o tipo de modelo a utilizar é um passo importante num estudo de recursos hídricos que recorra à simulação matemática. Apesar de não existir um procedimento padrão, aplicável a todos os casos, para selecionar o modelo mais adequado, é possível sugerir os seguintes princípios (Loucks et al., 2005):

- Identificar o problema, a informação necessária e as questões que devem ser resolvidas;
- Usar o método mais simples que garante a resposta com um nível de precisão adequada;
- Selecionar o modelo consoante o problema, em vez de selecionar o problema consoante o modelo;
- Ponderar se um eventual aumento da precisão é justificado pelo esforço e aumento da recolha de dados;
- Ter em conta as premissas do modelo e não sobreavaliar os resultados da simulação.

A variedade de modelos matemáticos e das suas funcionalidades permite uma escolha consoante o tipo de problema.

## 3.2 Descrição de modelos

### 3.2.1 Mike HIDRO Basin

O *software* Mike HIDRO Basin foi desenvolvido pelo *Danish Hydraulics Institute* (DHI) para apoiar decisões de gestão e planeamento de recursos hídricos. O Mike HIDRO Basin é capaz de avaliar a capacidade de resposta das infraestruturas do sistema às necessidades de água, de estimar a qualidade de água nos cursos de água em função das descargas ou de derrames acidentais e de avaliar o risco de cheias. Inclui também módulos para realizar uma análise financeira do sistema. O *software* baseia-se na modelação através de SIG (DHI, 2011).

### 3.2.2 Aquatool

O Aquatool foi desenvolvido pelo Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente da Universitat Politècnica de València. É um sistema de suporte de decisão *demand driven* bastante utilizado em Espanha e na América do Sul. O *software* permite desenhar a configuração do sistema de recursos hídricos e introduzir os respetivos dados, tais como as características das infraestruturas e os critérios de operação. O Aquatool apresenta diversos módulos como: a simulação da gestão de recursos hídricos, a otimização de gestão de recursos hídricos e a simulação da qualidade das águas. O *software* inclui ainda um módulo de avaliação de riscos (UPValència, 2010).

### 3.2.3 IRAS 2010-Interactive River and Aquifer Simulation

O *software* IRAS 2010 resulta do desenvolvimento do programa IRAS da Universidade Cornell. Este modelo já foi utilizado para modelar a bacia hidrográfica do Guadiana em Portugal (Brandão & Rodrigues, 2000). O IRAS 2010 é um modelo *supply driven* que permite avaliar a capacidade de satisfação das necessidades de água. O *software* apresenta um módulo de qualidade da água.

### 3.2.4 WRAP- Water Rights Analysis Package

O WRAP é um programa que permite avaliar a capacidade de satisfação das necessidades hídricas. O *software* WRAP apresenta um modelo de produção hidroelétrica (IWA Water Wiki, 2011). O programa foi desenvolvido pela Texas Commission on Environmental Quality e apresenta como dificuldades certas restrições a nível do Sistema de Unidades.

### 3.2.5 RIBASIM- River Basin Planning and Management

O RIBASIM é um modelo desenvolvido pela Deltares que permite simular a bacia hidrográfica consoante um conjunto de políticas de gestão de infraestruturas definidas pelo utilizador. O *software* permite realizar estudos sobre a qualidade de água e de sedimentação ao longo curso de água e das albufeiras. O RIBASIM apresenta

uma interface três módulos: uma ferramenta de Sistemas de Informação Geográfica para esquematizar a bacia hidrográfica, uma secção de introdução de dados e uma outra para visualizar os resultados da simulação (Deltares, 2012).

### 3.2.6 WEAP- Water Evaluation and Planning

#### 3.2.6.1 Síntese

O WEAP foi desenvolvido pelo *Stockholm Environment Institute's U.S. Center* e é um *software* que auxilia o planeamento e a gestão de recursos hídricos. Este *software* permite calcular uma enorme gama de resultados, tal como os fluxos de água nos vários rios e canais, as perdas de água por infiltração, o armazenamento de água nas albufeiras e vários parâmetros de qualidade da água (WEAP, 2014). Um módulo de análise financeira permite realizar uma avaliação do custo-benefício do projeto. O WEAP é classificado como *demand driven* e opera com um passo de cálculo mensal. O WEAP apresenta uma estrutura com 5 componentes que organizam a especificação do sistema, a inserção dos dados e análise dos resultados em passos distintos. Estas componentes são: mapa esquemático, dados, resultados, explorador de cenários e notas.

O módulo dados disponibiliza o *Water Year Method* para gerar uma série de afluências no sistema quando não existem dados observados. Os anos hidrológicos são caracterizados em 5 tipos distintos: extremamente seco, seco, normal, húmido e extremamente húmido. O escoamento normal apresenta um coeficiente 1 e para definir os outros coeficientes basta adicionar ou retirar a diferença de escoamento que escoo anualmente, exemplificando-se o ano húmido apresenta mais 25% de escoamento, então o ano húmido apresenta um índice de 1,25. Este módulo não foi estudado na presente dissertação.

#### 3.2.6.2 Especificação do sistema a simular

Para definir o sistema a simular, o utilizador deve começar por definir o mapa esquemático da área de estudo através da ferramenta de informação geográfica. A criação do esquema do sistema a modular é efetuada através da utilização de certos elementos como, *transmissions links*, *return flows*, albufeiras, pontos de consumo, entre outros.

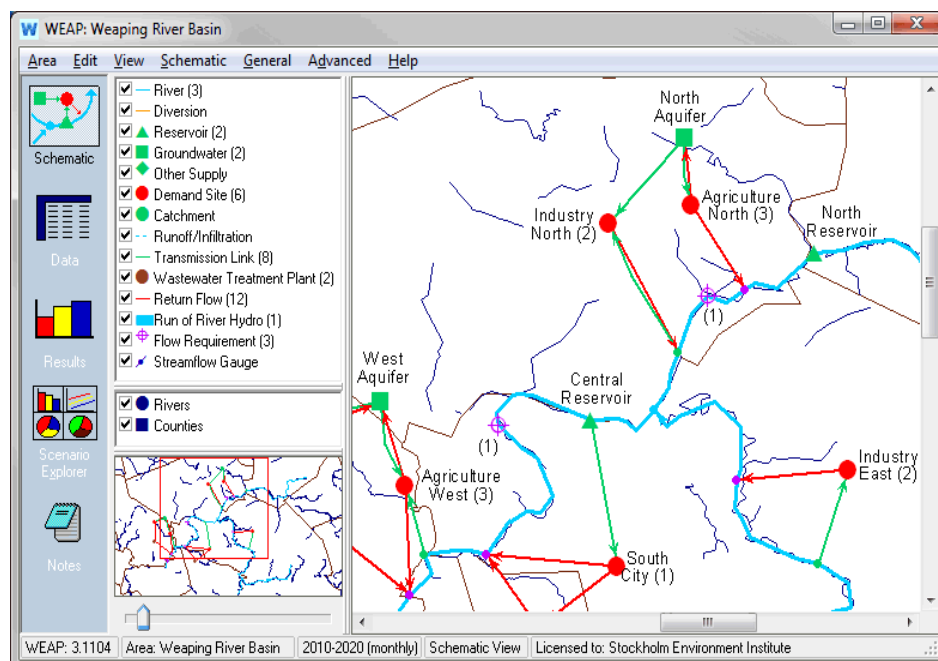


Figura 6 - Organização do *software* WEAP na secção esquemática

Após a criação do esquema do sistema de estudo, o utilizador deve aceder à componente de gestão de dados para inserir a informação necessária à simulação do sistema, tais como afluências, características das



infraestruturas (e.g. volume de pleno armazenamento área de pleno armazenamento), taxas de evaporação, necessidades de água, entre outras. É também nesta componente de gestão de dados que se definem as políticas de operação para cada cenário. A componente de gestão de dados permite, ainda, a importação e exportação de dados para formato *Excel* e a criação de expressões e funções para a definição de características.

O módulo para inserção de dados divide-se em cinco grupos: procura, oferta e recursos, hidrologia, qualidade de água e outros dados. Destes grupos destacam-se a procura onde se insere os dados relativos às necessidades dos pontos de consumo, e a oferta onde se define as afluências do sistema e as características das infraestruturas associadas aos cursos de água. Esta organização permite um controlo rápido entre os elementos e as suas relações.

### 3.2.6.3 Descrição das componentes

#### 3.2.6.3.1 Albufeiras

O WEAP permite definir alguns dos nós como albufeiras atribuindo-lhes capacidade de armazenamento de água e controlo de descargas para satisfação de algum ponto de consumo ou caudal ecológico. As albufeiras podem apresentar perdas por evaporação ou por infiltração. Estes valores são completados pelo utilizador, permitindo ao *software* estimar o balanço em cada albufeira. Esse cálculo é efetuado fazendo uso de uma curva de volume armazenado, fornecida pelo utilizador, a partir da qual o *software* calcula a área inundada. O cálculo da energia hidroelétrica necessita da definição de um caudal máximo da turbina e da altura da água a jusante da albufeira.

#### 3.2.6.3.2 Aquíferos subterrâneos

Os aquíferos armazenam a água proveniente de escoamentos naturais ou infiltrações provenientes de pontos de consumo, ETAR, *transmission link* e *return flows*. É possível utilizar os aquíferos para satisfazer as necessidades de rega.

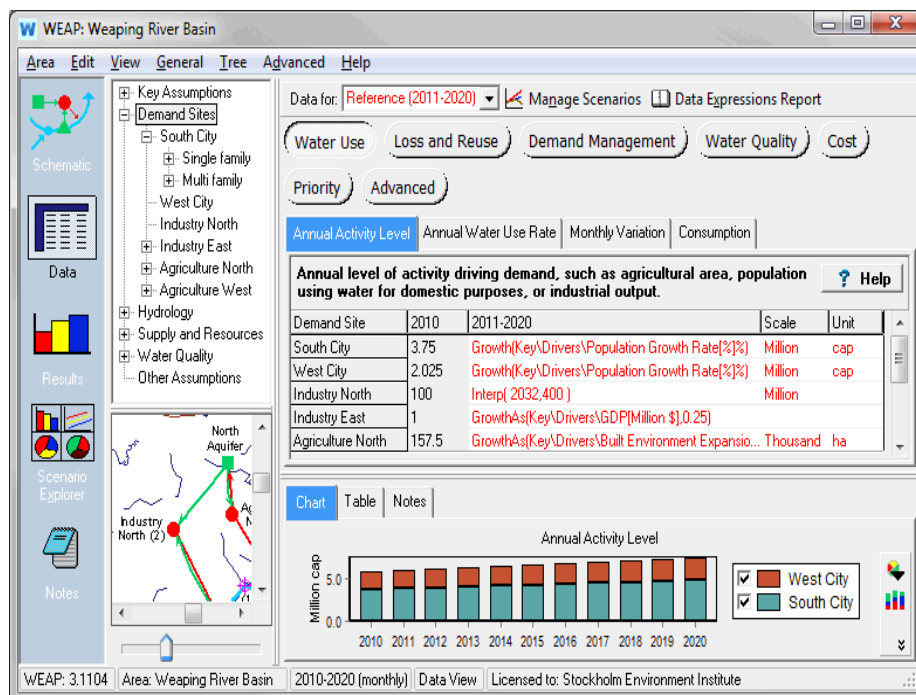


Figura 7 - Organização do *software* WEAP na secção dados

#### 3.2.6.3.3 Pontos de consumo

Os pontos de consumo são nós que têm associado uma necessidade de água a satisfazer. O WEAP permite definir essa necessidade como um valor total ou dividi-la em várias classes definidas pelo utilizador, como por

exemplo “máquinas de lavar”, “lavabos” ou “exterior”. Esta divisão por classes permite definir estratégias de redução do consumo de água. Nos pontos de consumo é possível estabelecer uma percentagem das necessidades de água que não é consumida, resultando num efluente do ponto de consumo. O utilizador pode inserir uma concentração de poluentes neste efluente.

#### 3.2.6.3.4 Transmission links e return flows

Os *transmission links* são canais que transportam água de albufeiras ou de aquíferos para novas albufeiras ou pontos de consumo. Por outro lado, os arcos designados por *return flow* redirecionam a água que não foi consumida nos pontos de consumo para a recursos superficiais ou ETAR. Nos *transmission links* e *return flows* é possível definir perdas do sistema e perdas por infiltração para aquíferos. Os *return flows* podem ainda apresentar ganhos por infiltração. Os poluentes gerados pelos pontos de consumo podem, caso o utilizador assim o deseje, apresentar um decaimento no *return flow*. O WEAP permite associar custos aos arcos.

#### 3.2.6.4 Definição de cenários

Um cenário é um conjunto de interações entre elementos, os seus dados, descrição do ambiente em redor, apresentando as respetivas relações e ações entre eles e os seus objetivos. Alguns sistemas poderão apresentar simplificações ou omissões (Glantz, 2001).

Na componente de gestão de dados é possível realizar a gestão de cenários. Cada cenário é definido pelo período de simulação, por um conjunto de afluências e por um conjunto de necessidades.

#### 3.2.6.5 Definição das regras de operação do sistema

A definição de prioridades permite estabelecer a ordem com que as necessidades de água são satisfeitas em cada passo de cálculo. A definição de prioridades é efetuada através atribuição de um valor entre 1 (mais prioritário) e 99 (menos prioritário), aos vários pontos de consumo, necessidades ecológicas e albufeiras. A atribuição de um valor baixo a uma albufeira favorece uma política de armazenamento de água face a uma política de satisfação de necessidades.

Este esquema de definição de prioridades apresenta algumas falhas que foram identificadas na simulação do cenário 2012/2013. Verificou-se a ocorrência de vários ciclos de água em certos locais no sistema, que foram resolvidos com a atribuição de um caudal ecológico fictício a jusante da área de estudo, com um requisito mensal igual ao valor máximo do escoamento mensal do rio Guadiana.

As prioridades estabelecidas para os cenários foram: consumo urbano e caudais ecológicos (reais) 1, *transmission links* e *return flows* apresentam as condições *standard* (1), o consumo agrícola 2, as albufeiras a prioridade 98 e o caudal ecológico fictício um valor de 99.

#### 3.2.6.6 Processos simulados e respetivos algoritmos

O WEAP permite calcular um balanço mensal de massa tanto da água como de poluentes, para cada nó e *link*. Os processos simulados seguem a seguinte ordem de cálculo:

##### 3.2.6.6.1 Procura anual e mensal dos pontos de consumo

As necessidades de um ponto de consumo são calculadas pela soma das necessidades das ramificações no nível inferior deste ponto de consumo. Quando a ramificação está no nível inferior, o elemento não apresenta mais ramificações.

$$Procura = \sum Nivel\ de\ atividade \times Taxa\ de\ utilização\ de\ água$$

A expressão anterior permite saber o cálculo da procura anual ou mensal, as suas unidades variam consoante a necessidade do utilizador.

### 3.2.6.6.2 Evapotranspiração, escoamento, infiltração e irrigação

Existem quatro possíveis métodos para simular os processos de evaporação, escoamento, infiltração e irrigação, sendo eles: *Irrigation Demands Only Method (FAO crop requirements)*, *Rainfall Runoff Method*, *Soil Moisture Method* e o *MABIA method*.

O *Irrigation Demand Only Method* utiliza os coeficientes dos campos para estimar o potencial da evapotranspiração, determinando de seguida a irrigação. Esta poderá necessitar de informações complementares.

O *Rainfall Runoff Method* determina a evapotranspiração dos campos irrigados e alimentados pela água das chuvas. A água das chuvas que não é consumida pela evapotranspiração é simulada como o escoamento de um rio, ou reencaminhada para um rio ou aquífero subterrâneo.

O método mais complexo é o *Soil Moisture Method*, que considera os diferentes tipos de solo, sendo necessário a caracterização da utilidade do tipo de solo e dos impactes associados. A simulação deste processo tem em conta uma evolução do solo e do escoamento.

O *MABIA Method* simula diariamente transpiração, evaporação, os requisitos de irrigação e a taxa de crescimento nos campos, apresentando módulos para estimar valores de referência de evapotranspiração e da capacidade de retenção de água de um solo.

### 3.2.6.6.3 Afluência e efluência

As aflúncias e efluências são calculadas por balanços de massa em cada nó e *link* após a contabilização dos consumos. A utilização de um programa linear permite maximizar a satisfação dos requisitos pelos pontos de consumo e geração de energia hidroelétrica, tendo sempre em conta as prioridades definidas pelo utilizador.

A quantidade num ponto de consumo é, no máximo, igual à soma do escoamento dos *transmissions links* associados.

$$\text{Ponto de consumo} = \sum \text{transmission links}_{inflow}$$

Já no *transmission link*, a seguinte expressão representa o balanço.

$$\text{Transmission link Outflow} = \text{Transmission link Inflow} - \text{Transmission link Loss}$$

O balanço de um rio pode ser definido:

$$\begin{aligned} \text{Escoamento}_{\text{abaixo do nó}} &= \text{Escoamento}_{\text{acima do nó}} + \text{Escoamento}_{\text{água superficial}} \\ &+ \text{Água subterrânea}_{\text{escorre para nó}} - \text{Água subterrânea}_{\text{escorre a partir do nó}} - \text{Evaporação} \end{aligned}$$

O *software* WEAP apresenta ainda algoritmos para ETAR, escoamento de águas subterrâneas e os *return flows* de componentes como ponto de consumo ou mesmo as ETAR.

### 3.2.6.6.4 Produção hidroelétrica

A geração hidroelétrica é calculada quando o caudal da água libertada de uma albufeira passa através de uma turbina. O caudal máximo da turbina é um fator limitante. Enquanto nas albufeiras, o afluente passa todo pela turbina, a água bombeada de uma albufeira para outra não é enviada através de turbinas.

$$\text{Queda} = \text{Escoamento}_{A \text{ jusante da barragem}}$$

$$\text{Volume}_{\text{Turbinado}} = \min(\text{queda}, \text{maxValor turbinado})$$

A expressão acima demonstra a influência que o caudal máximo da turbina tem no volume turbinado. É possível calcular a energia produzida através:

$$Energia_{mensal} = Volume_{Turbinado} \times fator\ de\ HidroGeração$$

#### 3.2.6.6.5 Custos benéficos económicos

Para cada elemento (ponto de consumo, ETAR, barragem e *transmission link*) introduzido no WEAP existe custos associados quer sejam capitais ou operacionais, variáveis ou fixos. Os custos capitais ou fixos são inseridos como custos anuais, enquanto os variáveis associam-se ao custo de unidade de água.

$$Custo_{Elemento} = Custo\ capital_{Elemento} + Custo\ Operação\ fixo_{Elemento} + Custo\ Operação\ variável_{Elemento}$$

$$Custo\ Operação\ variável_{Elemento} = Custo\ unidade_{Elemento} \times Escoamento_{Elemento}$$

#### 3.2.6.6.5 Ligação com o modelo MODFLOW

O MODFLOW é um modelo tridimensional criado pelo U.S. Geological Survey que permite simular o funcionamento de aquíferos subterrâneos,. Quando o WEAP e o MODFLOW estão interligados, os cálculos periódicos são transmitidos de um programa para o outro para se obter resultados. Este tipo de simulação permite estudar as relações da superfície com os aquíferos e vice-versa.

#### 3.2.6.6.6 Geração e transporte de poluentes

O WEAP permite simular os impactes de águas residuais vindas de pontos de consumo, utilizando as ETAR como elemento de tratamento. Os parâmetros considerados para definir a qualidade da água são OD (oxigénio dissolvido) e CBO (carência bioquímica de oxigénio), alguns constituintes que decaem e substâncias conservativas. Estes parâmetros não são modelados nas albufeiras.

Os poluentes são calculados nos pontos de consumo, ETAR, escoamentos ou aquíferos subterrâneos e escoam para os rios ou ETAR através de *return flows*, assumindo uma mistura completa dos escoamentos, calculando o decaimento a partir desse ponto. A expressão abaixo reflete a poluição gerada.

$$Poluição\ gerada_{Ponto\ consumo} = Escoamento\ fração_{Ponto\ consumo} \times Analise\ Mensal_{Ponto\ consumo}$$

Numa ETAR, o escoamento a tratar é dado pela poluição gerada pelos pontos de consumo e pela água superficial chega à estação.

$$Escoamento\ Afluyente_{ETAR} = \sum Poluição\ gerada_{Ponto\ consumo} + Escoamento\ superficial_{Afluyente}$$

#### 3.2.6.7 Avaliação do desempenho do sistema

Os indicadores de desempenho permitem avaliar a resistência e a sustentabilidade do sistema. O WEAP apresenta variados resultados, nos quais selecionou-se a garantia e a cobertura mensal para os pontos de consumo e caudais ecológicos (*flow requirement coverage*). A cobertura mensal não é representada nos resultados mas é essencial para a estimação de outros parâmetros.

##### 3.2.6.7.1 Garantia mensal

A garantia mensal consiste na percentagem dos meses em que as necessidades dos pontos de consumo são satisfeitas, ao longo do período simulado. Pode-se representar pela seguinte expressão:

$$Garantia = \frac{n^o\ meses\ sem\ falha\ de\ abastecimento}{n^o\ total\ de\ meses} \times 100$$

### 3.2.6.7.2 Cobertura mensal

A cobertura mensal define-se como a percentagem de água distribuída pelas necessidades do ponto de consumo:

$$Cobertura = \frac{Volume\ fornecido}{Necessidade\ de\ água} \times 100$$

### 3.2.6.7.3 Garantia e Cobertura de caudais ecológicos

À semelhança das expressões acima, é possível definir a garantia e a cobertura dos caudais ecológicos através:

$$Garantia = \frac{n^{\circ}\ meses\ sem\ falhas\ de\ abastecimento}{n^{\circ}total\ de\ meses} \times 100$$

$$Cobertura = \frac{Volume\ fornecido}{Necessidade\ de\ água} \times 100$$

### 3.2.6.7.4 Outros parâmetros de avaliação de desempenho

O WEAP apresenta uma vasta gama de resultados sobre necessidades, satisfação, não satisfação de pontos de consumo e diversos parâmetros dos recursos hídricos e barragens. Apesar disso, os seus indicadores de desempenho são limitados. Existe um défice de informação quando se fala em garantias, vulnerabilidades e resiliências e como tal, estimou-se vários parâmetros, descritos abaixo, para uma melhor análise da situação.

#### 3.2.6.7.4.1 Garantia Anual no ponto de consumo

No presente trabalho, apenas de maio a setembro existem necessidades hídricas agrícolas, resultando numa garantia mensal sempre elevada. Com este parâmetro é possível ter um nível de satisfação mais apropriado.

$$Garantia\ Anual = \frac{n^{\circ}\ anos\ sem\ falha}{n^{\circ}anos\ do\ período\ de\ simulação} \times 100$$

#### 3.2.6.7.4.2 Duração média de cada falha

Neste estudo considerou-se uma falha como o conjunto de meses consecutivos em que o abastecimento não foi satisfeito. Com base neste conceito é possível definir a duração média de cada falha como:

$$Duração\ média\ de\ cada\ falha = \frac{n^{\circ}\ de\ meses\ com\ falhas}{n^{\circ}\ de\ falhas}$$

#### 3.2.6.7.4.3 Volume médio em falta de cada falha

A expressão abaixo representa o cálculo do volume médio em falta:

$$Volume\ médio\ em\ falta = \frac{\sum Volume\ em\ falta\ cada\ falha}{n^{\circ}\ de\ falhas}$$

#### 3.2.6.7.4.4 Resiliência

A resiliência consiste na capacidade do sistema recuperar após uma falha. É representada pela seguinte expressão:

$$Resiliência = \frac{n^{\circ}\ de\ falhas\ com\ apenas\ um\ mês}{n^{\circ}\ de\ falhas} \times 100$$

## 4. Análise dos cenários simulados

### 4.1 Síntese dos cenários

Nesta dissertação selecionaram-se três cenários para estudo: i) o cenário 2012/2013; ii) o cenário 1ª fase; e iii) o cenário 2ª fase que resulta da expansão da área de regadio prevista para o cenário 1ª fase. O período de simulação utilizado para cada um dos cenários é o mesmo e corresponde a um período de 38 anos que decorre entre outubro de 1953 e setembro de 1990.

O cenário 2012/2013 considera as infraestruturas em funcionamento e as atuais necessidades de água. Neste cenário o subsistema Alqueva encontra todos os perímetros de rega em exploração à exceção de Vale de Gaio, de Beringel-Beja e parte de Roxo-Sado. O subsistema do Ardila possui os seguintes perímetros de rega ativos: Orada-Amoreira, Brinches, Brinches-Enxoé e Serpa. No subsistema de Pedrógão, a barragem de São Pedro é a única que se encontra em construção, como tal apenas o perímetro de rega de Pedrógão-Selmes encontra-se em exploração.

O cenário 1ª fase assume que todas as barragens previstas no projeto estão concluídas e em funcionamento e que todos os perímetros de rega estão em exploração.

O cenário 2ª fase apresenta uma expansão do subsistema Alqueva, de 1100 ha no perímetro de rega de Monte Novo e um novo perímetro de rega Degebe com 4000 ha, abastecido pela albufeira de Monte Novo.

Quadro 11 - Características gerais dos cenários

	Cenário 2012/13	Cenário 1ª fase	Cenário 2ª fase
Volume de Armazenamento (hm <sup>3</sup> )	4710	4735	4735
Área de rega do subsistema Alqueva (ha)	44513	63573	68073
Área de rega do subsistema Ardila (ha)	17949	30979	30979
Área de rega do subsistema Pedrógão (ha)	4668	24514	24514
Área total de rega do EFMA (ha)	67131	119066	124166
Necessidade agrícola do subsistema de Alqueva (hm <sup>3</sup> )	182	271	293
Necessidade agrícola do subsistema de Ardila (hm <sup>3</sup> )	70	121	121
Necessidade agrícola do subsistema de Pedrógão (hm <sup>3</sup> )	13	93	93
Necessidades agrícolas do EFMA (hm <sup>3</sup> )	265	485	507
Necessidade urbana do sistema (hm <sup>3</sup> )	19	19	19

O volume de armazenamento das albufeiras, áreas de rega e necessidades de água em operação em cada cenário estão apresentados no Quadro 11. Para as albufeiras às quais se desconhecia o volume morto adotou-se uma aproximação a partir da verificação do volume armazenado ao Nível mínimo de Exploração na curva de volume armazenado. Assumiu-se um volume de armazenamento inicial igual a metade do volume útil.

A taxa de evaporação mensal foi considerada igual para todas as albufeiras (Quadro 3).

Adotaram-se regimes de caudal ecológico a jusante de Pedrógão, do Degebe, do Ardila, do Xarrama, de Odivelas, do Roxo e de Enxoé (Quadro 10).

Como neste trabalho não se pretendia estudar o transporte nos canais de rega (*transmissions links*) e tendo em conta o intervalo de cálculo de um mês utilizado no estudo, o caudal transportado não foi limitado em nenhum destes elementos. Assumiu-se, no entanto, que ocorriam perdas em cada troço dos *transmissions links* e *return flows* no valor de 10%.

Nas três simulações realizadas considerou-se que 80% do consumo urbano e que 20% do consumo de rega regressava ao sistema através de um *return flow* para uma albufeira ou secção do rio a jusante do ponto de consumo. A percentagem de retorno dos perímetros de rega poderá ser excessiva tendo em conta as técnicas de rega utilizadas. Algumas culturas da região utilizam um sistema gota-a-gota que praticamente não gera escoamento superficial e outras utilizam um sistema de pivôts.

## 4.2 Resultados para o cenário 2012/2013

A simulação do cenário 2012/2013 permitiu validar o modelo e corrigir um conjunto de erros existentes nos primeiros ensaios do modelo. Após aplicar as regras de prioridades indicadas acima o programa apresentou resultados válidos. As necessidades urbanas e agrícolas são, respetivamente, 19 e 265 hm<sup>3</sup>. Abaixo encontramos um quadro que demonstra o balanço geral ao sistema.

Quadro 12 - Balanço ao sistema do Alqueva no cenário 2012/13 (hm<sup>3</sup>)

Entradas de água		Saídas de água	
<b>Afluências ao sistema</b>	<b>3415,7</b>	<b>Consumo do sistema</b>	<b>349,3</b>
Escoamento anual médio do rio Guadiana (montante de Alqueva)	2089,6	Acréscimo do volume armazenado anual médio nas albufeiras	65,4
Escoamento anual médio do rio Ardila (montante de Brenhas)	692,9	Consumo urbano anual médio	19,2
Escoamento anual médio do rio Degebe (montante de Monte Novo)	153,4	Consumo agrícola anual médio	264,7
Escoamento anual médio do rio Xarrama (montante de Vale de Gaio)	110	<b>Perdas do sistema</b>	<b>503,1</b>
Escoamentos anual médio dos restantes cursos de água	369,8	Evaporação anual média das albufeiras	354,9
<b>Retornos ao sistema</b>	<b>68,3</b>	Perdas anuais médias em <i>transmission links</i>	141,4
Retornos dos Consumos Urbanos	15,36	Perdas anuais médias em <i>return flows</i>	6,8
		<b>Escoamento para jusante</b>	<b>2631,6</b>
		Escoamento efluente calculado	2631,6
Retornos dos Perímetros de Rega	52,94	Escoamento anual médio para satisfação do regime ecológico	408,6
<b>Total</b>	<b>3484</b>	<b>Total</b>	<b>3484</b>

O balanço anual médio permite validar de uma forma simples e rápida a simulação realizada. O escoamento anual médio com um valor de 3416 hm<sup>3</sup> provém de todas as bacias hidrográficas que constituem as afluências ao EFMA. O escoamento efluente anual médio é a soma do escoamento nas secções de saída: Guadiana, Xarrama, Roxo, Odivelas e Alfundão. O sistema apresenta um escoamento efluente de 2632 hm<sup>3</sup> anuais, dos quais 2414 hm<sup>3</sup> escoam pelo rio Guadiana. Isto significa que cerca de 92% do escoamento efluente do sistema continua na região hidrográfica do Guadiana, enquanto os restantes 8% escoam-se pela região hidrográfica do Sado.

Os requisitos de caudais ecológicos apesar de não entrarem para o balanço, definem as necessidades mínimas dos ecossistemas.

O acréscimo do volume armazenado anual médio nas albufeiras é entendido como o aumento ou diminuição do volume armazenado anual, podendo ele ser positivo ou negativo, respectivamente. O acréscimo do volume armazenado nas albufeiras agrupou-se na secção consumo do sistema.

Quadro 13 - Parâmetros de avaliação ao cenário 2012/13

	Garantia mensal (%)	Garantia anual (%)	Cobertura média das necessidades satisfeitas (hm <sup>3</sup> /mês)	Duração média de cada falha	Volume médio de cada falha (hm <sup>3</sup> /falha)	Resiliência (%)
P.R. Monte Novo	100,0	100,0	3,4	-	-	-
P.R. Loureiro Alvito	100,0	100,0	0,5	-	-	-
P.R. Alvito Pisão	100,0	100,0	3,0	-	-	-
P.R. Pisão Alfundão	100,0	100,0	1,6	-	-	-
Infraestrutura 12	100,0	100,0	1,4	-	-	-
P.R. Ervidel	100,0	100,0	3,5	-	-	-
P.R. Ferreira	100,0	100,0	1,2	-	-	-
P.R. Roxo Sado	100,0	100,0	0,7	-	-	-
P.R. Orada Amoreira	100,0	100,0	0,9	-	-	-
P.R. Brinches	100,0	100,0	1,8	-	-	-
P.R. Brinches Enxoé	100,0	100,0	1,7	-	-	-
P.R. Serpa	100,0	100,0	1,5	-	-	-
P.R. Pedrógão-Selmes	100,0	100,0	1,1	-	-	-
C.U. Monte Novo	100,0	100,0	0,8	-	-	-
C.U. Odivelas	100,0	100,0	0,5	-	-	-
C.U. Alvito	100,0	100,0	0,3	-	-	-
C.E. a jusante de Degebe	100,0	100,0	2,7	-	-	-
C.E. a jusante de Xarrama	100,0	100,0	1,4	-	-	-
C.E. a jusante de Odivelas	100,0	100,0	0,8	-	-	-
C.E. a jusante de Roxo	100,0	100,0	0,8	-	-	-
C.E. a jusante de Ardila	73,5	21,1	7,3	2,7	17,5	44,4
C.E. a jusante de Pedrógão	100,0	100,0	20,7	-	-	-
C.E. a jusante de Enxoé	100,0	100,0	0,4	-	-	-



Analisando o Quadro 13 verifica-se rapidamente que a satisfação dos perímetros de rega e do consumo urbano é total, resultando assim, na ausência de qualquer falha ou volume por abastecer. A satisfação destas necessidades era esperada, já que na situação presente este abastecimento é realizado e a albufeira do Alqueva continua a apresentar valores próximos do volume máximo armazenado.

A necessidade de existir um caudal ecológico é uma preocupação natural, para limitar os impactes negativos. Todos os caudais ecológicos foram satisfeitos, à exceção do caudal ecológico a jusante do Ardila. O Rio Ardila, neste cenário, não apresenta qualquer albufeira em território português ou um *transmission link* associado a uma albufeira, desta forma ele fica exclusivamente influenciado pelo seu próprio escoamento. Apesar de este apresentar uma garantia mensal relativamente elevada, acima dos 73%, a sua garantia anual é bastante mais baixa, pouco acima dos 20%. Ao observar os restantes parâmetros é perceptível que cada falha apresenta uma duração média próxima de 3 meses e que a resiliência é de 44%. Com a conclusão da albufeira Furta-Galinhas, tanto o controlo do caudal ecológico como as necessidades agrícolas da 1ª e 2ª fase, serão facilitadas.

### 4.3 Resultados para o cenário 1ª fase

O cenário 1ª fase representa o abastecimento previsto pelos estudos da EDIA. Os quadros abaixo correspondem à previsão do balanço geral anual e os parâmetros de avaliação do presente cenário. As necessidades urbanas e agrícolas são, respetivamente, 19 e 485 hm<sup>3</sup> (Quadro 11).

O aparecimento do parâmetro descarga anual médio de albufeiras locais é estimado através do balanço entre o *inflow and outflow*, onde se retira *net evaporation and local reservoir outflow*, e *evaporation* para cada um dos reservatórios locais.

Quadro 14 - Balanço ao sistema do Alqueva no cenário 1ª fase (hm<sup>3</sup>)

Entradas de água		Saídas de água	
<b>Afluências ao sistema</b>	<b>3415,7</b>	<b>Consumo do sistema</b>	<b>559,7</b>
Escoamento anual médio do rio Guadiana (montante de Alqueva)	2089,6	Acréscimo do volume armazenado anual médio nas albufeiras	59,2
Escoamento anual médio do rio Ardila (montante de Brenhas)	692,9	Consumo urbano anual médio	18,8
Escoamento anual médio do rio Degebe (montante de Monte Novo)	153,4	Consumo agrícola anual médio	481,7
Escoamento anual médio do rio Xarrama (montante de Vale de Gaio)	110	<b>Perdas do sistema</b>	<b>579,1</b>
Escoamentos anual médio dos restantes cursos de água	369,8	Evaporação anual média das albufeiras	335,8
<b>Retornos ao sistema</b>	<b>111,4</b>	Descarga anual média de reservatórios locais	1
Retornos dos Consumos Urbanos	15,1	Perdas anuais médias em <i>transmission links</i>	231,2
		Perdas anuais médias em <i>return flows</i>	11,1
Retornos dos Perímetros de Rega	96,3	<b>Escoamento para jusante</b>	<b>2388,3</b>
		Escoamento efluente calculado	2388,3
		Escoamento anual médio para satisfação do regime ecológico	427,8
<b>Total</b>	<b>3527,1</b>	<b>Total</b>	<b>3527,1</b>

Quadro 15 - Parâmetros de avaliação ao cenário 1ª fase

	Garantia mensal (%)	Garantia anual (%)	Cobertura média das necessidades satisfeitas (hm <sup>3</sup> /mês)	Duração média de cada falha	Volume médio de cada falha (hm <sup>3</sup> /falha)	Resiliência (%)
P.R. Monte Novo	99,1	94,7	3,4	2,0	3,4	0,0
P.R. Loureiro Alvito	99,1	94,7	0,5	2,0	0,7	0,0
P.R. Alvito Pisão	99,1	94,7	2,9	2,0	5,5	0,0
P.R. Pisão Alfundão	99,1	94,7	1,6	2,0	4,6	0,0
Infraestrutura 12	99,1	94,7	1,3	2,0	3,9	0,0
P.R. Ervidel	99,1	94,7	3,5	2,0	2,9	0,0
P.R. Ferreira	99,1	94,7	1,2	2,0	3,4	0,0
P.R. Beringel Beja	99,1	94,7	1,2	2,0	3,5	0,0
P.R. Cinco Reis	99,1	94,7	2,5	2,0	2,2	0,0
P.R. Roxo Sado	99,1	94,7	2,5	2,0	2,2	0,0
P.R. Vale de Gaio	99,6	97,4	1,8	2,0	1,6	0,0
P.R. Orada Amoreira	99,1	94,7	0,9	2,0	1,5	0,0
P.R. Amoreira Caliços	99,1	94,7	0,7	2,0	1,2	0,0
P.R. Caliços Moura	99,1	94,7	0,5	2,0	0,9	0,0
P.R. Caliços Machado	99,1	94,7	1,5	2,0	2,7	0,0
P.R. Brinches	99,1	94,7	1,8	2,0	3,2	0,0
P.R. Pias	99,1	94,7	1,5	2,0	2,7	0,0
P.R. Brinches Enxoé	99,1	94,7	1,6	2,0	2,9	0,0
P.R. Serpa	99,1	94,7	1,5	2,0	2,7	0,0
P.R. Pedrógão-Selmes	99,1	94,7	1,1	2,0	3,2	0,0
P.R. São Matias	99,1	94,7	2,4	2,0	2,4	0,0
P.R. São Pedro Baleizão	99,1	94,7	1,6	2,0	4,2	0,0
P.R. Baleizão Quintos	99,1	94,7	2,6	2,0	4,6	0,0
C.U. Monte Novo	98,7	89,5	0,8	3,0	2,2	0,0
C.U. Odivelas	98,7	89,5	0,5	3,0	1,3	0,0
C.U. Alvito	98,7	89,5	0,3	3,0	0,6	0,0

	Garantia mensal (%)	Garantia anual (%)	Cobertura média das necessidades satisfeitas (hm <sup>3</sup> /mês)	Duração média de cada falha	Volume médio de cada falha (hm <sup>3</sup> /falha)	Resiliência (%)
C.E. a jusante de Degebe	98,9	89,5	2,6	1,7	1,6	33,3
C.E. a jusante de Xarrama	99,6	94,7	1,4	2,0	0,1	0,0
C.E. a jusante de Odivelas	98,7	89,5	0,8	3,0	0,9	0
C.E. a jusante do Roxo	99,1	92,1	0,8	1,3	0,2	66,6
C.E. a jusante do Ardila	98,9	89,5	9,1	1,7	2,8	33,3
C.E. a jusante de Pedrógão	98,9	89,5	20,6	1,7	14,1	33,3
C.E. a jusante de Enxoé	99,3	92,1	0,4	1,5	0,1	50,0

Analisando o Quadro 14 verifica-se que em relação às albufeiras, estas continuam a apresentar um acréscimo de volume armazenado positivo, ou seja, continuam a encher anualmente apesar de o valor ser inferior ao cenário 2012/13. A evaporação anual média apresenta-se mais baixa devido às albufeiras possuírem menor volume armazenado, resultando numa menor área inundada. Observa-se um aumento do consumo agrícola, que origina um aumento de perdas nos *transmission links* e nos *return flows*, através da transferência da água de albufeiras para albufeiras e pontos de consumo. Este aumento das necessidades de rega no sistema traduz-se numa influência direta e indireta da redução do escoamento efluente anual. A descarga anual média de reservatórios locais é realizado por Magra e Amendoeiras (Quadro 14) e é resultante de uma transferência excedente de albufeiras anteriores, visto que não se assumiu qualquer entrada de escoamento para reservatório locais.

O aumento do caudal ecológico é facilmente explicado pela satisfação das necessidades do caudal ecológico do Rio Ardila, que apresenta um aumento nas garantias, mensal e anual, para valores próximos dos outros.

Os perímetros de rega apresentam uma garantia anual de 94,7%, com duas falhas nos anos hidrológicos 1953 e 1982, à exceção de Vale de Gaio que apresenta uma garantia de 97,4% e uma falha no ano hidrológico 1982. O consumo urbano tem uma garantia anual de 90% e encontra duas falhas nos anos hidrológicos de 1953 e 1954 e 1982 e 1983. O fato de a resiliência nos pontos de consumo apresentar 0% indica que todas as falhas foram superiores a um mês.

A garantia do caudal ecológico a jusante do Xarrama é a mais alta e a sua necessidade por satisfazer é extremamente baixa, à semelhança de Vale de Gaio. Este resultado explica-se pelo elevado escoamento do rio Xarrama. A albufeira de Vale de Gaio recebe apenas 4 hm<sup>3</sup> anuais médios de Alvito, transferindo 15 hm<sup>3</sup> anuais médios para o perímetro de rega de Vale de Gaio. O caudal ecológico do Xarrama apresenta uma única falha, nos anos hidrológicos (1982 e 1983), Enxoé, Odivelas duas falhas (1953, 1954 e 1982) e os restantes três (1953, 1954, 1982 e 1983).

#### 4.4 Resultados para o cenário 2ª fase

Este cenário resulta na expansão do cenário 1ª fase. Abaixo encontram-se o balanço ao sistema e os parâmetros de avaliação para a presente simulação (Quadro 16 e Quadro 17). As necessidades urbanas e agrícolas são, respetivamente, 19 e 507 hm<sup>3</sup> (Quadro 11).

Quadro 16 - Balanço ao sistema do Alqueva no cenário 2ª fase em hm<sup>3</sup>

Entradas de água		Saídas de água	
<b>Afluências ao sistema</b>	<b>3415,7</b>	<b>Consumo do sistema</b>	<b>576,7</b>
Escoamento anual médio do rio Guadiana (montante de Alqueva)	2089,6	Acréscimo do volume armazenado anual médio nas albufeiras	58,5
Escoamento anual médio do rio Ardila (montante de Brenhas)	692,9	Consumo urbano anual médio	18,8
Escoamento anual médio do rio Degebe (montante de Monte Novo)	153,4	Consumo agrícola anual médio	499,4
Escoamento anual médio do rio Xarrama (montante de Vale de Gaio)	110	<b>Perdas do sistema</b>	<b>585,4</b>
Escoamentos anual médio dos restantes cursos de água	369,8	Evaporação anual média das albufeiras	333,9

<b>Retornos ao sistema</b>	<b>114,9</b>	Descarga anual média de reservatórios locais	1
Retornos através dos Consumos Urbanos	15,0	Perdas anuais médias em <i>transmission links</i>	239
		Perdas anuais médias em <i>return flows</i>	11,5
Retornos através dos Perímetros de Rega	99,88	<b>Escoamento para jusante</b>	<b>2368,5</b>
		Escoamento efluente calculado	2368,5
		Escoamento anual médio para satisfação do regime ecológico	427,7
<b>Total</b>	<b>3530,6</b>	<b>Total</b>	<b>3530,6</b>

Quadro 17 - Parâmetros de avaliação ao cenário 2ª fase

	Garantia mensal (%)	Garantia anual (%)	Cobertura média das necessidades satisfeitas (hm <sup>3</sup> /mês)	Duração média de cada falha	Volume médio de cada falha (hm <sup>3</sup> /falha)	Resiliência (%)
P.R. Monte Novo	98,6	94,7	3,8	2,5	9,5	0,0
P.R. Loureiro Alvito	98,6	94,7	0,5	2,5	1,6	0,0
P.R. Alvito Pisão	98,6	94,7	2,9	2,5	10,3	0,0
P.R. Pisão Alfundão	98,6	94,7	1,5	2,5	7,4	0,0
Infraestrutura 12	98,6	94,7	1,3	2,5	6,3	0,0
P.R. Ervidel	98,6	94,7	3,5	2,5	7,8	0,0
P.R. Ferreira	98,6	94,7	1,2	2,5	5,6	0,0
P.R. Beringel Beja	98,6	94,7	1,2	2,5	5,7	0,0
P.R. Cinco Reis	98,6	94,7	2,5	2,5	5,9	0,0
P.R. Roxo Sado	98,6	94,7	2,5	2,5	5,9	0,0
P.R. Vale de Gaio	99,2	97,4	1,8	3	6,5	0,0
P.R. Degebe	99,2	94,7	1,3	1,5	3	50,0
P.R. Orada Amoreira	98,6	94,7	0,8	2,5	2,9	0,0
P.R. Amoreira Caliços	98,6	94,7	0,7	2,5	2,3	0,0
P.R. Caliços Moura	98,6	94,7	0,5	2,5	1,7	0,0
P.R. Caliços Machado	98,6	94,7	1,5	2,5	5,1	0,0
P.R. Brinches	98,6	94,7	1,8	2,5	6	0,0
P.R. Pias	98,6	94,7	1,5	2,5	5,1	0,0
P.R. Brinches Enxoé	98,6	94,7	1,6	2,5	5,6	0,0
P.R. Serpa	98,6	94,7	1,5	2,5	5,1	0,0
P.R. Pedrógão-Selmes	98,6	94,7	1,1	2,5	5,2	0,0
P.R. São Matias	98,6	94,7	2,4	2,5	5,9	0,0
P.R. São Pedro Baleizão	98,6	94,7	1,6	2,5	7,1	0,0
P.R. Baleizão Quintos	98,6	94,7	2,6	2,5	8,7	0,0
C.U. Monte Novo	98	89,5	0,8	3,5	2,7	0,0
C.U. Odivelas	98	89,5	0,5	3,5	1,6	0,0
C.U. Alvito	98	89,5	0,3	3,5	0,9	0,0

	Garantia mensal (%)	Garantia anual (%)	Cobertura média das necessidades satisfeitas (hm <sup>3</sup> /mês)	Duração média de cada falha	Volume médio de cada falha (hm <sup>3</sup> /falha)	Resiliência (%)
C.E. a jusante de Degebe	98,7	89,5	2,6	2	1,6	33,3
C.E. a jusante de Xarrama	99,3	94,7	1,4	3	0,2	0,0
C.E. a jusante de Odivelas	98,5	89,5	0,8	3,5	0,9	0,0
C.E. a jusante do Roxo	98,7	89,5	0,8	2	0,4	33,3
C.E. a jusante do Ardila	98,7	89,5	9,1	2	2,8	33,3
C.E. a jusante de Pedrógão	98,7	89,5	20,6	2	16,1	33,3
C.E. a jusante de Enxoé	98,9	89,5	0,4	2,5	0,1	0,0

O balanço ao cenário 2ª fase (Quadro 16) evidencia o aumento do consumo agrícola para aproximadamente 500 hm<sup>3</sup>, resultando num aumento de perdas por *transmission links* e *return flows*, num decréscimo do volume armazenado nas albufeiras e da evaporação média mensal quando comparado com o cenário anterior. A descarga anual média de reservatórios locais apesar de permanecer com o mesmo valor, é realizada pelas albufeiras de Almeidas e Magra (Quadro 16). Esta descarga representa um desperdício do sistema. A redução do escoamento efluente é devido ao aumento do consumo agrícola.

As garantias anuais dos perímetros de rega (Quadro 17) baixaram ligeiramente em relação ao cenário 1ª fase, para 98,6%, Vale de Gaio e Degebe estão ligeiramente acima com 99,2%. Nesta simulação, o número de falhas continua a ser dois nos perímetros de rega (anos hidrológicos: 1953 e 1982), de Vale de Gaio e Degebe apresentam apenas uma (1982), e de duas para o consumo urbano (1953, 1954, 1982 e 1983).

O aumento da duração média de cada falha e o igual número de falhas dos dois cenários explicam o aumento do volume médio de cada falha. A ampliação de 1100 ha em Monte Novo resulta num aumento de 0,4 hm<sup>3</sup>/mês, 12% do consumo dos cenários anteriores.

Os caudais ecológicos apresentam um ligeiro decréscimo na garantia mensal, com o caudal ecológico a jusante do Xarrama a apresentar-se acima dos outros. À semelhança do sucedido com os perímetros de rega existe um aumento da duração média de cada falha e do volume média de cada falha, pelas mesmas razões. O número de falhas do caudal ecológico são as mesmas do cenário 1ª fase.



## 4.5 Volume armazenado na albufeira do Alqueva nos vários cenários

A Figura 8 demonstra o volume armazenado na albufeira do Alqueva para os três cenários simulados. Como as necessidades anuais para cada cenário são fixas, conclui-se o volume armazenado varia consoante o escoamento efluente. Os valores elevados de volume armazenado são influenciados por anos húmidos, enquanto os valores mais baixos por anos secos. Na Figura 8 são observáveis quatro períodos de seca: 1953-1955, 1957-1959, 1972-1976 e 1980-1986.

O cenário 2012/2013 permite à albufeira do Alqueva satisfazer as necessidades na totalidade sempre com um volume armazenado superior a  $1500 \text{ hm}^3$ . A diferença das necessidades anuais do cenário 2012/2013 para o cenário 1ª e 2ª fase são aproximadamente de 220 e de  $242 \text{ hm}^3$ , respetivamente. Esta variação obriga a albufeira do Alqueva a atingir valores de armazenamento mais baixos num menor período de tempo, quando comparando os cenários. A albufeira abastece o sistema sempre até atingir o seu volume morto ( $1000 \text{ hm}^3$ ). Os dois picos mais negativos da Figura 8 correspondem aos períodos de falha da distribuição de água. A albufeira pode apresentar valores ligeiramente inferiores ao volume morto devido à contínua evaporação mensal.

Os últimos sete meses da série de aflúncias do Alqueva (fevereiro a setembro de 1990) correspondem ao enchimento da albufeira La Serena, podendo existir um decréscimo proveniente do afluente de Espanha.

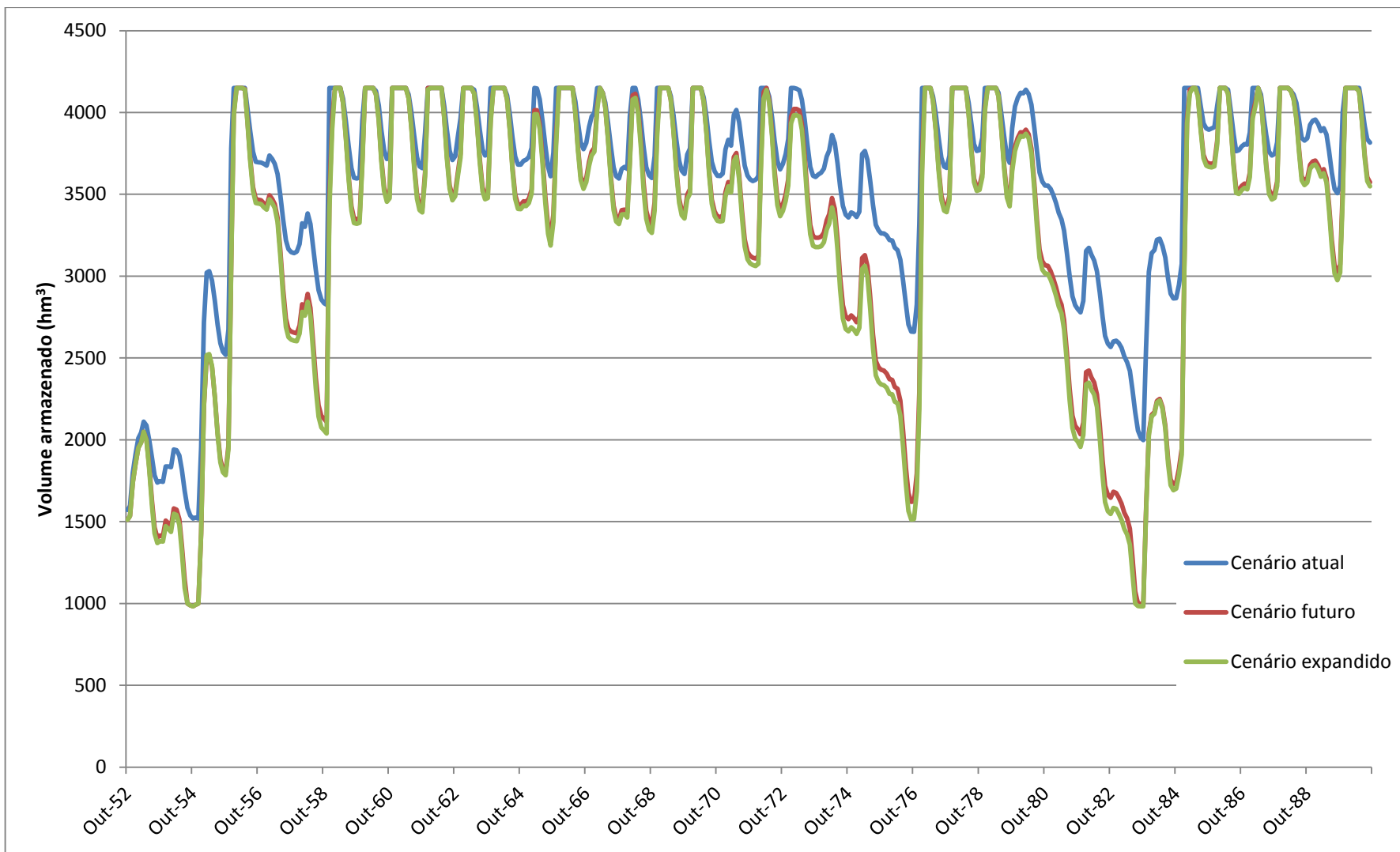


Figura 8 - Volume armazenado na Albufeira do Alqueva para os cenários de estudo

## 4.6 Correções necessárias para a modelação e avaliação do desempenho de WEAP

Durante o período de simulação encontrou-se diversos problemas que exigiram diversas interpretações e experiências para confirmação de resultados. Inicialmente estabeleceu-se que as prioridades de consumo urbano e caudal ecológico eram 1, os perímetros de rega 2 e as albufeiras apresentavam valor 99. Ao simular observou-se várias zonas onde ocorriam ciclos de fluxo de água como representado na Figura 9.

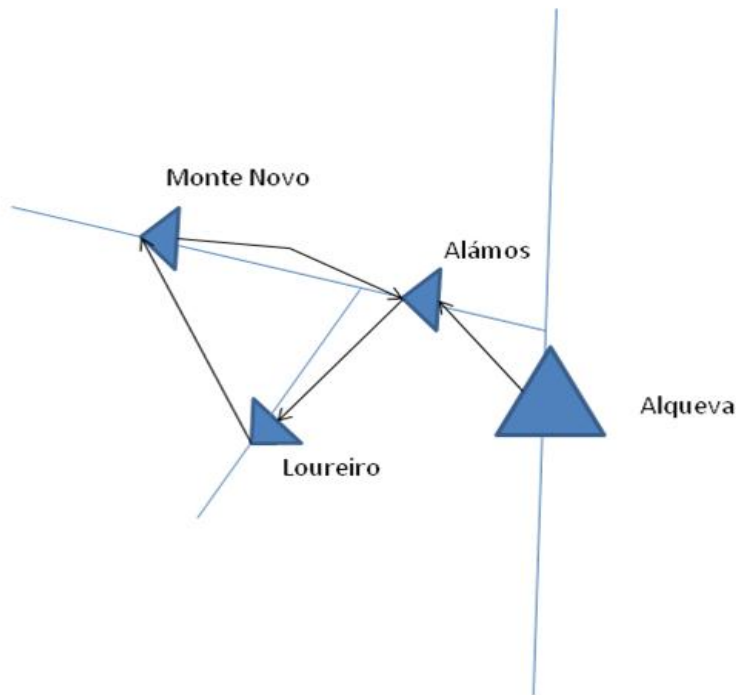


Figura 9 - Looping no subsistema de Alqueva

Este ciclo capta água na albufeira do Alqueva e encaminha para as albufeiras de Alámos, Loureiro e Monte Novo, onde é descarregada de novo para Alámos. Neste ciclo contínuo a água atravessava as albufeiras de Alámos, Loureiro e Monte Novo. Várias hipóteses para corrigir a falha foram estabelecidas.

A primeira etapa foi manter as prioridades e limitar o caudal máximo dos *transmissions links* de modo a satisfazer apenas as necessidades agrícolas e urbanas em todos os pontos de consumo que derivavam do canal. Esta limitação foi insuficiente, pois em longos períodos de seca nem os caudais ecológicos nem os perímetros de rega eram satisfeitos. As falhas no sistema eram agravadas durante os meses de inverno, pois os valores do caudal ecológico eram superiores (relembra-se que o caudal ecológico mensal é 15% do escoamento mensal do afluente).

A segunda hipótese foi associar um custo por metro cúbico nos *transmissions links* onde ocorriam os loopings. Infelizmente o cálculo dos preços é posterior ao cálculo da distribuição de água, resultando apenas numa estimação enorme de custos para a água gerada. Era esperado que a avaliação financeira otimizasse a distribuição de água, tendo as necessidades como prioridade e depois o custo/benefício da água transportada.

Um terceiro passo foi a alteração das prioridades das albufeiras para Alqueva (98), Pedrógão (98) e restantes (99). Estas variações resultaram apenas na variação dos volumes armazenados, onde Alqueva e Pedrógão encheram facilmente e as outras albufeiras apresentaram-se praticamente sempre vazias, não resolvendo o problema do looping.

O problema foi resolvido com a inserção de um caudal ecológico fictício, com uma prioridade 99, e alteração da prioridade das albufeiras para 98. O caudal ecológico fictício apresenta um valor equivalente ao escoamento máximo mensal do rio Guadiana. Desta forma as prioridades da simulação eram, por ordem de importância: necessidades urbanas e caudais ecológicos, necessidades agrícolas, albufeiras e caudal ecológico fictício.

O WEAP necessitará de uma revisão nas equações mãe para que se consiga resolver o problema do ciclo. Caso a função de custos fosse utilizada para otimização da distribuição de água, esta dificuldade seria ultrapassada com aplicação de um custo por metro cúbico no *transmission link*, no entanto esta não seria a resolução adequada.

O fato do WEAP não requerer a curva de área inundada por cota e da utilização do volume armazenado sobre a cota, implica uma aproximação da área inundada a uma determinada cota. Através das cotas médias mensais da albufeira do Alqueva estimadas pelo WEAP, calculou-se a área inundada média mensal esperada e a evaporação média anual. Verificou-se que ambas as evaporações apresentavam a mesma ordem de grandeza.

Na secção dos resultados o balanço geral às albufeiras apresenta-se confuso, não sendo possível selecionar apenas parâmetros só de entrada ou só de saída, como perdas ou ganhos por albufeiras, ou entradas para ponto de consumo. A ausência de designação dos afluentes é outro parâmetro pouco claro, pois neste balanço os afluentes são designado apenas por *inflow from upstream*. No balanço às albufeiras locais o parâmetro *net evaporation and local reservoir overflow* poderia estar separado.

O modelo WEAP, tal como referido no subcapítulo *Outros parâmetros de avaliação de desempenho*, poderia apresentar mais indicadores de desempenho como a garantia anual, resiliência, número de falhas, duração média de cada falha e volume médio em falha.

## 5. Conclusões

A importância de satisfazer as necessidades hídricas urbanas e agrícolas permite tanto às populações cumprirem as atividades do dia-a-dia com normalidade, como a produção de produtos. Como tal é necessário realizar estudos para prever a frequência de falhas e volumes em falha, entre outros.

A presente dissertação tem como objetivo avaliar a capacidade de satisfação das necessidades de água abastecidas pela EDIA e o modelo de apoio ao planeamento e gestão de recursos hídricos, o WEAP. O estudo do programa WEAP apresentou limitações, pois não se explorou a qualidade de água e *Water Year Method*.

A albufeira do Alqueva pertence à EDIA e é a principal responsável pelo abastecimento urbano e agrícola da zona. A exploração está dividida em três subsistemas Alqueva, Ardila e Pedrógão. Na dissertação simulou-se três cenários: o cenário 2012/2013, que corresponde à exploração de quase todo o subsistema do Alqueva e parte do de Ardila, o cenário 1ª fase, que corresponde à exploração dos três subsistemas e o cenário 2ª fase, que corresponde a uma expansão do anterior.

Os principais resultados obtidos foram a satisfação total das necessidades hídricas para as condições atuais e uma garantia sempre superior a 98% para os cenários 1ª e 2ª fase, com as falhas a apresentarem a duração máxima média de 2,5 meses. A quantidade de falhas nos cenários 1ª e 2ª fase foi sempre baixa, implicando que a resiliência se encontre quase sempre nos 0%, nos pontos de consumo e abaixo dos 40% nos caudais ecológicos.

Nas condições atuais a albufeira do Alqueva apresenta praticamente um volume médio de 3600 hm<sup>3</sup>, chegando ao armazenamento mínimo de 1500 hm<sup>3</sup>. Com um aumento de cerca 240hm<sup>3</sup> das necessidades agrícolas, o volume médio passa a 3200 hm<sup>3</sup> e um volume mínimo de 1000 hm<sup>3</sup>, correspondente ao volume morto.

O modelo WEAP apresenta um *design* e uma maneira simples de criar o cenário de estudo. A possibilidade de desramificar os vários elementos e a organização entre a oferta, hidrologia, procura e recursos e qualidade de água permite a introdução de dados de forma intuitiva. A disposição de resultados e a opção dos parâmetros é positiva.

No cálculo das áreas das bacias hidrográficas contabilizou-se as áreas inundadas das albufeiras, podendo o erro ser mais influenciável na bacia do Alqueva e em áreas de influência pequena, como Loureiro e Pisão. A aproximação realizada no cálculo do escoamento (mm) na área de estudo poderá apresentar alguma sobrestimação em certos locais.

O modelo WEAP apresenta algumas críticas negativas, algumas delas que são facilmente resolvidas através da definição de certos parâmetros ou separação destes. No entanto, o problema do ciclo implicará uma revisão nas expressões e regras do modelo. Este problema cria uma geração de água. A resolução através da aplicação de um custo por metro cúbico seria uma correção momentânea para que não existisse interrupção da utilização do programa.



## 6. Bibliografia

- EDIA (2013). Características de temperaturas e precipitações médias anuais.  
(obtido no site <http://www.alqueva.com.pt/pt/oportunidades/potencial-productivo/6>, consultado em junho de 2014)
- Alves, M.H. & Bernardo, J.M. (eds) (2003). Caudais ecológicos em Portugal. INAG. Lisboa.
- Brandão, C., Rodrigues, R. (2000), Hydrological simulation of the international catchment of Guadiana River, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 25(3):329-339.
- CNPGB (n.d). Características das barragens de Portugal.  
(obtido no site [http://cnpqb.inag.pt/gr\\_barragens/gbportugal/](http://cnpqb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/), consultado em janeiro de 2014)
- Deltares (2012). RIBASIM- River Basin Planning and Management.  
(obtido no site <http://www.deltares.nl/en/software/101928/ribasim>, consultado em fevereiro de 2014)
- DHI (2011). Mike BASIN- integrated river basin planning.  
(obtido no site <http://mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKEBASIN.aspx>, consultado em fevereiro de 2014)
- EDIA & COBA (n.d.). Modelo de simulação e Optimização do Funcionamento do Subsistema do Alqueva.
- EDIA (2013). Características de albufeiras e perímetros de rega na região do Alqueva.  
(obtido no site [http://sigims.edia.pt/alqueva\\_storymap/](http://sigims.edia.pt/alqueva_storymap/), consultado em março de 2014)
- EDIA (2004). Estudo de impacte ambiental da barragem do Pisão.
- EDIA (2006). Estudo de impacte ambiental dos blocos de rega Alvito-Pisão.
- EDIA (2002). Barragem dos Álamos e ligações associadas.
- EDIA (2011). Projeto de excecção e estudo de impacte ambiental dos blocos de rega de Beringel-Beja.
- EDIA & COBA (2010). Blocos de rega de Ervidel.
- EDP (1988). Escalão de Alqueva. Projecto. Estudo das disponibilidades hídricas. Electricidade de Portugal.
- Glantz, M. (2000). Improving the quality of requirements with scenarios.
- INAG & COBA (1985). Recursos hídricos do rio Guadiana e sua utilização. Instituto da Água & COBA consultores. Lisboa.
- IWA Water Wiki (2011). Water Rights Analysis Package (WRAP)  
(obtido no site <http://www.iwaterwiki.org/xwiki/bin/view/Articles/WaterRightsAnalysisPackageWRAP> consultado em fevereiro de 2014)
- Loucks, D. P., van Beek, E., Stedinger, J. R., Dijkman, J. P. M., & Villars, M. T. (2005). *Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications*. Paris : UNESCO.
- Oliveira, R. (1994). *Simulação do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva*. Lisboa.
- Prado & Paulo (n.d.). Automatização do canal Loureiro Monte Novo
- Simões, J., & Oliveira, R. (2010). Modelos de gestão de bacias hidrográficas: o desempenho dos modelos IRAS-2010 e AQUATOOL na simulação do aproveitamento hidroagrícola do Vale do Sorraia.

SNIRH (2013). Shapefiles da RH7 e RH6.

(obtido no site <http://geo.snirh.pt/AtlasAgua/#>, consultado em janeiro de 2014)

Universitat Politècnica de València (2010). Proyecto Aquatool.

(obtido no site <http://www.upv.es/aquatool/>, consultado em fevereiro de 2014)

WEAP (2014). Características do modelo WEAP- Water Evaluation And Planning.

(obtido no site <http://www.weap21.org/index.asp?action=202>, consultado em fevereiro de 2014)