



Ricardo André Costa Luís

IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM SISTEMAS HÍDRICOS COM MÚLTIPLOS USOS

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE IN MULTIPURPOSE WATER SYSTEMS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente,
orientada pelo Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e pela Professora Doutora Maria da Conceição Morais de Oliveira Cunha

Coimbra, 5 de setembro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



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

Ricardo André Costa Luís

IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM SISTEMAS HÍDRICOS COM MÚLTIPLOS USOS

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE IN MULTIPURPOSE WATER SYSTEMS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente,
orientada pelo Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e pela Professora Doutora Maria da Conceição Morais de Oliveira Cunha

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, declina qualquer
responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 5 de setembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação marca o culminar da minha vida académica, o fim de um ciclo e o começo de outro ainda maior. Por isso quero aqui expressar os meus agradecimentos a todos os que fizeram parte não só deste trabalho, mas também do meu percurso pessoal e académico.

Em primeiro lugar queria agradecer aos meus orientadores, ao Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e à Professora Doutora Maria da Conceição Morais de Oliveira Cunha, não só pelo apoio, simpatia, disponibilidade e incentivo prestado, mas também pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Civil e aos professores que me deram aulas ao longo do curso.

Aos engenheiros Ana Sofia Nunes e Paulo Cruz da Agência Portuguesa do Ambiente, à engenheira Helena Lucas da empresa Águas do Algarve e ao engenheiro João Sabo da Associação de Beneficiários do Plano de Rega do Sotavento do Algarve, pela colaboração prestada e na cedência de informação para a realização do estudo de caso.

À equipa do Aquatool da Universidade Politécnica de Valência pela disponibilização da licença e apoio prestado.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, Vitalino, Helena e João, por todo o apoio e incentivo. Sem eles, nunca teria conseguido ser o que sou hoje.

À Cláudia, por toda a compreensão nos momentos mais difíceis, pelo carinho e pela paciência. Sem ti não era a mesma coisa.

Aos meus colegas e amigos, bem como aos do Mestrado Integrado Engenharia do Ambiente, pelo apoio, compreensão e momentos passados ao longo destes anos.

RESUMO

As alterações climáticas têm vários impactos em diversos setores, nomeadamente na gestão de recursos hídricos. Neste trabalho, pretendeu-se estudar os impactos das alterações climáticas no empreendimento de fins múltiplos de Odeleite – Beliche, recorrendo a modelos climáticos regionais combinados com modelos climáticos globais e simulando o desempenho do sistema hídrico com um modelo de apoio à decisão. Em maior detalhe, a metodologia aplicada para avaliação dos impactos das alterações climáticas no empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche envolveu: a seleção dos cenários climáticos mais adequados para os períodos futuros 2021/2050 e 2071/2100; a correção dos desvios referentes às diferenças entre valores observados e modelados para o período de referência; a aplicação de um modelo hidrológico para estimação das afluências naturais; a simulação do funcionamento do empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche num sistema de apoio à decisão (AQUATOOL+); e a análise ao desempenho recorrendo a um conjunto de indicadores da literatura. Foram ainda considerados cinco casos diferentes (variando as prioridades atribuídas às utilizações para satisfação da procura e/ou as próprias necessidades de água): utilizações e caudais ecológicos com igual prioridade; caudais ecológicos com prioridade superior às utilizações; redução no abastecimento público; redução na rega e; por fim, redução no abastecimento público e na rega. Os resultados mostram alguma variabilidade no desempenho do sistema com os modelos regionais e globais utilizados, a evolução das concentrações de gases de efeito de estufa na atmosfera e métodos de correção de desvios aplicados. Os resultados mais gravosos obtiveram-se para o cenário em que as concentrações de gases de efeito de estufa continuam a aumentar até ao fim do século. Contudo, os resultados também indicam que se for possível reduzir os níveis de procura (i.e., necessidades de água) para o abastecimento público e/ou rega o desempenho do sistema pode não ser tão atingido.

Palavras-chave: Modelos climáticos, método Delta Change, método Direct Forcing, método Quantile Mapping, modelo de Temez, AQUATOOL+, empreendimento de fins múltiplos de Odeleite–Beliche.

ABSTRACT

Climate change has impacts in various sectors, including water resource management. This work studies the impacts of climate change in the multipurpose system of Odeleite - Beliche using regional climate models combined with global climate models and simulating the performance of the water system with a decision support system. In more detail, the methodology applied to evaluate the impacts of climate change in the multipurpose system of Odeleite-Beliche included: the selection of the most appropriate climate scenarios for the periods 2021/2050 and 2071/2100; the correction of the deviations/bias referring to the differences between observed and modeled values for the reference period; the application of a hydrological model to estimate natural inflows; simulation the operation of the multipurpose system Odeleite-Beliche using a decision support system (AQUATOOL +); and the performance analysis using a set of indicators available in the literature. There were also five different cases (varying the priorities attributed to the uses to satisfy the demand and/or the own water needs): demands and ecological flows with equal priority; ecological flows with a higher priority than the demands; reduction in the public water supply; reduction in irrigation and; finally, reduction in public water supply and irrigation. The results show some variability in the performance of the system with the regional and global models, the future climate scenarios and with the bias correction methods. The worst results were obtained for the scenario in which the greenhouse gas concentrations continue to increase until the end of the century. However, the results also indicate that the performance of the system may not be so affected if it is possible to reduce the demand (i.e.; water requirements) for public water supply and/or irrigation.

Keywords: Climatic models, Delta Change method, Direct Forcing method, Quantile Mapping method, Temez model, AQUATOOL +, multipurpose system Odeleite-Beliche.

ÍNDICE

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos do trabalho.....	2
1.3	Estrutura do trabalho.....	4
2	Cenários climáticos	5
2.1	Introdução	5
2.2	Cenários de emissões	6
2.3	Modelos globais e regionais de clima.....	10
2.4	Métodos de correção	11
2.4.1	Método Direct Forcing	12
2.4.2	Método Delta Change	12
2.4.3	Método Quantile Mapping	13
3	Modelação de sistemas hídricos.....	15
3.1	Conceitos de sistemas e de modelos	15
3.2	Modelos de decisão para sistemas hídricos à escala da bacia hidrográfica	16
3.3	Indicadores de desempenho	17
3.3.1	Fiabilidade	19
3.3.2	Resiliência	19
3.3.3	Vulnerabilidade	20
4	Estudo de caso.....	22
4.1	Caraterização do empreendimento de fins múltiplos Odeleite-Beliche.....	22
4.2	Cenários	24
4.3	Dados de base de precipitação e temperatura	25
4.4	Métodos de correção	27

4.5	Modelação hidrológica	28
4.6	Simulação do EFM-OB	29
4.7	Resultados e discussão	32
4.7.1	Desempenho do sistema para a situação de referência.....	32
4.7.2	Cenários de Precipitação	33
4.7.3	Cenários de Temperatura.....	37
4.7.4	Caso 1 – igual prioridades entre utilizações e caudais ecológicos	38
4.7.5	Caso 2 - caudais ecológicos com uma prioridade superior às utilizações	45
4.7.6	Caso 3 – redução no abastecimento público.....	49
4.7.7	Caso 4 – redução na rega	53
4.7.8	Caso 5 – redução no abastecimento público e na rega	58
5	Conclusões e trabalhos futuros.....	63
5.1	Conclusões	63
5.2	Trabalhos futuros	66
	Referências bibliográficas	67
	Anexo A – Modelo hidrológico de Temez	A-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Processo genérico de avaliação do impacte das alterações climáticas no setor dos recursos hídricos (adaptado de Simonovic, 2017).....	2
Figura 1.2 – Representação esquemática da metodologia.....	3
Figura 2.1 – Alterações na temperatura e precipitação no globo nos respetivos períodos indicados (adaptado de IPCC, 2014).	5
Figura 2.2 – Efeito de estufa (Wada, 2006).....	6
Figura 2.3 – Variação das emissões de dióxido de carbono equivalente para os diferentes cenários climáticos (adaptado IPCC, 2014).	8
Figura 2.4 – Comparação entre os cenários RCP2.6 e RCP8.5 entre os períodos indicados (a) alterações na temperatura média anual (b) alterações na precipitação média anual (adaptado IPCC, 2014).	9
Figura 2.5 – Resolução espacial entre os MCG e MCR (adaptado de Giorgi e Gutowski, 2015).	10
Figura 2.6 – Representação esquemática dos métodos Delta Change e Bias Correction (Räty et al, 2014).	11
Figura 2.7 – Exemplo do procedimento do tipo Bias Correction do método Quantile Mapping (adaptado de Teutschbein e Seibert, 2012).	14
Figura 3.1 – Representação esquemática do conceito de sistema (adaptado de Simonovic, 2009).	15
Figura 3.2 – Representação das características de um evento de falha (adaptado de Kjeldsen e Rosbjerg, 2004).	18
Figura 4.1 – Representação esquemática do EFM–OB.....	22
Figura 4.2 – Barragem de Odeleite (Município de Castro Marim, 2017).	23
Figura 4.3 – Barragem de Beliche (Wikipédia, 2015).....	23
Figura 4.4 – Representação esquemática das simulações para cada período futuro (i.e., 2021/2050 e 2071/2100).....	24
Figura 4.5 –Área do estudo de caso.....	26
Figura 4.6 –Representação esquemática no AQUATOOL+ do EFM-OB.....	30
Figura 4.7 – Volume total armazenado do EFM-OB para a situação de referência (1971/2000).	32
Figura 4.8 – Valores mensais da precipitação do modelo regional SMHI combinado com o modelo global CNRM para o período 2021/2050 no cenário RCP4.5 (métodos Delta Change e Direct Forcing).	36

Figura 4.9 – Volume total armazenado do EFM-OB para o período de 2021/2050 com a simulação SMHI/ICHEC/DF.....	40
Figura 4.10 – Défice global para o período 2021/2050 com a simulação SMHI/ICHEC/DF..	41
Figura 4.11 – Volume total armazenado do EFM-OB para o período de 2071/2100 com a simulação SMHI/ICHEC/DF.....	44
Figura 4.12 – Défice global para o período 2071/2100 com a simulação SMHI/ICHEC/DF..	44
Figura A.1 – Esquema do modelo de Temez (Oliveira, 1998).....	1
Figura A.2 – Relação precipitação – excedente (Oliveira, 1998).....	2

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Forçamento radiativo e concentração de CO ₂ equivalente de cada cenário climático (adaptado de Wayne, 2013).	8
Quadro 2.2 – Projeções para o aumento da temperatura média da Terra para os diferentes cenários (adaptado de IPCC, 2014).	9
Quadro 4.1 – Ponderadores de Thiessen utilizados.	26
Quadro 4.2 – Volumes para a albufeira de Odeleite e Beliche.	29
Quadro 4.3 – Valores de procura de água para os utilizadores (abastecimento público e rega).	30
Quadro 4.4 – Indicadores de desempenho para o caso de base.	33
Quadro 4.5 – Valores da precipitação média anual do modelo regional CLMcom-CLM 4-8-17 para o período 2021/2050.	33
Quadro 4.6 – Valores da precipitação média anual do modelo regional SMHI-RCA4 para o período 2021/2050.	34
Quadro 4.7 – Valores da precipitação média anual do modelo regional CLMcom-CLM 4-8-17 para o período 2071/2100.	35
Quadro 4.8 – Valores da precipitação média anual do modelo regional SMHI-RCA4 para o período 2071/2100.	36
Quadro 4.9 – Valores temperatura média anual para o período 2021/2050.	37
Quadro 4.10 – Valores temperatura média anual para o período 2071/2100.	37
Quadro 4.11 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.	38
Quadro 4.12 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.	39
Quadro 4.13 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.	39
Quadro 4.14 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.	40
Quadro 4.15 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.	42
Quadro 4.16 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.	42
Quadro 4.17 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.	43

Quadro 4.18 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	43
Quadro 4.19 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-14 no período 2021/2050.....	45
Quadro 4.20 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.....	46
Quadro 4.21 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	46
Quadro 4.22 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	47
Quadro 4.23 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	47
Quadro 4.24 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	48
Quadro 4.25 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	48
Quadro 4.26 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	49
Quadro 4.27 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.....	50
Quadro 4.28 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.....	50
Quadro 4.29 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	51
Quadro 4.30 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	51
Quadro 4.31 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	52
Quadro 4.32 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	52
Quadro 4.33 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	53
Quadro 4.34 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	53
Quadro 4.35 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.....	54
Quadro 4.36 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.....	55

Quadro 4.37 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	55
Quadro 4.38 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	55
Quadro 4.39 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	56
Quadro 4.40 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	57
Quadro 4.41 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	57
Quadro 4.42 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	57
Quadro 4.43 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.....	59
Quadro 4.44 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.....	59
Quadro 4.45 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	60
Quadro 4.46 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.....	60
Quadro 4.47 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	61
Quadro 4.48 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.....	61
Quadro 4.49 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	62
Quadro 4.50 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.....	62

ABREVIATURAS

DC – Método *Delta Change*

DF – Método *Direct Forcing*

EFM-OB – Empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche

GEE – Gases de efeito de estufa

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas)

MCG – Modelo climático global

MCR – Modelo climático regional

NPA - Nível pleno de armazenamento

QM – Método *Quantile Mapping*

RCP - *Representative Concentration Pathways*

SAD – Sistemas de apoio à decisão

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SIMBOLOGIA

δ_{DC} – Fator de correção no método *Delta Change*

δ_{DF} – Fator de correção no método *Direct Forcing*

$d(j)$ – Duração da falha

$D(t)$ – Volume de procura de água

F – Função de distribuição acumulada de probabilidade

fut – Valor corrigido para o cenário futuro

M – Número de eventos de falha

obs – Valor observado para o período de controlo

P – Precipitação

sim_{con} – Valor simulado para o período de controlo

sim_{fut} – Valor simulado para o cenário futuro

T – Temperatura

T – Número total de intervalos de tempo

$v(j)$ – Volume em défice

$Y(t)$ – Volume de água consumida

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A região do sul da Europa, incluindo Portugal, é umas das zonas do continente europeu com maior vulnerabilidade aos efeitos das alterações climáticas (APA, 2014). Os estudos realizados pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera I.P. apontam para alterações no ciclo anual da precipitação bem como um aumento significativo do valor da temperatura média em todas as regiões do país (APA, 2014). Devido a estas alterações de precipitação e temperatura os sistemas hídricos poderão ser severamente afetados. As disponibilidades de água para os diferentes fins (abastecimento público, rega agrícola, produção de energia hídrica, defesa contra incêndios, entre outros) deverão ser afetadas, podendo criar graves problemas no futuro.

De acordo com a APA (2015), desde 2005 tem-se observado um processo de descarbonização da economia portuguesa. Este decréscimo na emissão de gases de efeito de estufa (GEE) permitiu cumprir os objetivos do Protocolo de Quioto para o período 2008-2012. A trajetória observada desde 2005, resultou de uma limitação nas emissões de gases de efeito de estufa em todos os setores da economia e em alterações no uso do solo. Na área agrícola e florestal, existe uma consciencialização do potencial do setor na mitigação das emissões de gases de efeito de estufa. Na área dos transportes, foram realizadas algumas ações, como a renovação das frotas e a introdução de veículos a gás natural. Também foi criada uma rede para a mobilidade elétrica e incentivos fiscais à aquisição de veículos elétricos.

Segundo a APA (2017), em Portugal existem vários projetos no âmbito da adaptação das alterações climáticas. À escala local o projeto ClimAdaPT.Local – Estratégias Municipais de Adaptação às Alterações Climáticas, que visa a elaboração de estratégias municipais de adaptação às alterações climáticas e a sua integração nas ferramentas de planeamento municipal. Existe também o projeto *SIAM – Climate Change in Portugal, Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*, onde foram realizados estudos aplicados a um conjunto de setores socioeconómicos e sistemas biofísicos (recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde, energia, florestas e pescas) (Santos *et al*, 2002).

Uma abordagem genérica para a realização de estudos de impacte das alterações climáticas na gestão dos recursos hídricos é a apresentada por Simonovic (2017), e resumida na Figura 1.1,

inclui: a seleção de projeções futuras das variáveis climáticas a partir de modelos climáticos; a correção dessas previsões devido à existência de incoerências entre os dados observados e os dados simulados pelos modelos climáticos; e a análise das alterações usando ferramentas hidrológicas, hidráulicas ou estatísticas (podendo ser realizadas várias análises).

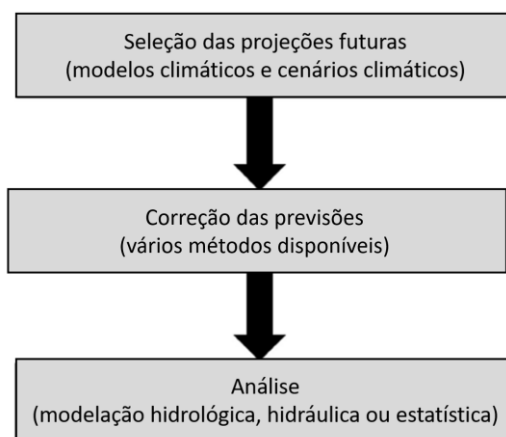


Figura 1.1 – Processo genérico de avaliação do impacto das alterações climáticas no setor dos recursos hídricos (adaptado de Simonovic, 2017).

Neste trabalho serão selecionados um conjunto de modelos climáticos que reproduzem projeções climáticas para o estudo de caso. Os dados dessas projeções climáticas (precipitação e temperatura) são usados em ferramentas hidrológicas e avalia-se o impacto das alterações climáticas com um modelo de apoio à decisão.

O sistema hídrico que se pretende estudar situa-se na região do Algarve. De acordo com DGADR (2008), o clima do Algarve é do tipo mediterrânico, coincidindo a estação seca com o verão. A precipitação média anual é de 500 mm. O período de novembro a março corresponde a cerca de 70% da precipitação e o período do verão (julho a setembro) apenas a 2 a 3%. Estes valores, juntamente com o facto de na região do Algarve se verificar um aumento de população no verão devido ao turismo, fazem com que seja uma região suscetível a problemas de gestão dos recursos hídricos. No futuro, com os efeitos das alterações climáticas, esses problemas vão provavelmente aumentar.

1.2 Objetivos do trabalho

O problema que se pretende estudar é o impacto futuro das alterações climáticas num sistema hídrico de múltiplos usos. O objetivo geral deste trabalho consiste na aplicação de uma

metodologia delineada para avaliar os efeitos das alterações climáticas num sistema hídrico de fins múltiplos, envolvendo:

- Aplicação de vários métodos de correção às projeções dos modelos climáticos;
- Usar as projeções dos modelos climáticos (corrigidas) a um modelo hidrológico;
- Simulação do desempenho do sistema hídrico para os cenários futuros;
- Avaliação do desempenho do sistema.

A metodologia definida para alcançar o objetivo do trabalho está ilustrada na Figura 1.2. De acordo com esta figura, o passo inicial envolveu a seleção de um conjunto de simulações de modelos climáticos globais conjugados com modelos climáticos regionais para a área de estudo. Num segundo passo, foram corrigidos os desvios da precipitação e temperatura presentes nas várias simulações referentes à existência de incoerências entre os dados observados e os dados simulados pelos modelos climáticos. O passo seguinte consistiu na estimação das aflúncias às albufeiras do empreendimento de fins múltiplos usando um modelo hidrológico calibrado e as projeções futuras de precipitação e temperatura devidamente corrigidas. Por fim, as séries temporais de escoamento para o futuro foram utilizadas, juntamente com outros dados de entrada que permitiam reproduzir o empreendimento de fins múltiplos, num sistema de apoio à decisão, de forma a simular e avaliar o comportamento do sistema hídrico num conjunto alargado de diferentes situações.

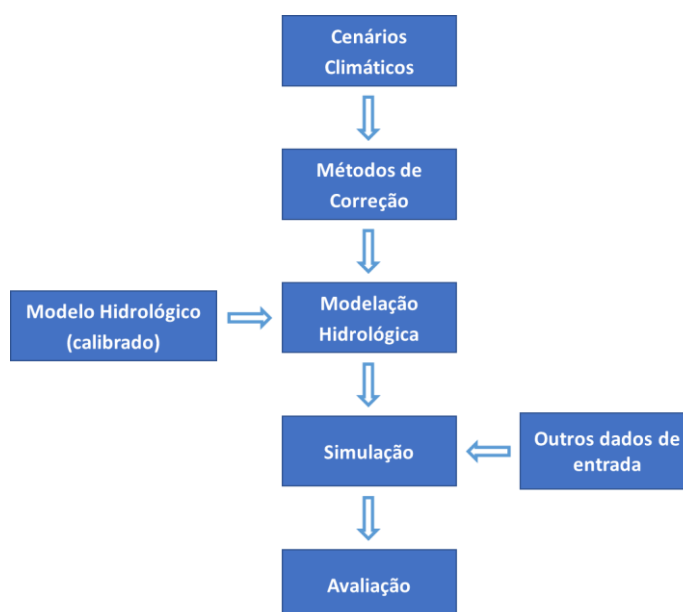


Figura 1.2 – Representação esquemática da metodologia.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos:

- Capítulo 1: corresponde ao capítulo que se está a ler, onde se incluiu uma introdução ao trabalho, às alterações climáticas em Portugal e ao estudo de caso bem como a apresentação do(s) objetivo(s) do estudo;
- Capítulo 2: faz uma síntese da temática das alterações climáticas, dos cenários climáticos futuros em termos de evolução de gases de efeito de estufa, dos modelos climáticos e de alguns métodos de correção das projeções climáticas da literatura;
- Capítulo 3: introduz a temática da modelação dos sistemas hídricos, bem como de um conjunto de ferramentas que permitem avaliar o desempenho desses sistemas;
- Capítulo 4: descreve o estudo de caso da presente dissertação, incluindo uma breve caracterização do empreendimento de fins múltiplos analisado, uma referência aos diferentes métodos utilizados (modelos climáticos, métodos de correção, modelo hidrológico e modelos de apoio à decisão), a apresentação dos resultados obtidos e respetiva discussão;
- Capítulo 5: apresenta as conclusões do trabalho efetuado e sugestões para trabalhos futuros.

2 CENÁRIOS CLIMÁTICOS

2.1 Introdução

Segundo o quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, 2014), o aquecimento global é uma verdade inequívoca. A atmosfera e os oceanos estão mais quentes, a quantidade de gelo e neve têm diminuído ao longo dos anos e o nível médio da água do mar tem aumentado. Esse último relatório do IPCC indica que as últimas três décadas foram sucessivamente cada vez mais quentes: “o período de 1983 até 2012 é muito provavelmente o período mais quente nos últimos 800 anos no hemisfério norte”. O relatório também refere que o aumento médio da temperatura à superfície do planeta foi na ordem dos 0,85°C entre 1880 e 2012. Em relação à precipitação, a tendência é diferente. Há zonas do globo em que a precipitação aumentou e outras onde diminuiu. Na Figura 2.1, estão representadas as variações na temperatura e precipitação entre 1901 e 2012.

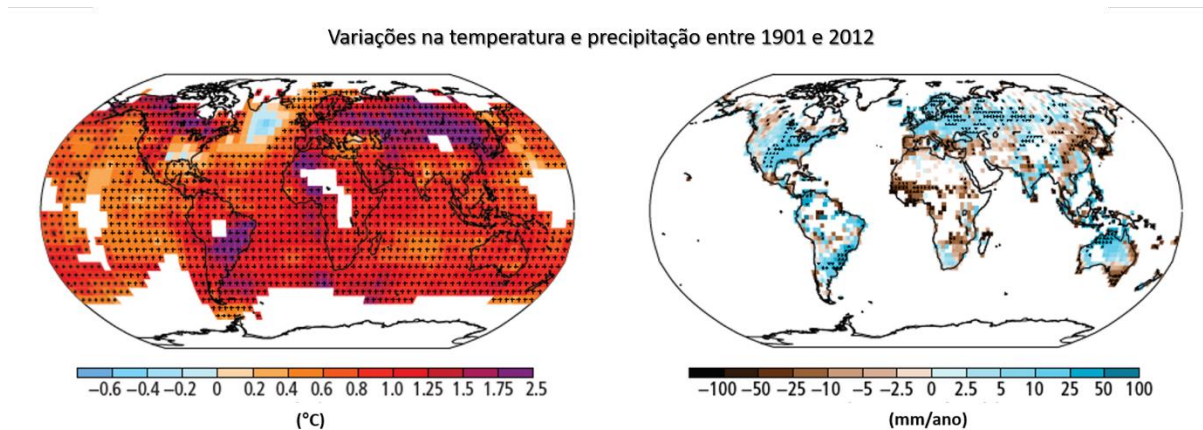


Figura 2.1 – Alterações na temperatura e precipitação no globo nos respetivos períodos indicados (adaptado de IPCC, 2014).

No relatório elaborado pelo IPCC (2014), as atividades antropogénicas são definidas como a principal causa para o aumento da temperatura terrestre devido à emissão de GEE, onde se incluem o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso e o ozono, pois têm propriedades que retêm radiação infravermelha (IPCC, 2007).

O efeito de estufa é um fenómeno natural e imprescindível à vida na Terra. O processo natural está ilustrado na Figura 2.2, e consiste no seguinte: parte da radiação emitida pelo Sol é refletida pela atmosfera diretamente para o espaço, enquanto que a restante radiação é absorvida pela superfície terrestre e pela atmosfera. De acordo com IPCC (2007), de forma a equilibrar o balanço energético, a Terra emite em média para o espaço a mesma quantidade de radiação que absorve: a energia emitida para o espaço tem um comprimento de onda mais baixo (normalmente no comprimento de onda do infravermelho). Contudo parte desta radiação é absorvida pela atmosfera e refletida para a superfície terrestre, este fenómeno é então chamado de efeito de estufa. Mais GEE resulta em mais radiação absorvida e refletida de volta para a superfície terrestre o que leva a que a Terra aqueça ainda mais.

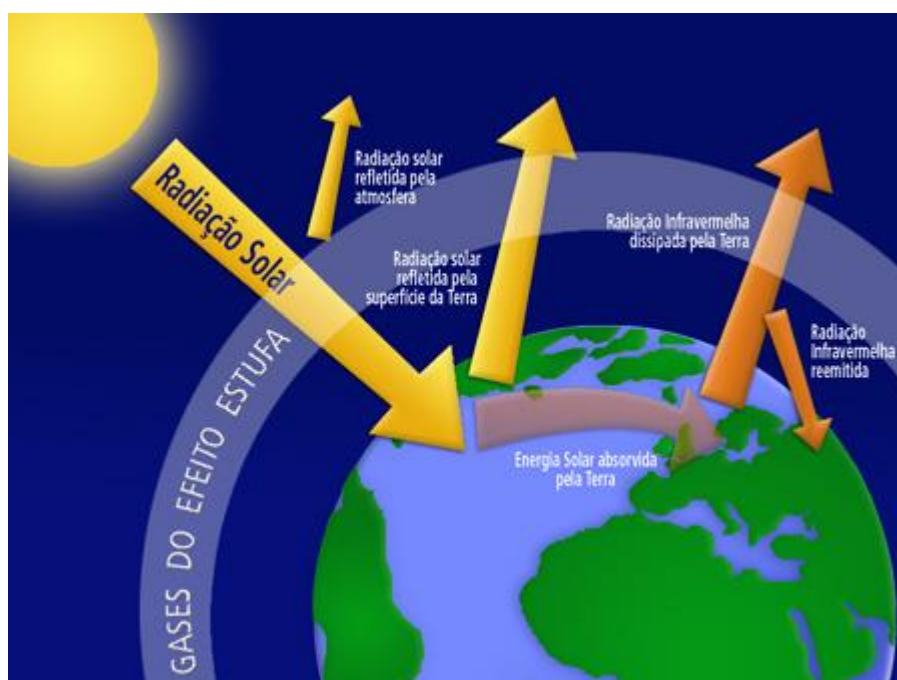


Figura 2.2 – Efeito de estufa (Wada, 2006).

2.2 Cenários de emissões

Os cenários de emissões traçam vários patamares para as emissões de GEE e respetivas concentrações atmosféricas, bem como para as emissões de poluentes atmosféricos e uso do solo (IPCC, 2014).

No contexto da avaliação das alterações climáticas pelo IPCC, antes do último relatório tinham sido definidos quarenta cenários diferentes, todos eles derivados de um conjunto de quatro

grandes cenários chamados de “famílias”: A1, A2, B1 e B2 (IPCC, 2000). Estas “famílias” deram origem a seis grupos de cenários. As “famílias” A2, B1 e B2 deram origem a um grupo cada uma (A2, B1 e B2), enquanto que a “família” A1 deu origem a três grupos: A1F1 (uso predominante de combustíveis fósseis), A1B (balanceado) e A1T (uso predominante de combustíveis não fósseis). Dentro deste grupo de cenários alguns conciliam informação acerca da população global, produto mundial bruto e energia.

O quinto e último relatório de avaliação do IPCC (2014) apresenta uma nova terminologia para os cenários de emissões, denominados de *Representative Concentrations Pathways* (RCP). Segundo Simonovic (2017), os RCP descrevem quatro futuros climáticos possíveis dependendo da quantidade de GEE emitidos:

- RCP2.6 – assume que o pico das emissões de GEE é atingido entre 2010 e 2020 diminuindo posteriormente;
- RCP4.5 – o pico das emissões de GEE é atingido por volta de 2040 diminuindo posteriormente;
- RCP6.0 – o pico das emissões de GEE é atingido por volta de 2080 diminuindo posteriormente;
- RCP8.5 – neste cenário as emissões de GEE continuam a aumentar ao longo do século XXI.

A designação dos cenários exprime os valores do forçamento radiativo em 2100 em comparação com os níveis pré-industriais. O forçamento radiativo corresponde ao balanço (positivo ou negativo) do fluxo de energia radiativa na tropopausa, devido a uma modificação numa variável interna ou externa ao sistema climático, tal como a variação da concentração de dióxido de carbono na troposfera ou da radiação solar, em W/m^2 (IPMA, 2017a). No Quadro 2.1, é possível observar o forçamento radiativo de cada cenário e a concentração de dióxido de carbono equivalente.

Segundo IPCC (2014), o cenário RCP4.5 é considerado o mais provável. No entanto, caso não sejam tomadas medidas para reduzir as emissões de GEE é possível que as alterações climáticas conduzam a um cenário entre o RCP6.0 e o RCP8.5. Quanto ao cenário RCP2.6, que contempla que sejam tomadas medidas para reduzir as emissões de GEE de imediato, estima-se que a temperatura aumente no máximo 2°C em relação ao valor pré-industrial. Na Figura 2.3, é apresentado o panorama de emissões de dióxido de carbono de origem antropogénica para os diferentes cenários climáticos.

Quadro 2.1 – Forçamento radiativo e concentração de CO₂ equivalente de cada cenário climático (adaptado de Wayne, 2013).

Cenário	Forçamento Radiativo (2100)	CO ₂ equivalente (ppm)
RCP8.5	8,5 W/m ²	1370
RCP6.0	6 W/m ²	850
RCP4.5	4,5 W/m ²	650
RCP2.6	3 W/m ² antes de 2100 2,6 W/m ² após 2100	490

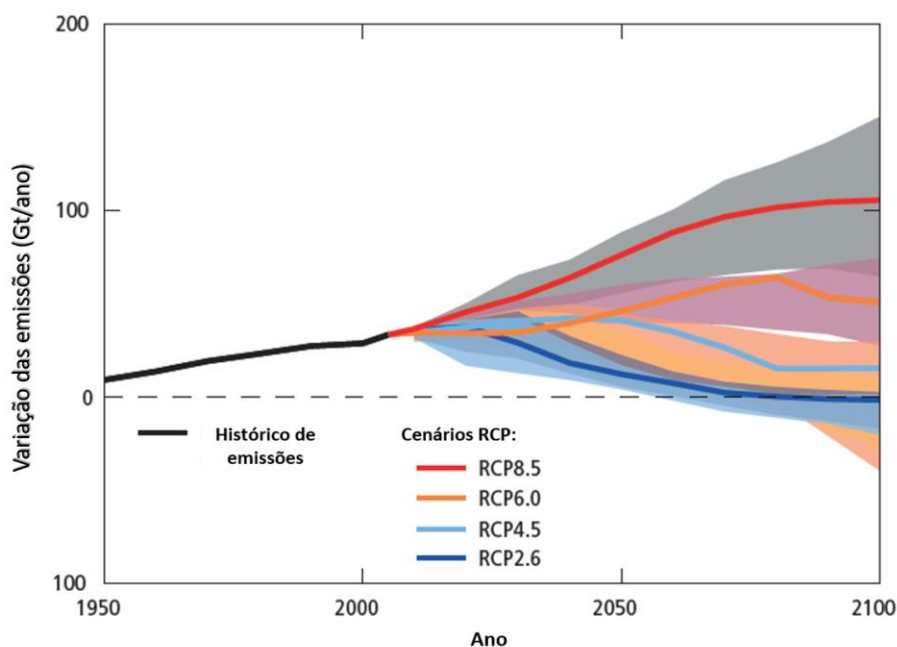


Figura 2.3 – Variação das emissões de dióxido de carbono equivalente para os diferentes cenários climáticos (adaptado IPCC, 2014).

Em qualquer um destes quatro cenários, é inevitável o aumento da temperatura média da Terra. No Quadro 2.2, são apresentados os intervalos prováveis e os valores médios do aumento de temperatura para cada cenário, para os períodos 2046/2065 e 2081/2100. Verifica-se um maior aumento da temperatura no período mais distante (2081/2100) em todos os cenários.

Quadro 2.2 – Projeções para o aumento da temperatura média da Terra para os diferentes cenários (adaptado de IPCC, 2014).

	Cenário	2046/2065		2081/2100	
		Média	Intervalo provável	Média	Intervalo provável
Aumento da temperatura média da Terra (°C)	RPC2.6	1,0	0,4 a 1,6	1,0	0,3 a 1,7
	RPC4.5	1,4	0,9 a 2,0	1,8	1,1 a 2,6
	RPC6.0	1,3	0,8 a 1,8	2,2	1,4 a 3,1
	RPC8.5	2,0	1,4 a 2,6	3,7	2,6 a 4,8

De acordo com o último relatório do IPCC (2014), a maior parte das regiões do globo vai sofrer um aumento na temperatura média anual, mesmo com o cenário menos pessimista (RCP2.6). No cenário RCP8.5, a variação da temperatura é maior, afetando com mais intensidade o hemisfério norte (Figura 2.54 (a)). As alterações na precipitação têm uma variabilidade espacial maior do que as alterações na temperatura. De acordo com a Figura 2.4 (b), no cenário RCP8.5, a latitudes mais altas e no Pacífico equatorial é provável que a precipitação aumente. Já a latitudes médias, como por exemplo o Sul da Europa e em regiões secas subtropicais, é provável que esta diminua em valores na ordem dos 20%.

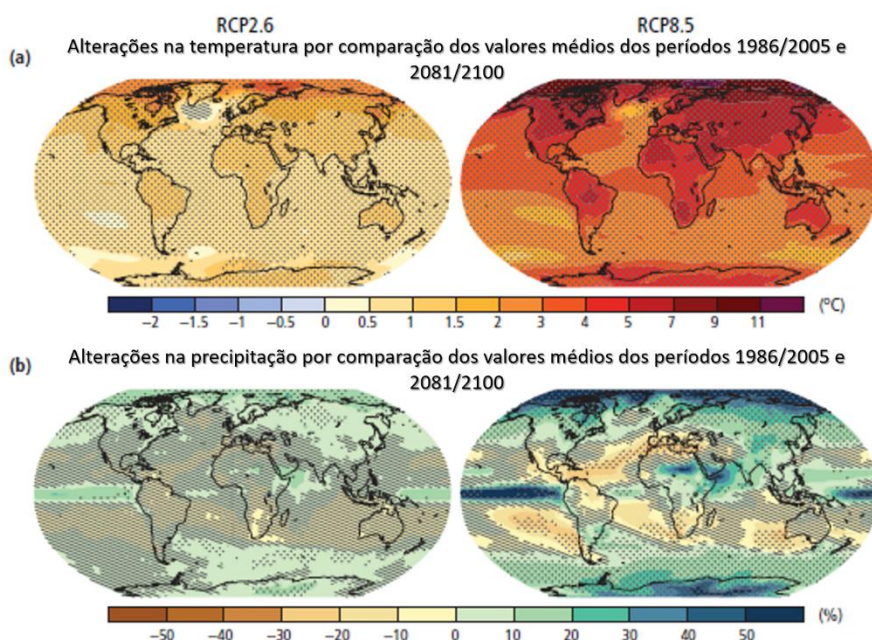


Figura 2.4 – Comparação entre os cenários RCP2.6 e RCP8.5 entre os períodos indicados (a) alterações na temperatura média anual (b) alterações na precipitação média anual (adaptado IPCC, 2014).

Mesmo após a cessação das emissões e a estabilização das temperaturas o aquecimento vai continuar a fazer-se sentir em todos os cenários, devido ao tempo de residência dos diferentes GEE e ao seu potencial de aquecimento (IPCC, 2014).

2.3 Modelos globais e regionais de clima

Na atualidade, a maior parte dos estudos sobre alterações climáticas integra a utilização de modelos climáticos globais (MCG) e modelos climáticos regionais (MCR). Segundo Giorgi e Gutowski (2015), o desenvolvimento e uso de MCR é muitas vezes designado de *dynamical downscaling* quando aplicados a MCG para aumentar a sua resolução. Os MCG descrevem as interações entre os componentes do sistema climático global: a atmosfera, os oceanos e uma descrição básica da superfície da Terra (como por exemplo os aspetos da biosfera e litosfera, relevantes para a superfície e equilíbrio energético). Por outro lado, os MCR têm uma maior resolução numa área limitada como demonstrado pela Figura 2.5. O MCR é um modelo numérico de previsão do clima para uma região e habitualmente determinados a partir de MCG, com resoluções horizontais da ordem das dezenas de quilómetros, utilizando os MCG para definição das condições iniciais e condições e fronteira (IPMA, 2017b).

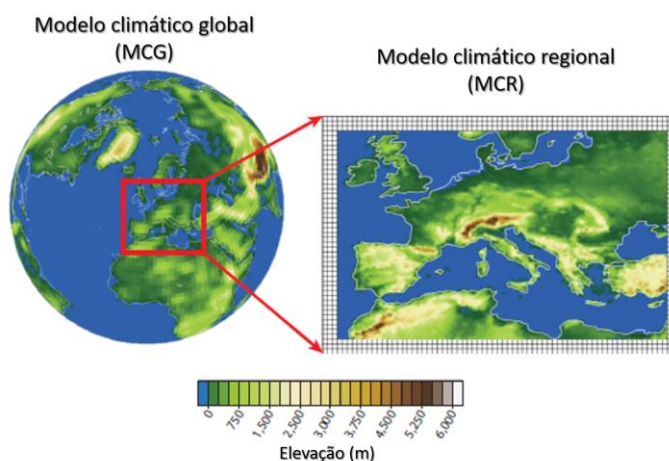


Figura 2.5 – Resolução espacial entre os MCG e MCR (adaptado de Giorgi e Gutowski, 2015).

De acordo com Teutschbein e Seibert (2012) e o sítio da Internet do Projeto Portal do Clima (IPMA, 2017b), é comum usar os dados dos MCG juntamente com um modelo hidrológico em estudos hidrológicos para estimar impactos futuros das alterações climáticas em problemas no setor da água. Contudo, para estudos à escala regional os MCG não possuem uma resolução

adequada. Os MCR conseguem transferir a informação presente nos MCG para uma escala maior, sendo assim mais apropriados para estudos hidrológicos.

Os dados dos MCR contêm alguns desvios por comparação dos valores observados com os valores simulados. Os desvios mais frequentes verificados são a ocorrência de demasiados dias húmidos com baixa precipitação ou estimação incorreta de temperaturas extremas, mas também podem incluir uma incorreta variabilidade sazonal da precipitação. Por isso, não é aconselhado o uso direto dos dados dos MCR num modelo hidrológico. A abordagem mais recomendada é utilizar várias simulações juntamente com vários métodos de correção de desvios (Teutschbein e Seibert, 2010). Segundo López-Moreno *et al* (2008), não se deve utilizar apenas um MCR para definir os possíveis impactos das alterações climáticas. Em vez disso, devem-se utilizar vários MCR combinados com vários MCG e para vários RCP, de modo a poder estimar de uma forma mais robusta as condições futuras.

2.4 Métodos de correção

Räty *et al* (2014) dividem os métodos de correção em dois grandes tipos: métodos do tipo *Delta Change* e métodos do tipo *Bias Correction* (Figura 2.6). Os métodos do tipo *Delta Change* são aqueles em que as projeções climáticas corrigidas são obtidas por aplicação de um fator de correção baseado em valores simulados aos valores observados. Nos métodos do tipo *Bias Correction*, são utilizados os valores simulados para o futuro depois de corrigidos os desvios nos modelos com os valores observados.

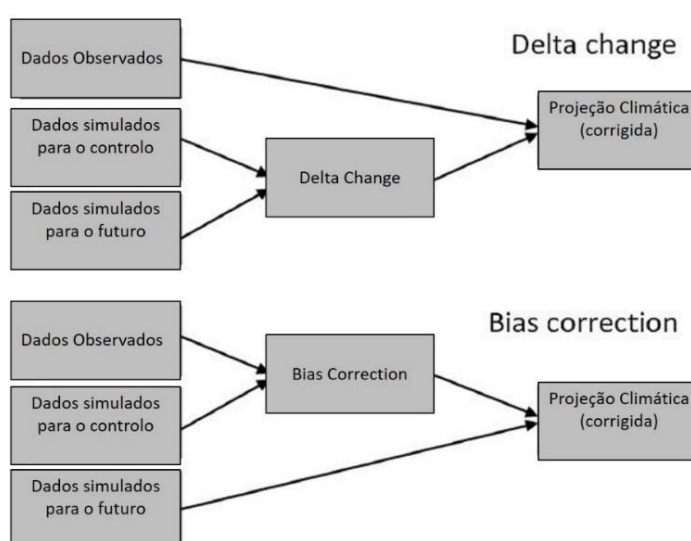


Figura 2.6 – Representação esquemática dos métodos *Delta Change* e *Bias Correction* (Räty *et al*, 2014).

2.4.1 Método Direct Forcing

O método *Direct Forcing* (Mourato *et al*, 2014) é do tipo *Bias Correction*. Neste método assume-se que a variabilidade do cenário futuro é apenas corrigida pelos desvios observados no período de controlo entre o modelo climático e as observações.

Para a precipitação, os valores simulados para o período futuro são multiplicados por um fator de correção que se baseia no quociente entre os valores médios observados e os valores médios simulados pelo modelo para o período de controlo. No caso da temperatura, os valores simulados para o período futuro são somados ao fator de correção que se baseia na diferença entre os valores médios observados e os valores médios simulados pelo modelo.

$$P_{fut} = P_{sim_fut} \times \delta_{DF_P} \quad (1)$$

$$T_{fut} = T_{sim_fut} + \delta_{DF_T} \quad (2)$$

$$\delta_{DF_P} = \frac{\bar{P}_{obs}}{\bar{P}_{sim_con}} \quad (3)$$

$$\delta_{DF_T} = \bar{T}_{obs} - \bar{T}_{sim_con} \quad (4)$$

Nas equações 1 e 3 para a precipitação, P_{fut} e P_{sim_fut} são os valores corrigidos para o período futuro e os valores simulados para o período futuro pelo modelo climático, respetivamente, δ_{DF_P} é o fator de correção e \bar{P}_{obs} e \bar{P}_{sim_con} são os valores médios observados e os valores médios simulados para o período de controlo pelo modelo climático, respetivamente. Nas equações 2 e 4 para a temperatura, T_{fut} e T_{sim_fut} são os valores corrigidos para o período futuro e os valores simulados para o período futuro pelo modelo climático, respetivamente, δ_{DF_T} é o fator de correção e \bar{T}_{obs} e \bar{T}_{sim_con} são os valores médios observados e os valores médios simulados para o período de controlo pelo modelo climático, respetivamente.

2.4.2 Método Delta Change

O método *Delta Change* é um método do tipo *Delta Change*. O método assume que a variabilidade observada no período de controlo entre os valores observados e os valores simulados pelo modelo é mantida no cenário futuro e esta variabilidade apenas é corrigida pela evolução prevista no modelo climático (Mourato *et al*, 2014).

Para a precipitação, os valores observados são multiplicados por um fator de correção que se baseia no quociente entre os valores médios simulados para o período futuro e os valores médios simulados pelo modelo para o período de controlo. No caso da temperatura, os valores

observados são somados ao fator de correção que se baseia na diferença entre os valores médios observados e os valores médios simulados pelo modelo.

$$P_{fut} = P_{obs} \times \delta_{DC_P} \quad (5)$$

$$T_{fut} = T_{obs} + \delta_{DC_T} \quad (6)$$

$$\delta_{DC_P} = \frac{\bar{P}_{sim_fut}}{\bar{P}_{sim_con}} \quad (7)$$

$$\delta_{DC_T} = \bar{T}_{sim_fut} - \bar{T}_{sim_con} \quad (8)$$

Nas equações 5 e 7 para a precipitação, P_{obs} é o valor observado, δ_{DC_P} é o fator de correção e \bar{P}_{sim_fut} é o valor médio simulado para o período futuro pelo modelo climático. Nas equações 6 e 8 para a temperatura, T_{obs} é o valor observado, δ_{DC_T} é o fator de correção e \bar{T}_{sim_fut} é o valor médio simulado para o período futuro pelo modelo climático.

Camici *et al* (2014) referem que o principal problema deste método é que o cenário futuro e o período simulado pelo modelo só diferem na média, enquanto que outras propriedades estatísticas não são corrigidas. O fator de correção não tem em conta os valores observados, o que pode levar a correções que não espelham as características do local de estudo.

2.4.3 Método Quantile Mapping

Este método pode ser do tipo *Bias Correction* ou *Delta Change*. O objetivo deste método é estabelecer uma relação estatística através de uma função de distribuição acumulada de probabilidade entre diferentes séries temporais (Li *et al*, 2010).

Na aplicação do *Quantile Mapping* do tipo *Bias Correction* (Figura 2.6), a determinação do cenário futuro de precipitação consiste em determinar a probabilidade de ocorrência de um dado valor de precipitação simulado na função de distribuição acumulada do período de controlo. Após este passo é feito o inverso, usando-se a probabilidade encontrada para determinar o valor correspondente de precipitação observada, obtendo-se assim o valor futuro corrigido. Para a temperatura o procedimento é idêntico.

Matematicamente, a aplicação do método *Quantile Mapping* exemplificado na Figura 2.7 pode ser expresso do seguinte modo:

$$P_{fut} = F_{obs}^{-1}(F_{sim_con}(P_{sim_fut})) \quad (9)$$

em que F é a função de distribuição acumulada de probabilidade e F^{-1} a sua inversa.

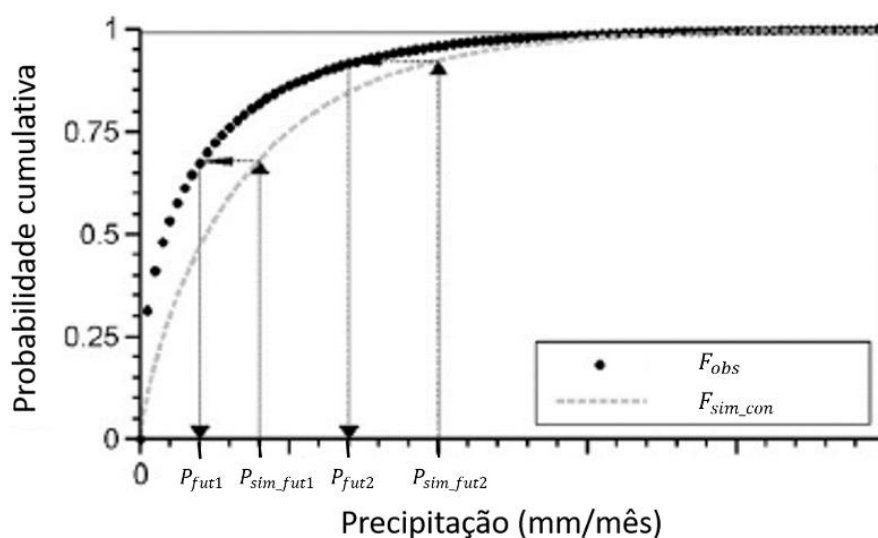


Figura 2.7 – Exemplo do procedimento do tipo *Bias Correction* do método *Quantile Mapping* (adaptado de Teutschbein e Seibert, 2012).

Li *et al* (2010) e Camici *et al* (2014) partilham a opinião de que o método *Quantile Mapping* é mais robusto do que o método *Delta Change*, que a distribuição do clima não varia muito ao longo do tempo, sendo estacionária na variância e no desvio padrão, mudando apenas a média.

Räty *et al*, (2014) apresentam a aplicação do método do tipo *Delta Change* (Figura 2.6). Para um qualquer valor de precipitação, a aplicação do método consiste em determinar a probabilidade de ocorrência de um dado valor observado na função de distribuição acumulada do período de controlo. Após este passo é feito o inverso, usando-se a probabilidade encontrada para determinar o valor correspondente de precipitação simulada pelo modelo climático para o futuro, obtendo-se assim o valor futuro corrigido.

$$P_{fut} = F_{sim_fut}^{-1}(F_{sim_con}(P_{obs})) \quad (10)$$

3 MODELAÇÃO DE SISTEMAS HÍDRICOS

3.1 Conceitos de sistemas e de modelos

O conceito de sistema (Figura 3.1), é definido por Cunha (2006) como um conjunto de funções que relacionam estímulos (*input*) com respostas (*output*).

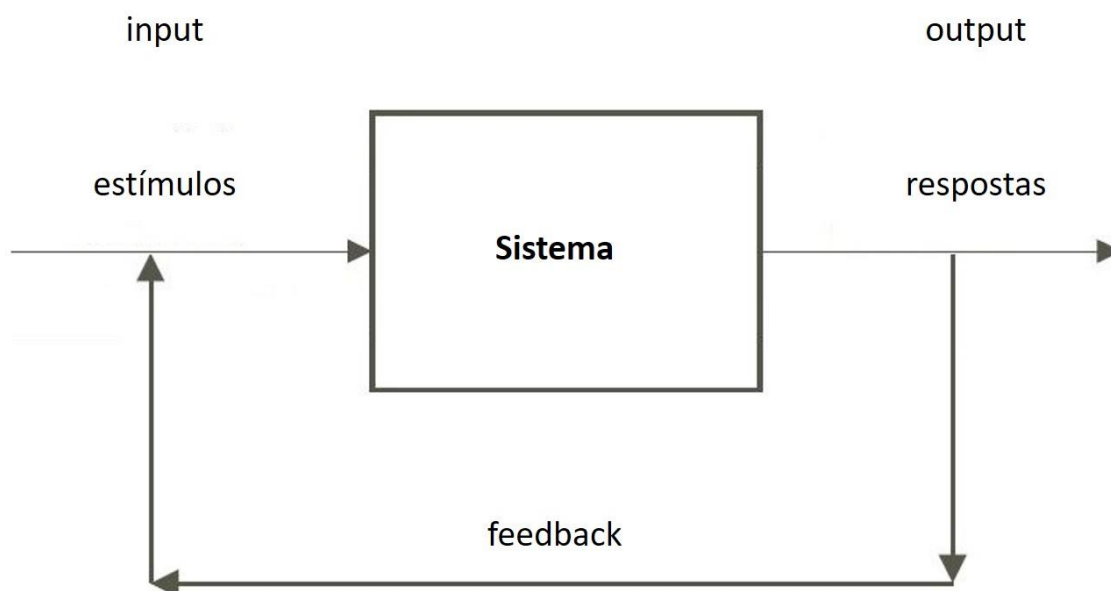


Figura 3.1 – Representação esquemática do conceito de sistema (adaptado de Simonovic, 2009).

De acordo com Cunha (2006), o conceito de sistema é útil nos processos de tomada de decisão e em situações de planeamento. A utilização deste conceito facilita a construção de modelos que descrevem o comportamento dos ambientes envolvidos e que depois são utilizados no apoio aos processos de tomada de decisão

Segundo Cunha (2006), a descrição de um sistema pode ser feita através de modelos. Estes podem dividir-se em três tipos: físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos matemáticos podem ainda ser divididos em vários grupos, não mutuamente exclusivos entre si:

- Modelos teóricos, conceptuais e empíricos: os modelos teóricos são constituídos por um conjunto de equações que assentam em conceitos teóricos. Nos modelos conceptuais a forma da função que caracteriza o sistema deriva do processo físico que converte os estímulos em respostas. Nos modelos empíricos, a função que caracteriza o sistema não se baseia do processo físico que converte as estímulos em respostas;
- Modelos determinísticos e estocásticos: nos modelos determinísticos, é possível determinar os efeitos exatos de uma dada ação. Nos modelos estocásticos, os efeitos têm um certo grau de incerteza;
- Modelos lineares e não lineares: nos modelos lineares, é possível aplicar os efeitos da proporcionalidade e da sobreposição de efeitos, nos modelos não lineares, estes mesmos princípios não são aplicáveis;
- Modelos agregados e distribuídos: nos modelos agregados não é considerada a variabilidade espacial de determinadas características, enquanto que nos modelos distribuídos essa variabilidade já é considerada.

Os modelos matemáticos podem também ser divididos em modelos descritivos e modelos de decisão. Os modelos descritivos, como o nome indica, permitem representar o sistema através de um modelo. A sua construção é constituída por quatro etapas: identificação, especificação, calibração e validação (Cunha, 2006). Os modelos de decisão permitem ao utilizador escolher o melhor plano ou alternativa dentro de um determinado conjunto. São constituídos por uma função objetivo e por restrições. A sua resolução pode ser feita por métodos de simulação ou otimização (Cunha, 2006).

3.2 Modelos de decisão para sistemas hídricos à escala da bacia hidrográfica

Segundo Cunha (2006), os modelos de decisão traduzem os objetivos e as condicionantes de uma determinada intervenção no sistema. O objetivo da intervenção é inserido numa função objetivo, onde são contabilizadas as decisões a tomar. Estas decisões podem maximizar ou minimizar a função objetivo. Além disso podem existir também restrições que condicionam as decisões a tomar. De acordo com Cunha (2006), os objetivos podem ser de vários tipos, de que são exemplo o aumento ou redistribuição da riqueza e a promoção da qualidade do ambiente. As restrições podem também ter natureza física, tecnológica, orçamental, lógica ou legal.

Cunha (2006) classifica as variáveis dos modelos de decisão como: variáveis de decisão (o valor é determinado pelo modelo de decisão); dados de entrada, ou variáveis exógenas (o valor não é

determinado pelo modelo de decisão); e variáveis endógenas (o valor é determinado a partir dos valores das variáveis de decisão e pelas variáveis exógenas).

Para resolver um modelo de decisão existem duas abordagens: simulação e otimização Cunha (2006). A simulação permite analisar o resultado da implementação de uma determinada estratégia, determinando-se a melhor solução (i.e., valores das variáveis de decisão) por um processo de tentativa-erro. A otimização utiliza técnicas de programação matemática para determinar a melhor solução através da maximização ou minimização do valor da função objetivo.

Com os avanços na área da informática, surgiram os sistemas de apoio à decisão (SAD) na forma de *software*. Os SAD podem ter vários componentes, além do modelo matemático incluem também: sistemas de informação geográfica, bases de dados, medições no terreno, conhecimentos de base e ferramentas de avaliação. Contudo, a característica mais importante dos SAD é a disponibilidade de uma interface interativa simples que permita o utilizador trabalhar com facilidade e controlar as características do modelo. Os SAD podem variar desde a quase não utilização de um computador até a um sistema que controla tudo automaticamente sendo dispensável a intervenção do ser humano.

O AQUATOOL, RIBASIM, MIKE-BASIN e o WEAP são exemplos de aplicação informática (*software*) do tipo SAD para a análise de problemas à escala das bacias hidrográficas.

3.3 Indicadores de desempenho

Os indicadores são ferramentas que permitem caracterizar simplificada o desempenho de um sistema, a partir de dados mais complexos. De forma a avaliar o desempenho em situações normais ou em situações de seca, cheias ou condições climáticas extremas, Hashimoto *et al* (1982) apresentam três indicadores: fiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. Uma falha no sistema é definida como um estado em que o sistema não conseguiu cumprir os objetivos. A fiabilidade é a probabilidade de o sistema não estar em estado de falha, a resiliência é a rapidez com que o sistema recupera de uma falha e a vulnerabilidade define a magnitude ou gravidade de uma falha.

Para exemplificar a aplicação dos três indicadores, considere-se uma avaliação ao desempenho de um sistema hídrico num período de análise T , dividido em t períodos de tempo. Em cada período de tempo t , o sistema pode estar num estado normal (NF) ou em estado de falha (F). O estado normal (NF), acontece quando o sistema consegue satisfazer a procura de água de um conjunto de utilizadores agregados. O estado de falha (F) acontece quando sistema não

consegue satisfazer a procura, ou seja, o volume de água disponibilizada para consumo é inferior à procura. Uma falha é caracterizada por uma duração $d(j)$ e por um défice $v(j)$ como se pode ver na Figura 3.2. O défice pode ser definido como a diferença entre a procura e o volume de água consumida e calculado de acordo com a equação 11. Durante o período de análise, podem ocorrer várias falhas, $j=1, \dots, M$, onde M é o número total de eventos de falha. Na Figura 3.2 existe apenas um único evento de falha, $M=1$, de duração $d(j)$ e magnitude $v(j)$.

$$v(j) = \sum_{t=1}^{d(j)} [D(t) - Y(t)] \quad (11)$$

onde $D(t)$ é o volume de procura de água e $Y(t)$ é o volume de água consumida.

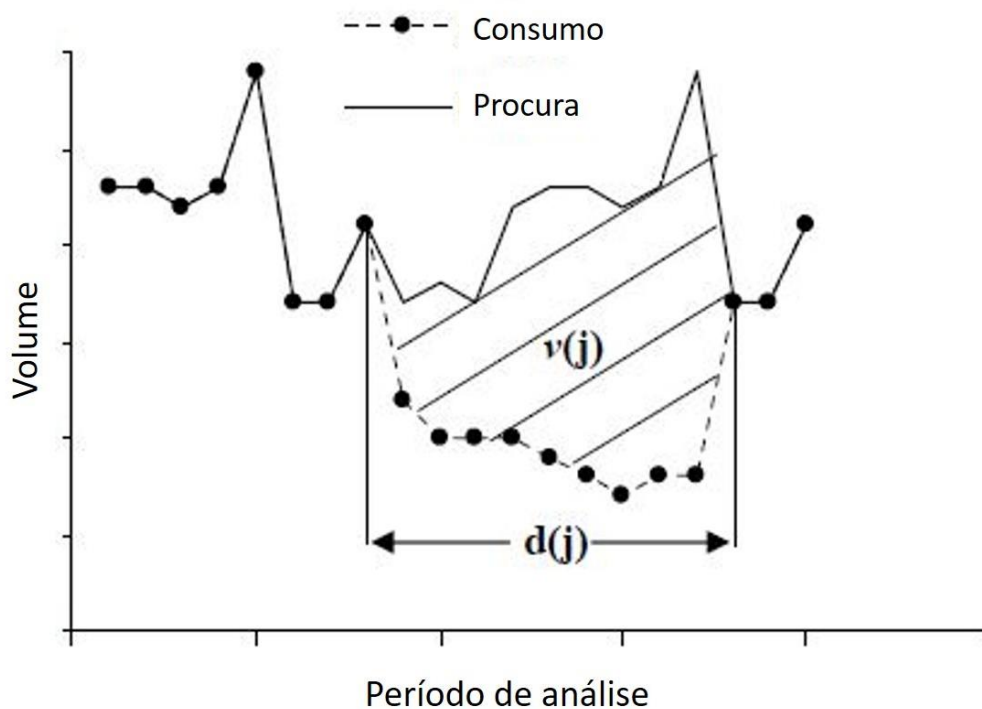


Figura 3.2 – Representação das características de um evento de falha (adaptado de Kjeldsen e Rosbjerg, 2004).

3.3.1 Fiabilidade

Genericamente, Hashimoto *et al* (1982) definem fiabilidade como a probabilidade de um sistema estar num estado satisfatório, ou seja, em ausência de falha:

$$Fia = Prob \{S \in NF\} \quad (12)$$

onde S é a variável do estado do sistema. Segundo Kjeldsen e Rosbjerg (2004), a expressão mais usada nos sistemas hídricos descreve fiabilidade:

$$Fia_1 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^M d(j)}{T} \quad (13)$$

onde M o número de eventos de falha e T o número total de intervalos de tempo. McMahon *et al* (2006) apresentam outra expressão para a fiabilidade baseada no volume:

$$Fia_2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (D(t) - Y(t))}{\sum_{t=1}^T D(t)} \quad (14)$$

Este indicador relaciona a quantidade de água consumida com a quantidade de água requerida em todo o período de análise T .

Por definição, o valor de Fia_1 e Fia_2 varia entre 0 (mau desempenho) e 1 (bom desempenho).

3.3.2 Resiliência

Hashimoto *et al* (1982) definem resiliência como o quão rápido é provável o sistema recuperar após uma falha, e propõem um indicador genérico baseado numa probabilidade condicionada:

$$Res = Prob\{S(t+1) \in NF | S(t) \in F\} \quad (15)$$

A resiliência é a probabilidade de o sistema estar sem falha, sabendo que no instante anterior o sistema esteve em falha, onde S é a variável do estado do sistema. Para sistemas hídricos Kjeldsen e Rosbjerg (2004) indicam que a resiliência pode ser expressa pelo inverso do valor médio dos intervalos de tempo em que o sistema está em falha:

$$Res_1 = \left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d(j) \right\}^{-1} \quad (16)$$

Moy *et al* (1986) apresentam uma outra métrica para a resiliência como sendo o inverso do máximo período de tempo em que o sistema está em falha:

$$Res_2 = \left\{ \max_j \{d(j)\} \right\}^{-1} \quad (17)$$

À semelhança da fiabilidade, o valor de Res_1 e Res_2 varia entre 0 (mau desempenho) e 1 (bom desempenho).

3.3.3 Vulnerabilidade

Hashimoto *et al* (1982) definem vulnerabilidade como a magnitude de uma falha, mesmo que uma falha seja pequena, deve ser prestada atenção aos efeitos da mesma. Kjeldsen e Rosbjerg (2004) propõem uma métrica definindo a vulnerabilidade igual ao valor médio dos défices de todos os eventos de falha:

$$Vul_1 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M v(j) \quad (18)$$

À semelhança de Moy *et al* (1986) para a resiliência, Kundzewicz e Kindler (1995) exprimem a vulnerabilidade como o défice da falha mais gravosa:

$$Vul_2 = \max_j v(j) \quad (19)$$

McMahon *et al* (2006) indicam que exprimir a vulnerabilidade em valor absoluto como as duas anteriores expressões, pode não ser simples de se entender. Ao dividir pelo valor de procura de água $D(t)$ nas duas equações anteriores, obtém-se um valor adimensional que varia entre 0 (bom desempenho) e 1 (mau desempenho).

$$Vul_3 = \frac{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M v(j)}{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M D(j)} \quad (20)$$

$$Vul_4 = \max_j \left(\frac{v(j)}{D(j)} \right) \quad (21)$$

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é o empreendimento de fins múltiplos Odeleite - Beliche (EFM-OB), que se localiza no Algarve. A sua principal função é fornecer água para rega e assegurar o abastecimento público do Sotavento Algarvio.

4.1 Caraterização do empreendimento de fins múltiplos Odeleite-Beliche

De acordo com DGADR (2008), o EFM – OB localiza-se nos concelhos de Castro Marim, Vila Real de Santo António, Tavira e Olhão, no distrito de Faro. O objetivo do EFM– OB é fornecer água para rega dos utilizadores integrados na Associação de Beneficiários do Plano de Rega do Sotavento do Algarve, e para o abastecimento público dos concelhos de Castro Marim, Vila Real de Santo António, Tavira, Olhão, São Brás de Alportel, Faro e Loulé do Sotavento Algarvio.

O EFM–OB (Figura 4.1) é composto por duas barragens interligadas por um túnel. A barragem de Odeleite que se situa na Ribeira de Odeleite e a barragem de Beliche que se situa na Ribeira de Beliche. Estas duas ribeiras são afluentes do Rio Guadiana.

A barragem de Odeleite (Figura 4.2) tem um volume total de 130 hm³, a cota do nível pleno de armazenamento (NPA) atinge os 52 metros e a área inundada ao NPA são 720 hectares. A área da bacia hidrográfica afeta à barragem de Odeleite são 348 km² e o caudal de cheia são 2350 m³/s para um período de retorno de 5000 anos (DGADR, 2008).

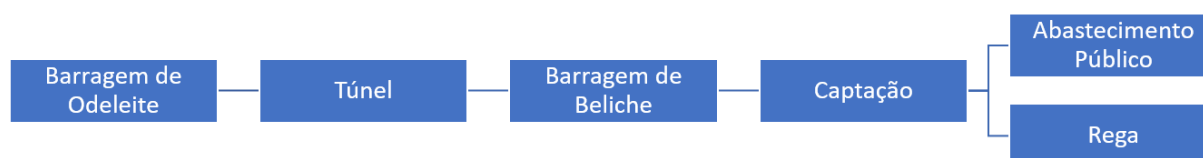


Figura 4.1 – Representação esquemática do EFM–OB.



Figura 4.2 – Barragem de Odeleite (Município de Castro Marim, 2017).

A barragem de Beliche (Figura 4.3) é pouco mais de 1/3 da barragem de Odeleite, com um volume total de 48 hm³, a cota do NPA é também os 52 metros e a área inundada ao NPA são 292 hectares. A área da bacia hidrográfica afeta à barragem de Beliche são 98 km², o caudal de cheia são 456 m³/s para um período de retorno de 1000 anos (DGADR, 2008).

O túnel que liga as duas barragens permite transferir água da barragem de Odeleite para a Barragem de Beliche. Na barragem de Beliche existe uma tomada de água de onde se faz a captação para o abastecimento público e para a rega. A água captada é conduzida por uma conduta adutora até um reservatório, na conduta adutora existem várias derivações para a rega.

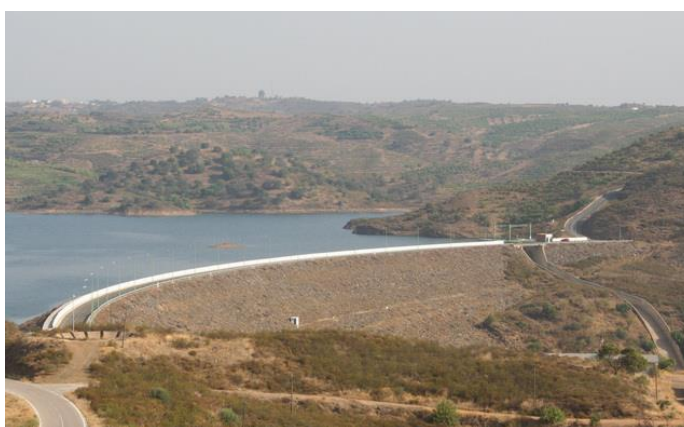


Figura 4.3 – Barragem de Beliche (Wikipédia, 2015).

4.2 Cenários

Este trabalho tem como cenários futuros os períodos 2021/2050 e 2071/2100. Estes períodos foram escolhidos de forma a caracterizar um futuro próximo (2021/2050) e o final do século XXI (2071/2100). Para cada período, foram utilizadas 36 simulações (Figura 4.4). As simulações utilizadas são do projeto EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>) que resulta de uma iniciativa do *World Climate Research Programme*. O objetivo do projeto é gerar projeções para todas as regiões terrestre do globo no plano do quinto relatório do IPCC. Na Europa, o EURO-CORDEX aumentou a resolução das projeções face a anteriores programas do mesmo tipo. A resolução das malhas do projeto EURO-CORDEX é de 12 km (0,11 graus) e 50 km (0,44 graus). Neste trabalho, foi usada a malha de 12 km (0,11 graus).

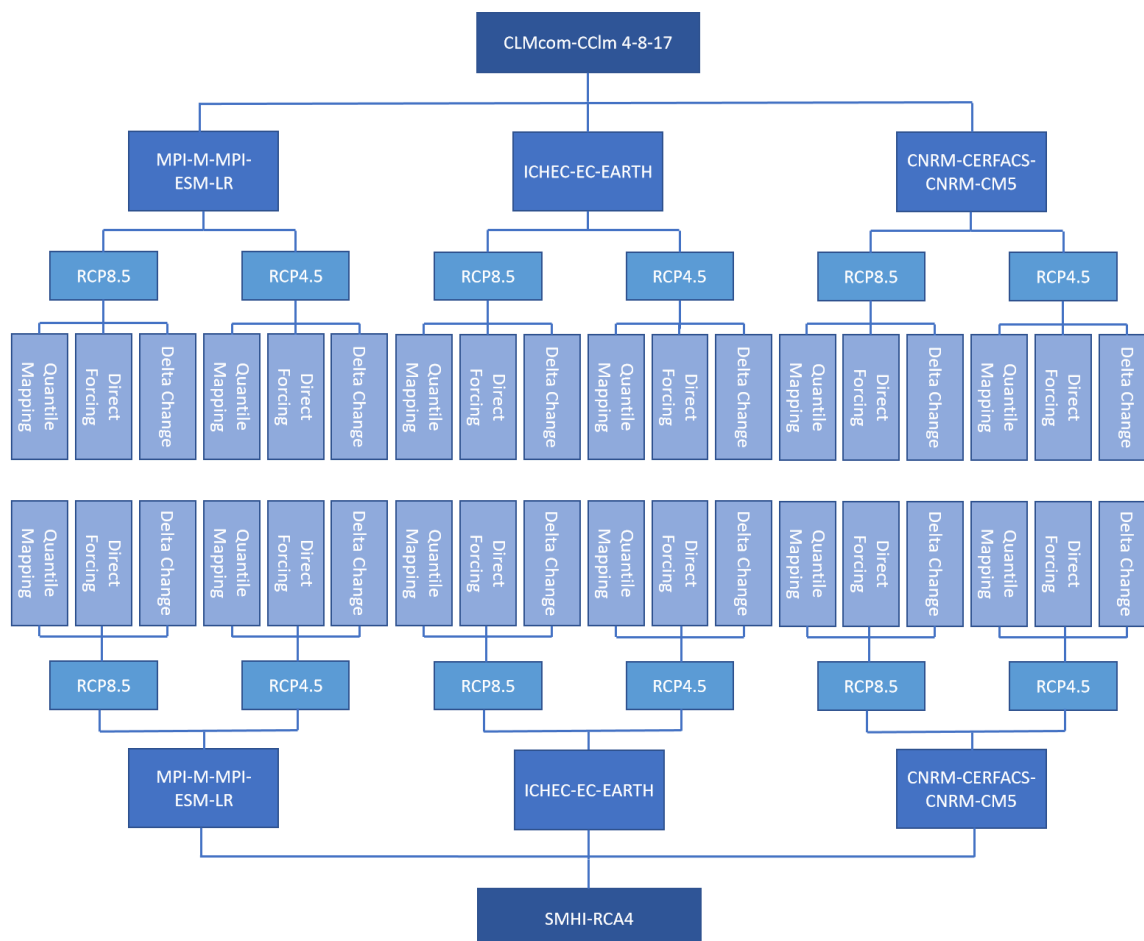


Figura 4.4 – Representação esquemática das simulações para cada período futuro (i.e., 2021/2050 e 2071/2100).

De acordo com López-Moreno *et al* (2008) e Teutschbein e Seibert (2010) dadas as diferenças que são frequentemente observadas entre as simulações MCR-MCG para as mesmas condições e a existência de desvios nos dados dos MCR, é aconselhado utilizar várias combinações MCR-MCG, para vários RCP, juntamente com vários métodos de correção de desvios (secção 2.3). Utilizaram-se dois MCR: CLMcom-CCIm 4-8-17 e SMHI-RCA4 (abreviando CLMcom e SMHI, respetivamente). Os MCR foram combinados com três MCG: CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, ICHEC-EC-EARTH e MPI-M-MPI-ESM-LR (abreviando CNRM, ICHEC e MPI, respetivamente). A escolha destas simulações deveu-se ao projeto Portal do Clima (<http://portaldoclima.pt/>). Este projeto, da responsabilidade do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, tem como objetivo a consciencialização da sociedade para as alterações climáticas. Nele foram feitas várias simulações para o futuro em Portugal com os mesmos modelos utilizados neste trabalho.

A incerteza associada à evolução do clima resulta ainda do desconhecimento sobre a evolução das concentrações de GEE na atmosfera. Neste trabalho, para cada período futuro (2021/2050 e 2071/2100), cada simulação MCR-MCG foi corrigida com três métodos diferentes (*Delta Change*, *Direct Forcing* e *Quantile Mapping*) e foram utilizados dois cenários referentes à evolução de GEE (RCP4.5 e RCP8.5, o cenário de emissões mais provável e o cenário de emissões mais gravoso, respetivamente), resultando num total de 36 simulações climáticas conforme representado na Figura 4.4.

4.3 Dados de base de precipitação e temperatura

A série observada para a precipitação e temperatura corresponde ao período 1971/2000, que por sua vez coincide com o período de controlo das projeções. Devido à similaridade de características das bacias hidrográficas das albufeiras de Odeleite e Beliche, à sua proximidade geográfica e à disponibilidade de dados (reduzida na bacia hidrográfica de Beliche) admitiu-se que a temperatura e distribuição da precipitação são iguais nas duas bacias. Os cálculos foram feitos apenas para a bacia da albufeira Odeleite, sendo depois extrapolados em função da área para a bacia da albufeira Beliche.

Os valores de precipitação observados no período 1971/2000, foram obtidos através do sítio da internet do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) (<http://snirh.apambiente.pt/>). As estações meteorológicas utilizadas (Figura 4.5) foram: Barranco do Velho (30J/01UG), Mercador (30K/01UG), Santa Catarina (31K/01UG) e São Brás de Alportel (31J/01C). Para o cálculo da precipitação total (1971/2000), foi utilizado o

método dos polígonos de Thiessen. Os ponderadores utilizados (Quadro 4.1) são os mesmos utilizados por um estudo anterior na mesma área do estudo de caso (Nunes *et al*, 2009).

Quadro 4.1 – Ponderadores de Thiessen utilizados.

BARRANCO DO VELHO (30J/01UG)	MERCADOR (30K/01UG)	SANTA CATARINA (31K/01UG)	SÃO BRÁS DE ALPORTEL (31J/01C)
0,24	0,71	0,02	0,03

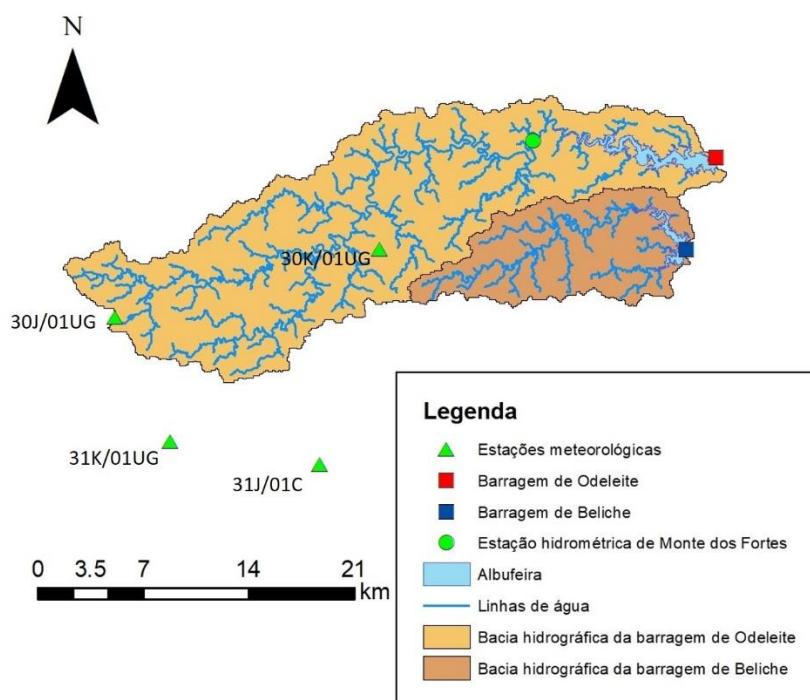


Figura 4.5 –Área do estudo de caso.

Nos valores da temperatura no período 1971/2000 (também retirados no SNIRH), verificaram-se algumas falhas. Os valores utilizados são valores médios mensais, obtidos de um estudo anterior para a área do estudo de caso (Nunes *et al*, 2009).

4.4 Métodos de correção

Os métodos de correção utilizados para corrigir os desvios na precipitação e temperatura são os descritos na secção 2.4. As quatro séries temporais (*obs*, *sim_con*, *sim_fut* e *fut*) têm todas a mesma extensão (30 anos) e uma discretização mensal. A série de controlo observada e a série de controlo simulada (*obs* e *sim_con*, respetivamente) têm em comum o mesmo período 1971/2000. A série simulada para o futuro e a série corrigida para o futuro (*sim_fut* e *fut*, respetivamente) têm em comum os mesmos períodos futuros (2021/2050 e 2071/2100).

Para corrigir os desvios na precipitação, foram utilizados três métodos:

- **Método Delta Change** (abreviando, DC):

$$P_{fut} = P_{obs} \times \frac{\bar{P}_{sim_fut}}{\bar{P}_{sim_con}} \quad (22)$$

- **Método Direct Forcing** (abreviando, DF):

$$P_{fut} = P_{sim_fut} \times \frac{\bar{P}_{obs}}{\bar{P}_{sim_con}} \quad (23)$$

- **Método Quantile Mapping** (abreviando, QM):

$$P_{fut} = F_{sim_fut}^{-1} \left(F_{sim_con}(P_{obs}) \right) \quad (24)$$

No método QM foi utilizada a aplicação do tipo *Delta Change*, onde as projeções futuras são corrigidas com base nos dados simulados pelo modelo climático para o futuro e para o período de controlo. Foi utilizada a aplicação do tipo *Delta Change* por ser a mais utilizada na correção das projeções climáticas.

Para a temperatura apenas se utilizou o método DC, devido à disponibilidade de apenas valores médios mensais (ver secção 4.3) e esta ter uma variação espacial menor que a precipitação:

$$T_{fut} = T_{obs} + (\bar{T}_{sim_fut} - \bar{T}_{sim_con}) \quad (25)$$

Os métodos de correção foram aplicados a cada uma das simulações utilizadas e descritas na secção 4.2. Foi utilizado o *software* R para extrair os dados da precipitação e temperatura dos ficheiros climáticos e também para o cálculo dos valores médios da série simulada para o futuro e da série de controlo simulada (*sim_fut* e *sim_con*, respetivamente). O método QM foi aplicado recorrendo também ao *software* R, utilizando o R *package* de Gudmundsson *et al* (2012).

4.5 Modelação hidrológica

O escoamento superficial afluente às albufeiras nos cenários futuros (2021/2050 e 2071/2100), foi calculado com o modelo hidrológico de Temez (ver Anexo A). A transformação da precipitação em escoamento à escala mensal em Portugal e em Moçambique (Oliveira, 1998) (Vaz, 2010) e a elaboração do Plano de Gestão de Região Hidrográfica do Centro (ARH Centro, 2012), são exemplos de alguns trabalhos em que o modelo de Temez foi aplicado. Conforme já foi referido (secção 4.3), o modelo foi apenas aplicado à bacia da Ribeira de Odeleite, sendo depois os resultados extrapolados para a bacia da Ribeira de Beliche.

Em Nunes *et al*, (2009), foi realizado um estudo hidrológico para a área do estudo de caso, onde foi feita uma calibração do modelo de Temez para a estação hidrométrica de Monte dos Fortes, na ribeira de Odeleite (Figura 4.5). O período usado na calibração foi de dezembro de 1961 até junho de 2006. Os parâmetros resultantes da calibração foram: $C=0,09$; $H_{max}=157$ mm; $I_{max}=560,8$ mm; $\alpha=0,042$ dia⁻¹. Para aplicação do modelo de Temez, utilizou-se a extensão XLWAT para o *Microsoft Excel* (Oliveira, 1998), que permite também estimar a evapotranspiração potencial através de vários métodos.

O resultado da aplicação do modelo de Temez é o escoamento superficial específico (mm), pelo que para obter o valor absoluto às barragens do EFM-OB multiplica-se pela área da bacia hidrográfica das barragens de Odeleite e Beliche (348 km² e 98 km², respetivamente), obtendo-se assim as aflúências a cada barragem para as diferentes simulações.

Para o cálculo da evapotranspiração, utilizou-se o método de Penman-Monteith. Para estimar a evapotranspiração com este método são necessários dados da humidade do ar, vento, radiação e temperatura. Os valores da temperatura são provenientes das simulações para os cenários futuros (após correção com o método DC). Os valores da humidade do ar, vento e radiação foram os mesmo utilizados por Nunes *et al* (2009).

4.6 Simulação do EFM-OB

Para simular o comportamento do EFM-OB utilizou-se o *software* AQUATOOL+. De acordo com Andreu *et al* (1996), o AQUATOOL+ (desenvolvido pela Universidade Politécnica de Valência), é um SAD desenhado para a fase de planeamento do processo de tomada de decisão ao nível da bacia hidrográfica, podendo incorporar múltiplas albufeiras, aquíferos e utilizadores de água.

O AQUATOOL+ possui quatro módulos: SIMGES (para simular a gestão de bacias hidrográficas), OPTGES (para otimizar a gestão de bacias hidrográficas), GESCAL (para a simulação da qualidade das águas à escala da bacia hidrográfica) e SIMRISK (para a simulação da gestão de sistemas e cálculo do risco da gestão) (Solera *et al*, 2007).

A interface gráfica do *software* permite ao utilizador desenhar o sistema através de vários elementos disponíveis. Na Figura 4.6, apresenta-se a representação do EFM-OB, o qual é constituído pelos seguintes elementos:

- Albufeira de Odeleite e a albufeira de Beliche;
- Túnel que liga as duas albufeiras;
- As afluições a cada uma das albufeiras;
- Dois utilizadores de água (abastecimento público e rega);
- Cursos de água que fazem parte do sistema.

Para as albufeiras e para as ligações correspondentes aos cursos de água, não se consideraram perdas por infiltração. A informação referente aos volumes (Quadro 4.2) e curvas de volume armazenado das albufeiras foi obtida do sítio da internet do SNIRH.

Quadro 4.2 – Volumes para a albufeira de Odeleite e Beliche.

	Albufeira de Odeleite	Albufeira de Beliche
Volume máximo (hm ³)	130	48
Volume mínimo (hm ³)	13	0,4

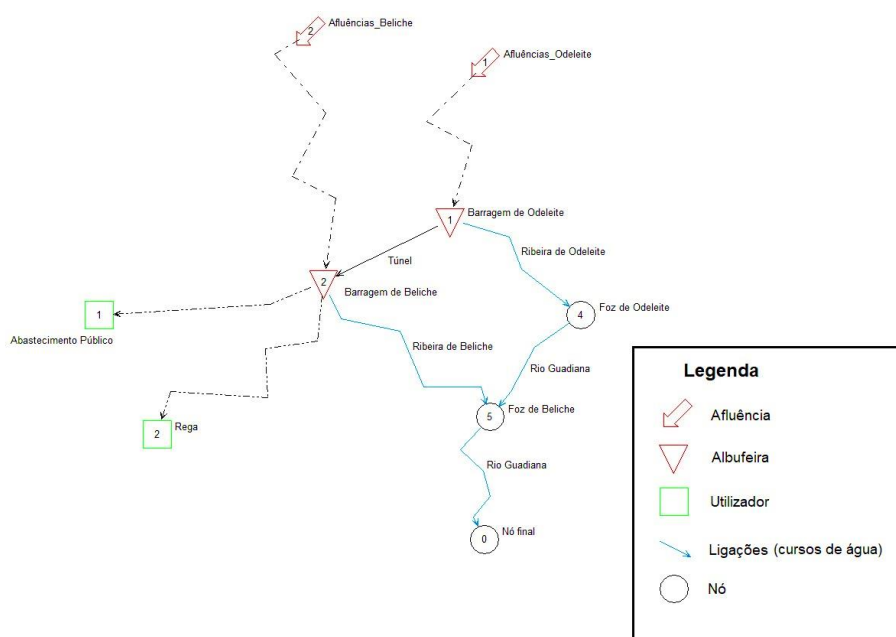


Figura 4.6 – Representação esquemática no AQUATOOL+ do EFM-OB.

O volume máximo corresponde ao volume da albufeira quando esta atinge o NPA e o volume mínimo corresponde ao volume morto da albufeira. Os valores para a evaporação mensal (mm/mês) nas albufeiras foram considerados iguais aos valores de evapotranspiração estimados no âmbito da aplicação do modelo de Temez para cada simulação (Kohli e Frenken, 2015).

Os valores de procura de água para os utilizadores foram fornecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente. O título de exploração anual para o abastecimento público e rega é de 45 e 19 hm³, respetivamente. O contrato de concessão do abastecimento público é até 2025 e 2027 no caso da rega. Para dividir estes volumes pelos meses do ano, foi calculada a percentagem média mensal dos consumos verificados nos anos de 2014, 2015 e 2016. Os valores do abastecimento público foram obtidos através de dados da empresa Águas do Algarve enquanto que os da rega foram obtidos através de dados da Agência Portuguesa do Ambiente, que resultaram nos valores do Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Valores de procura de água para os utilizadores (abastecimento público e rega).

	Meses do ano											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Abastecimento Público (hm ³)	2,77	2,49	2,87	2,84	3,52	4,14	5,78	6,28	4,65	3,70	3,03	2,92
Rega (hm ³)	0,16	0,39	1,06	0,92	2,03	2,77	3,66	3,36	2,69	1,28	0,36	0,32

Para os caudais ecológicos, considerou-se em cada simulação um valor de 15% das afluências médias mensais estimadas com o modelo de Temez para cada simulação. O valor de 15% é o mesmo utilizado por Nunes *et al* (2009) para a mesma área de estudo, que por sua vez têm como referência o trabalho anterior de Alves e Bernardo (2003).

Além das 36 simulações realizadas para cada um dos períodos futuros (2021/2050 e 2071/2100), foi também realizada uma simulação para o período de 1971/2000 com os dados observados (precipitação e temperatura). A simulação do sistema com os valores observados serve de situação de referência de forma a poder aferir o impacto das alterações climáticas nos períodos futuros.

O desempenho do sistema foi avaliado com os indicadores apresentados na secção 3.3. Para a fiabilidade usaram-se Fia_1 e Fia_2 (Equações 15 e 16, respetivamente), para a resiliência Res_1 e Res_2 (Equações 18 e 19, respetivamente) e por fim para a vulnerabilidade utilizaram-se as métricas Vul_1 , Vul_2 , Vul_3 e Vul_4 (Equações 20, 21, 22 e 23, respetivamente). O cálculo destes indicadores foi feito globalmente entre as duas utilizações (abastecimento público e rega), uma vez que em qualquer um dos cinco casos testados as prioridades são iguais. A existência de prioridades iguais implica que quando há água, ambas as procuras e caudais ecológicos são satisfeitos, caso não haja água suficiente, a água existente é repartida em igual proporção entre as procuras e os caudais ecológicos. Alguém ter prioridade superior significa que lhe é atribuída água em primeiro lugar numa situação de escassez.

Os casos considerados foram os seguintes:

- Caso 1 (onde se considerou uma igual prioridade relativamente à satisfação da procura das duas utilizações e dos caudais ecológicos);
- Caso 2 (satisfação dos caudais ecológicos com uma prioridade superior sobre às utilizações);
- Caso 3 (prioridades do caso 1 e redução do volume anual do abastecimento público);
- Caso 4 (prioridades do caso 1 e redução no volume anual da rega);
- Caso 5 (prioridades do caso 1 e redução do volume anual do abastecimento público e da rega).

As reduções utilizadas são explicadas na próxima secção e baseiam-se no Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Águas e de Drenagem de Águas Residuais

(Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto) e num estudo realizado sobre o potencial de redução na rega para a bacia Mediterrânica (Fader *et al*, 2016).

4.7 Resultados e discussão

Este subcapítulo contém os resultados das várias simulações efetuadas com o *software* AQUATOOL+. Em primeiro lugar é apresentado o desempenho do sistema para a situação de referência, seguido dos resultados das correções dos cenários de precipitação e temperatura. Por fim são apresentados os cinco casos considerados: com mais detalhe o caso 1 (onde se considerou uma igual prioridade entre utilizações para rega e abastecimento público e os caudais ecológicos), caso 2 (caudais ecológicos com uma prioridade superior sobre às utilizações), caso 3 (redução do volume anual do abastecimento público), caso 4 (redução no volume anual da rega) e por fim o caso 5 (redução do volume anual do abastecimento público e da rega).

4.7.1 Desempenho do sistema para a situação de referência

Em relação à simulação do EFM-OB para a situação de referência não foram detetadas quaisquer falhas no sistema. O volume total armazenado das duas albufeiras (Odeleite e Beliche) está representado na Figura 4.7 e os indicadores de desempenho estão apresentados no Quadro 4.4.

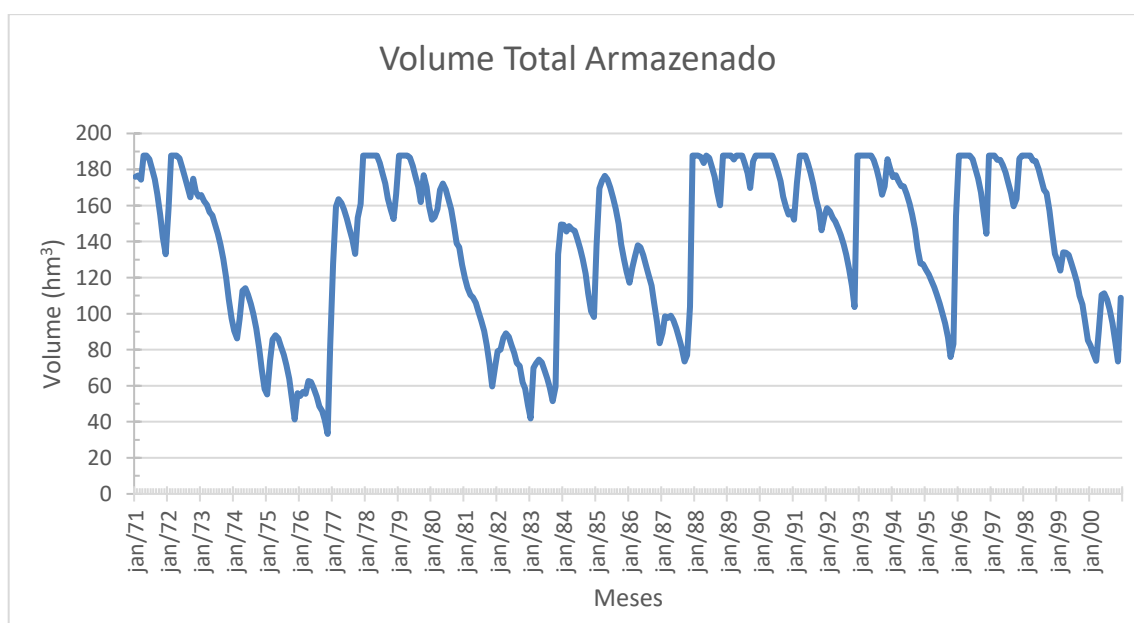


Figura 4.7 – Volume total armazenado do EFM-OB para a situação de referência (1971/2000).

Quadro 4.4 – Indicadores de desempenho para a situação de referência.

Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
1	1	1	1	0	0	0	0

4.7.2 Cenários de Precipitação

Nesta secção, são apresentados os cenários de precipitação calculados pelos métodos de correção (DC, DF e QM) e que constituem a “base” para a aplicação do modelo de Temez para estimar as afluências às barragens do EFM-OB. Nos quadros seguintes, é apresentado o valor médio da precipitação anual de cada cenário, bem como a variação com a precipitação média anual em relação à situação de referência. Para o período de referência, a precipitação média anual estimada é de 755,28 mm. No o período 2021/2050, o modelo regional CLMcom (Quadro 4.5) para o cenário RCP4.5 tem valores de precipitação média anual superiores aos do período de referência quando forçado por qualquer um dos MCG. Já no cenário RCP8.5 os valores da precipitação média anual são inferiores ao período de referência (exceto com o modelo global CNRM).

Quadro 4.5 – Valores da precipitação média anual do modelo regional CLMcom-CLM 4-8-17 para o período 2021/2050.

Período: 2021/2050					
Modelo Regional	Cenário	Modelo Global	Método de Correção	Precipitação média anual (mm)	Varição Precipitação (%)
CLMcom-CLM 4-8-17	RCP4.5	CNRM	DC	789	4
			DF	789	4
			QM	763	1
		ICHEC	DC	817	8
			DF	817	8
			QM	797	6
		MPI	DC	839	11
			DF	839	11
			QM	821	9
	RCP8.5	CNRM	DC	790	5
			DF	790	5
			QM	757	0
		ICHEC	DC	662	-12
			DF	662	-12
			QM	695	-8
		MPI	DC	722	-4
			DF	722	-4
			QM	734	-3

Ainda para o período 2021/2050, o modelo regional SMHI (Quadro 4.6) tem reduções na precipitação média anual em quase todas as simulações. No cenário RCP8.5, essas variações são mais acentuadas com o modelo global ICHEC, apresentando reduções na ordem dos 17%.

Quadro 4.6 – Valores da precipitação média anual do modelo regional SMHI-RCA4 para o período 2021/2050.

Período: 2021/2050					
Modelo Regional	Cenário	Modelo Global	Método de Correção	Precipitação média anual (mm)	Varição Precipitação (%)
SMHI-RCA4	RCP4.5	CNRM	DC	716	-5
			DF	716	-5
			QM	724	-4
		ICHEC	DC	735	-3
			DF	735	-3
			QM	742	-2
		MPI	DC	777	3
			DF	777	3
			QM	787	4
	RCP8.5	CNRM	DC	715	-5
			DF	715	-5
			QM	705	-7
		ICHEC	DC	624	-17
			DF	624	-17
			QM	629	-17
		MPI	DC	671	-11
			DF	671	-11
			QM	676	-11

No período 2071/2100 o modelo regional CLMcom (Quadro 4.7) tem reduções na precipitação média anual na maioria das simulações, sendo mais evidente para o cenário RCP8.5 nos modelos globais ICHEC e MPI. O modelo regional SMHI (Quadro 4.8) mostra reduções em todas as simulações, as maiores reduções na precipitação média anual verificam-se para o cenário RCP8.5 nos modelos globais ICHEC e MPI.

Para ambos os períodos, as maiores reduções na precipitação média anual verificam-se quando se combina o modelo regional SMHI com os modelos globais ICHEC e MPI.

Os valores da precipitação média anual para os métodos DC e DF são iguais, devido à natureza destes dois métodos de correção ser a mesma, a única coisa que muda é o fator de correção. Na Figura 4.8 estão representados os valores mensais da temperatura da combinação do modelo regional SMHI com o modelo global CNRM, para o período 2021/2050, no cenário RCP4.5. Apesar de os valores médios anuais serem iguais, os valores mensais da precipitação são diferentes, como se pode verificar na Figura 4.8.

Quadro 4.7 – Valores da precipitação média anual do modelo regional CLMcom-CLM 4-8-17 para o período 2071/2100.

Período: 2071/2100					
Modelo Regional	Cenário	Modelo Global	Método de Correção	Precipitação média anual (mm)	Alteração Precipitação (%)
CLMcom-CLM 4-8-17	RCP4.5	CNRM	DC	777	3
			DF	7767	3
			QM	748	-1
		ICHEC	DC	731	-3
			DF	731	-3
			QM	758	0
		MPI	DC	696	-8
			DF	696	-8
			QM	712	-6
	RCP8.5	CNRM	DC	730	-3
			DF	730	-3
			QM	738	-2
		ICHEC	DC	593	-21
			DF	593	-21
			QM	672	-11
		MPI	DC	600	-21
			DF	600	-21
			QM	636	-16

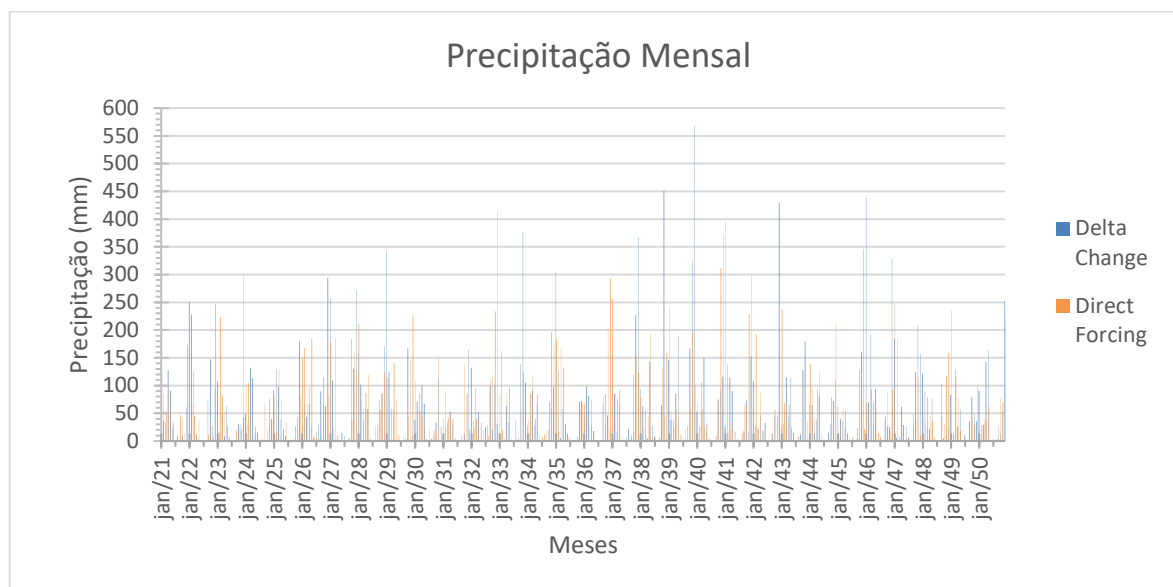


Figura 4.8 – Valores mensais da precipitação do modelo regional SMHI combinado com o modelo global CNRM para o período 2021/2050 no cenário RCP4.5 (métodos *Delta Change* e *Direct Forcing*).

Quadro 4.8 – Valores da precipitação média anual do modelo regional SMHI-RCA4 para o período 2071/2100.

Período: 2071/2100					
Modelo Regional	Cenário	Modelo Global	Método de Correção	Precipitação média anual (mm)	Alteração Precipitação (%)
SMHI-RCA4	RCP4.5	CNRM	DC	740	-2
			DF	740	-2
			QM	725	-4
		ICHEC	DC	688	-9
			DF	688	-9
			QM	712	-6
		MPI	DC	687	-9
			DF	687	-9
			QM	692	-8
	RCP8.5	CNRM	DC	633	-16
			DF	633	-16
			QM	662	-12
		ICHEC	DC	532	-30
			DF	532	-30
			QM	551	-27
MPI		DC	558	-26	
		DF	558	-26	
		QM	567	-25	

4.7.3 Cenários de Temperatura

Nesta secção, são apresentados os cenários de temperatura calculados pelo método de correção DC. A temperatura média anual no período de referência é de 16,47°C. Em ambos os períodos (2021/2050 e 2071/2100), verifica-se um aumento da temperatura média anual para todas as simulações (Quadro 4.9 e Quadro 4.10). O maior aumento verifica-se no período 2071/2100 no cenário RCP8.5 na combinação do modelo regional CLMcom com o modelo global MPI.

Quadro 4.9 – Valores temperatura média anual para o período 2021/2050.

Período: 2021/2050					
Modelo Regional	Cenário	Método de Correção	Modelo Global	Temperatura anual média (mm)	Variação Temperatura (%)
CLMcom-CLM 4-8-17	RCP4.5	DC	CNRM	17	6
			ICHEC	17	6
			MPI	17	5
	RCP8.5	DC	CNRM	17	6
			ICHEC	18	7
			MPI	18	9
SMHI-RCA4	RCP4.5	DC	CNRM	17	6
			ICHEC	18	6
			MPI	17	5
	RCP8.5	DC	CNRM	17	6
			ICHEC	18	7
			MPI	18	8

Quadro 4.10 – Valores temperatura média anual para o período 2071/2100.

Período: 2071/2100					
Modelo Regional	Cenário	Método de Correção	Modelo Global	Temperatura anual média (mm)	Variação Temperatura (%)
CLMcom-CLM 4-8-17	RCP4.5	DC	CNRM	18	11
			ICHEC	18	12
			MPI	18	11
	RCP8.5	DC	CNRM	20	21
			ICHEC	20	22
			MPI	20	24
SMHI-RCA4	RCP4.5	DC	CNRM	18	11
			ICHEC	18	12
			MPI	18	11
	RCP8.5	DC	CNRM	20	21
			ICHEC	20	22
			MPI	20	22

4.7.4 Caso 1 – igual prioridades entre utilizações e caudais ecológicos

Como descrito anteriormente, num primeiro caso foi considerada uma prioridade igual para o fornecimento de água para as duas utilizações (abastecimento público e rega) e a manutenção dos caudais ecológicos. O que significa que em caso de escassez, a água existente é repartida em igual proporção entre as procuras e os caudais ecológicos.

Para o período 2021/2050 e com o modelo regional CLMcom (Quadro 4.11), com o cenário RCP4.5 apenas se registou uma simulação com falha no modelo global ICHEC com o método de correção QM. Com o cenário RCP8.5, há falhas em quase todas as simulações. Os valores médios dos indicadores para cada cenário de emissões de GEE estão apresentados no Quadro 4.12.

Quadro 4.11 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,99	1,00	0,33	0,33	2,56	2,56	0,12	0,12	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1,00	1,00	1,00	1,00	2,39	2,39	0,35	0,35	Sim
	ICHEC	DC	0,98	0,97	0,38	0,25	16,53	30,17	0,78	0,96	Sim
	ICHEC	DF	0,95	0,95	0,22	0,14	21,12	40,84	0,79	0,92	Sim
	ICHEC	QM	0,96	0,96	0,31	0,25	19,24	22,99	0,80	0,92	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,95	0,95	0,16	0,11	32,74	48,57	0,86	0,94	Sim
	MPI	QM	0,99	1,00	1,00	1,00	2,02	3,87	0,42	0,56	Sim

Quadro 4.12 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,93	0,93	0,28	0,28	0,01	0,01
RCP8.5	0,98	0,98	0,67	0,64	10,45	16,54	0,44	0,52

Com o modelo regional SMHI (Quadro 4.13), a situação é mais gravosa. No cenário RCP8.5, há falhas em todas as simulações e no cenário RCP4.5 há mais simulações com falhas que com o modelo regional CLMcom. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão apresentados no Quadro 4.14.

Quadro 4.13 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	0,98	0,98	0,33	0,50	14,25	14,13	0,63	0,82	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	0,99	0,99	1,00	1,00	1,86	1,86	0,20	0,20	Sim
	ICHEC	DC	0,99	0,99	0,67	0,50	3,53	5,70	0,42	0,63	Sim
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,98	0,99	0,33	0,20	11,43	21,61	0,58	0,73	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	0,98	0,98	0,44	0,33	10,99	16,41	0,68	0,94	Sim
	CNRM	DF	0,99	0,99	0,25	0,25	10,88	10,88	0,46	0,51	Sim
	CNRM	QM	0,99	0,99	0,33	0,33	18,65	18,65	0,75	0,65	Sim
	ICHEC	DC	0,93	0,93	0,33	0,20	16,65	31,27	0,86	0,95	Sim
	ICHEC	DF	0,88	0,88	0,26	0,11	19,71	47,48	0,88	0,99	Sim
	ICHEC	QM	0,93	0,93	0,25	0,17	20,73	31,84	0,78	0,93	Sim
	MPI	DC	0,97	0,97	0,30	0,25	17,45	20,86	0,71	0,77	Sim
	MPI	DF	0,97	0,97	0,30	0,25	17,45	20,86	0,71	0,77	Sim
	MPI	QM	0,97	0,98	0,45	0,25	8,05	17,44	0,57	0,80	Sim

Quadro 4.14 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,81	0,80	3,45	4,81	0,20	0,26
RCP8.5	0,96	0,96	0,33	0,24	15,62	23,97	0,71	0,81

No período 2021/2050, a simulação mais gravosa verificou-se na combinação do modelo regional SMHI com o modelo global ICHEC, usando o método de correção DF para o cenário RCP8.5 (Quadro 4.13). O volume armazenado nas duas albufeiras está representado na Figura 4.9. Na Figura 4.10, é representado o défice global (abastecimento público e rega) e como se pode verificar o período onde há défices corresponde ao período onde o armazenamento das duas albufeiras atinge o valor mínimo (Figura 4.10). Nesta simulação há 11 falhas, a duração total das mesmas são 42 meses e o défice total são 216,84 hm³.

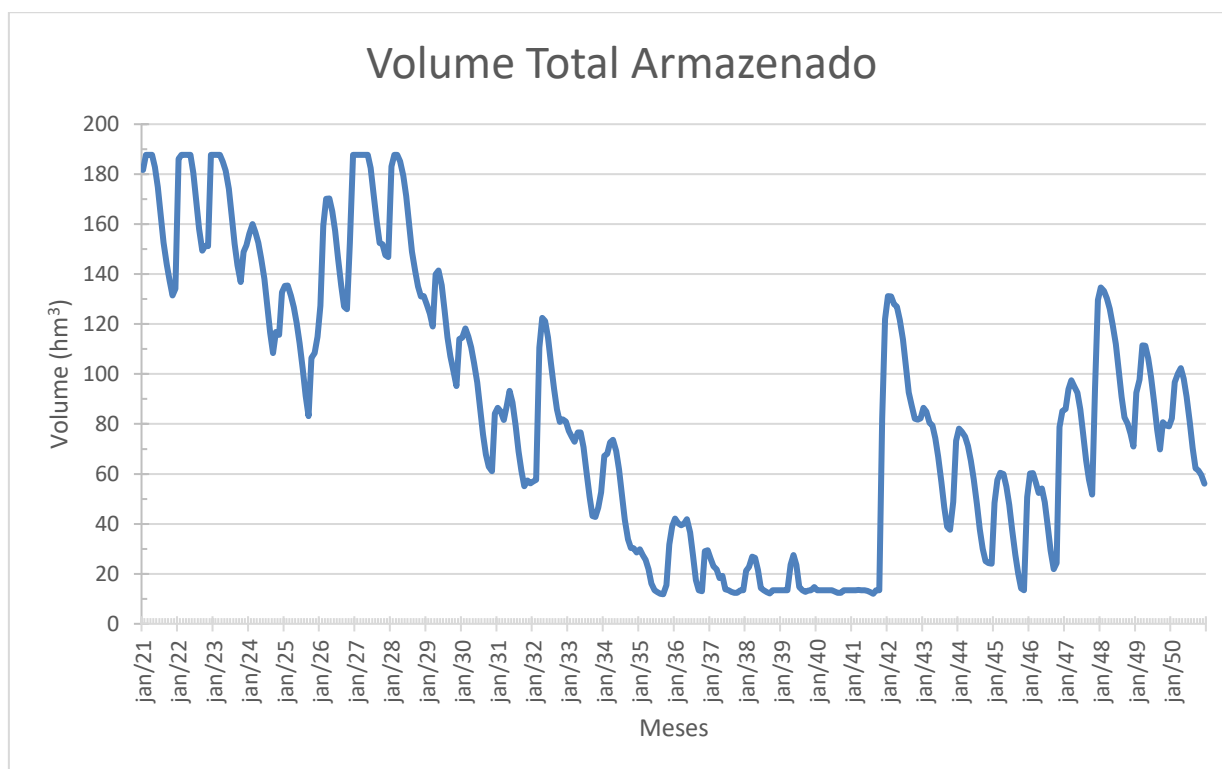


Figura 4.9 – Volume total armazenado do EFM-OB para o período de 2021/2050 com a simulação SMHI/ICHEC/DF.

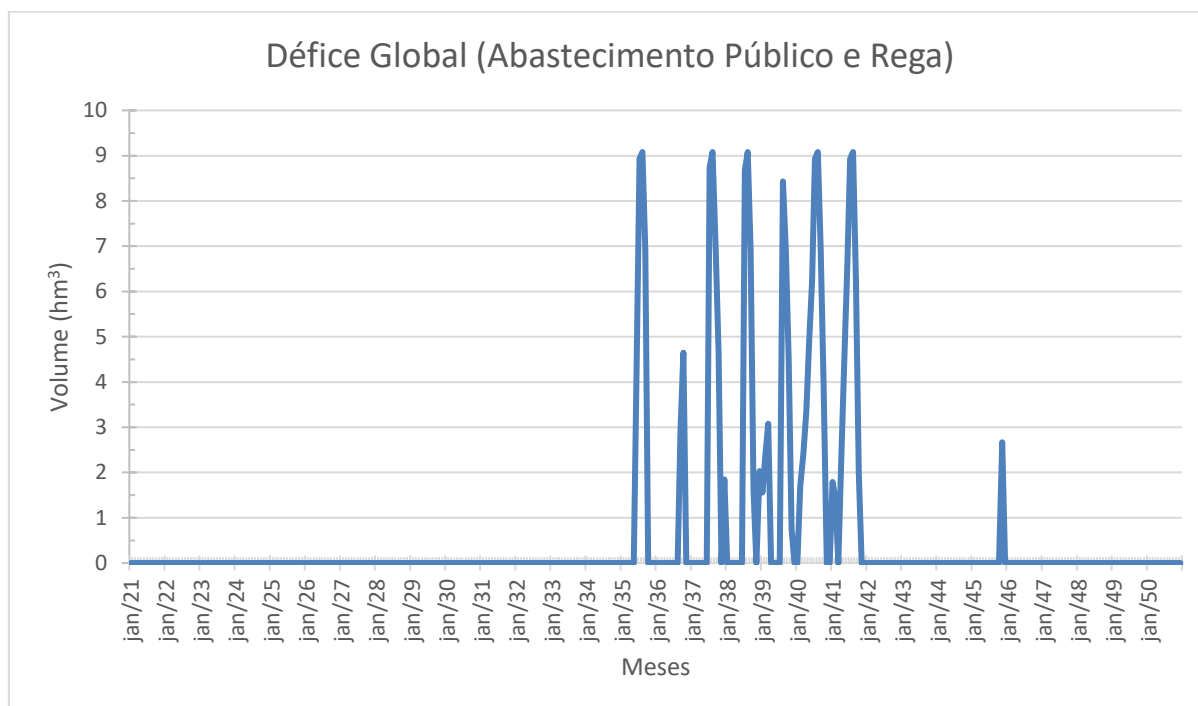


Figura 4.10 – Déficit global para o período 2021/2050 com a simulação SMHI/ICHEC/DF.

Para o período 2071/2100 o panorama muda consideravelmente. Com o modelo regional CLMcom (Quadro 4.15) para o cenário RCP4.5 só não há falhas em quatro simulações e no cenário RCP8.5 há falhas em todas as simulações. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão apresentados no Quadro 4.16.

Com o modelo regional SMHI (Quadro 4.17), a situação é idêntica ao modelo regional CLMcom. No Quadro 4.18 estão representados os valores médios dos indicadores de desempenho para cada cenário. Comparando os Quadros 4.15 e 4.18, para o modelo regional SMHI o desempenho do sistema é pior que no modelo regional CLMcom no mesmo período.

À semelhança do período 2021/2050, a simulação mais gravosa para o período 2071/2100 verificou-se para o cenário RCP8.5 na combinação do modelo regional SMHI com o modelo global ICHEC e com o método de correção DF (Quadro 4.17). O volume armazenado nas duas albufeiras do EFM-OB está representado na Figura 4.11 e os défices das utilizações (abastecimento público e rega) na Figura 4.12. Nesta simulação há 14 falhas, a duração total das mesmas são 80 meses e o défice total são 391,68 hm³.

Quadro 4.15 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,99	1,00	0,50	0,50	5,05	5,05	0,44	0,44	Sim
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,99	1,00	0,25	0,25	4,74	4,74	0,20	0,20	Sim
	MPI	DC	0,97	0,97	0,40	0,33	12,49	24,45	0,79	0,98	Sim
	MPI	DF	0,95	0,95	0,24	0,14	23,83	37,52	0,87	0,96	Sim
	MPI	QM	0,99	0,99	0,50	0,50	3,88	3,88	0,69	0,69	Sim
RCP8.5	CNRM	DC	0,98	0,98	0,38	0,20	12,95	25,47	0,70	0,78	Sim
	CNRM	DF	0,99	0,99	0,33	0,33	13,20	13,20	0,64	0,64	Sim
	CNRM	QM	0,99	0,99	0,25	0,25	23,18	23,18	0,98	0,98	Sim
	ICHEC	DC	0,92	0,92	0,32	0,17	16,51	29,58	0,82	1,00	Sim
	ICHEC	DF	0,94	0,95	0,33	0,14	12,29	13,93	0,71	0,95	Sim
	ICHEC	QM	0,97	0,97	0,45	0,25	9,71	14,69	0,74	1,00	Sim
	MPI	DC	0,92	0,93	0,30	0,20	14,34	10,45	0,79	0,97	Sim
	MPI	DF	0,98	0,98	0,33	0,25	14,09	19,64	0,73	0,75	Sim
	MPI	QM	0,95	0,96	0,29	0,25	15,71	21,67	0,76	0,91	Sim

Quadro 4.16 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,65	0,64	5,55	8,40	0,33	0,36
RCP8.5	0,96	0,96	0,33	0,23	14,66	19,09	0,76	0,89

Quadro 4.17 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	0,99	0,99	0,50	0,50	6,13	6,13	0,38	0,38	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,98	0,99	0,57	0,50	6,49	16,00	0,65	0,89	Sim
	ICHEC	DF	0,98	0,99	0,50	0,25	5,40	11,87	0,77	0,88	Sim
	ICHEC	QM	0,98	0,98	0,56	0,20	7,02	22,99	0,66	1,00	Sim
	MPI	DC	0,98	0,97	0,33	0,33	15,69	25,37	0,76	0,81	Sim
	MPI	DF	0,97	0,97	0,25	0,20	18,33	24,63	0,75	0,92	Sim
	MPI	QM	0,98	0,98	0,44	0,25	10,65	31,29	0,81	0,99	Sim
RCP8.5	CNRM	DC	0,93	0,92	0,35	0,14	16,65	39,25	0,91	1,00	Sim
	CNRM	DF	0,91	0,91	0,12	0,06	39,33	73,80	0,84	1,00	Sim
	CNRM	QM	0,98	0,97	0,33	0,25	15,41	27,96	0,72	0,89	Sim
	ICHEC	DC	0,81	0,80	0,16	0,09	32,35	55,18	0,89	1,00	Sim
	ICHEC	DF	0,78	0,78	0,18	0,06	27,98	67,79	0,84	0,99	Sim
	ICHEC	QM	0,86	0,85	0,20	0,10	26,45	45,65	0,86	1,00	Sim
	MPI	DC	0,89	0,89	0,26	0,17	19,23	31,51	0,85	0,96	Sim
	MPI	DF	0,92	0,93	0,29	0,08	15,28	59,64	0,83	0,99	Sim
	MPI	QM	0,89	0,90	0,26	0,17	17,26	26,66	0,78	1,00	Sim

Quadro 4.18 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,98	0,99	0,57	0,47	7,75	15,36	0,53	0,65
RCP8.5	0,89	0,89	0,24	0,12	23,33	47,49	0,84	0,98

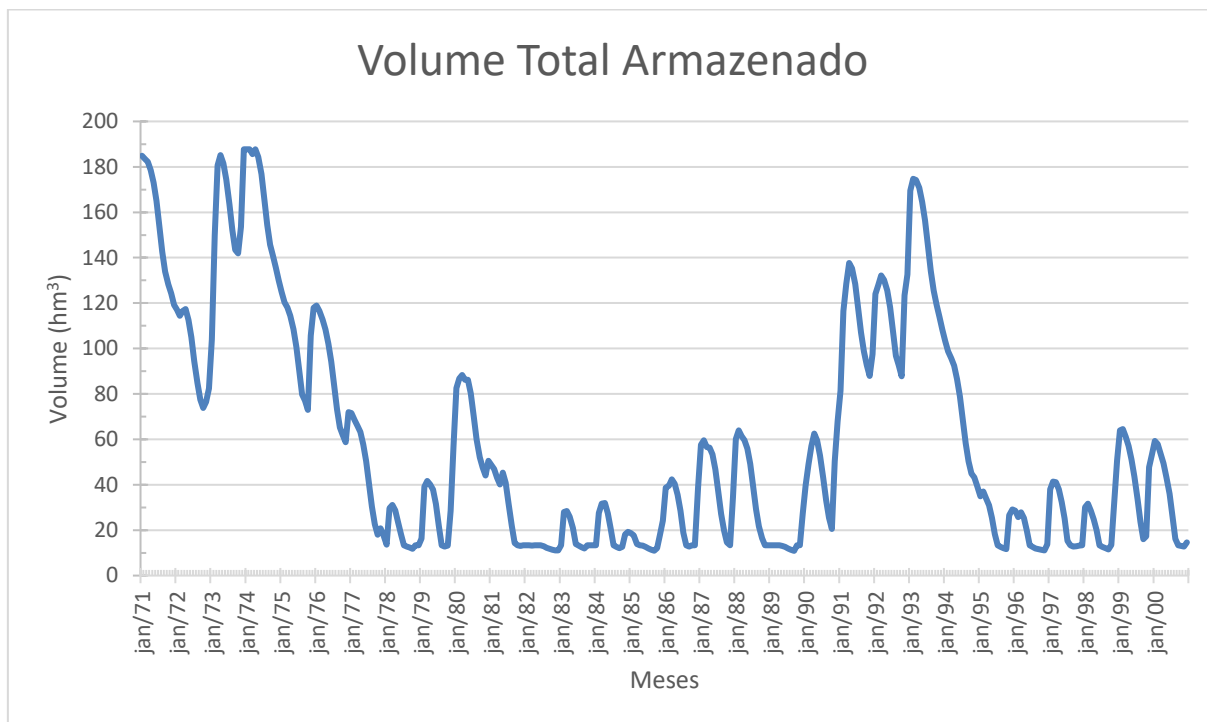


Figura 4.11 – Volume total armazenado do EFM-OB para o período de 2071/2100 com a simulação SMHI/ICHEC/DF.

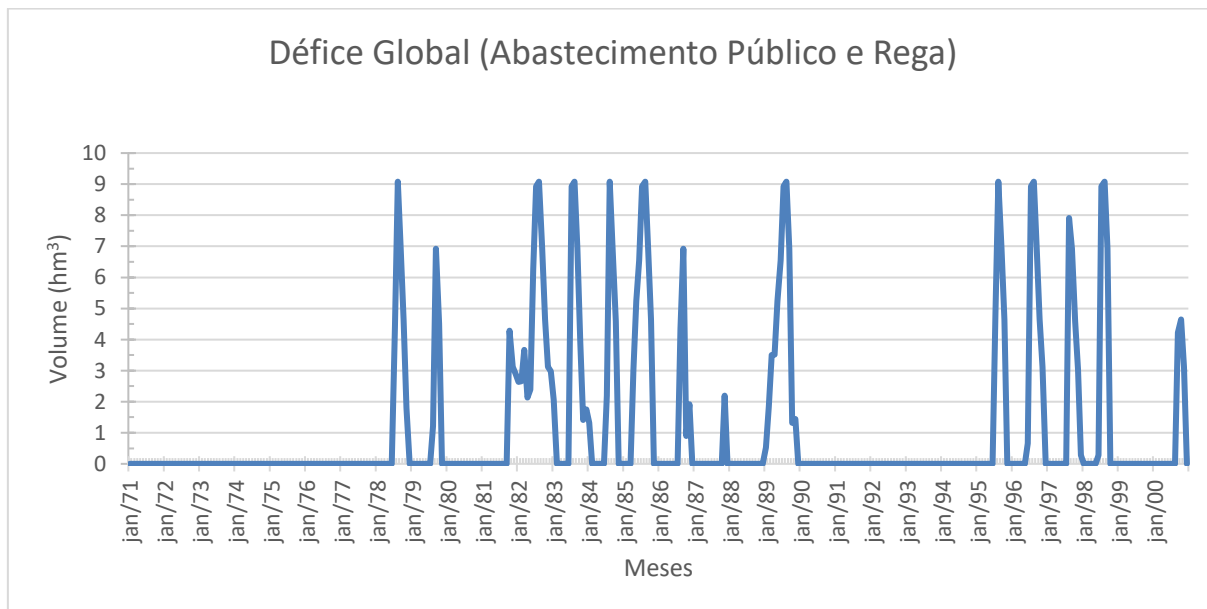


Figura 4.12 – Défice global para o período 2071/2100 com a simulação SMHI/ICHEC/DF.

4.7.5 Caso 2 - caudais ecológicos com uma prioridade superior às utilizações

Neste caso foi considerado que a manutenção dos caudais ecológicos tinha prioridade sobre as utilizações (abastecimento público e rega). Em caso de escassez é assegurada em primeiro lugar a manutenção dos caudais ecológicos. A realização deste caso foi considerada devido ao AQUATOOL+ considerar por defeito esta regra de exploração.

No geral, a situação é idêntica ao caso anterior. As simulações com falhas são as mesmas que no Caso 1 para ambos os períodos. A única diferença é que o sistema apresenta resultados mais gravosos devido a só ser entregue água ao abastecimento público e à rega após satisfazer os caudais ecológicos nas duas ribeiras. No período 2021/2050, para o modelo regional CLMcom os resultados dos indicadores para as simulações realizadas estão apresentados no Quadro 4.19. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.20.

Quadro 4.19 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-14 no período 2021/2050.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,99	1,00	0,25	0,25	5,35	5,35	0,23	0,23	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	0,99	1,00	0,33	0,33	4,67	4,67	0,32	0,32	Sim
	ICHEC	DC	0,97	0,97	0,30	0,17	17,15	31,91	0,72	0,81	Sim
	ICHEC	DF	0,94	0,94	0,10	0,05	51,15	98,70	0,88	0,94	Sim
	ICHEC	QM	0,96	0,95	0,27	0,17	20,55	30,71	0,79	0,92	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,94	0,94	0,15	0,10	35,12	50,87	0,90	0,94	Sim
	MPI	QM	0,99	1,00	1,00	1,00	2,08	3,93	0,43	0,57	Sim

Quadro 4.20 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,92	0,92	0,59	0,59	0,03	0,03
RCP8.5	0,98	0,98	0,57	0,54	14,52	24,53	0,45	0,50

Ainda no mesmo período, os resultados dos indicadores para o modelo regional SMHI estão apresentados no Quadro 4.21. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.22. No período 2021/2050 o modelo regional SMHI apresenta resultados mais gravosos que o modelo CLMcom em termos médios.

Quadro 4.21 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	0,98	0,98	0,29	0,20	15,72	17,05	0,65	0,90	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	0,99	0,99	1,00	1,00	1,63	1,39	0,27	0,45	Sim
	ICHEC	DC	0,99	0,99	0,67	0,50	3,93	2,16	0,47	0,63	Sim
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,98	0,98	0,43	0,20	9,39	25,42	0,66	0,78	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	0,97	0,97	0,40	0,25	12,31	14,12	0,73	1,00	Sim
	CNRM	DF	0,99	0,99	0,25	0,25	13,47	13,47	0,57	0,57	Sim
	CNRM	QM	0,99	0,99	0,33	0,33	18,71	18,71	0,75	0,75	Sim
	ICHEC	DC	0,92	0,92	0,29	0,14	18,81	36,72	0,89	1,00	Sim
	ICHEC	DF	0,86	0,86	0,14	0,05	35,47	105,33	0,87	1,00	Sim
	ICHEC	QM	0,93	0,92	0,26	0,14	19,70	37,72	0,80	1,00	Sim
	MPI	DC	0,97	0,97	0,42	0,25	11,87	16,61	0,75	1,00	Sim
	MPI	DF	0,92	0,92	0,17	0,05	30,25	102,44	0,91	1,00	Sim
	MPI	QM	0,97	0,97	0,42	0,25	9,94	9,27	0,68	1,00	Sim

Quadro 4.22 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,82	0,77	3,41	5,11	0,23	0,31
RCP8.5	0,95	0,95	0,30	0,19	18,95	39,38	0,77	0,92

No período 2071/2100, para o modelo regional CLMcom os resultados dos indicadores para as simulações realizadas estão apresentados no Quadro 4.23. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.24.

Quadro 4.23 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom CClm 4-8-17 no período 2071/2100.

Modelo Regional: CLMcom-CClcm 4-8-17 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,99	0,99	0,33	0,33	7,41	7,41	0,50	0,50	Sim
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,99	0,99	0,40	0,25	9,42	16,77	0,70	0,71	Sim
	MPI	DC	0,97	0,97	0,42	0,33	11,00	24,56	0,75	0,99	Sim
	MPI	DF	0,94	0,94	0,15	0,13	34,98	44,87	0,85	0,93	Sim
	MPI	QM	0,99	0,99	0,67	0,50	2,91	5,66	0,66	1,00	Sim
RCP8.5	CNRM	DC	0,98	0,98	0,44	0,20	10,94	25,48	0,68	0,78	Sim
	CNRM	DF	0,99	0,99	0,33	0,33	14,66	14,66	0,71	0,71	Sim
	CNRM	QM	0,98	0,99	0,43	0,25	8,78	23,23	0,61	0,98	Sim
	ICHEC	DC	0,90	0,91	0,31	0,11	14,96	43,39	0,80	1,00	Sim
	ICHEC	DF	0,94	0,94	0,30	0,14	14,36	29,95	0,77	1,00	Sim
	ICHEC	QM	0,96	0,97	0,40	0,17	9,95	30,83	0,74	1,00	Sim
	MPI	DC	0,91	0,92	0,27	0,17	16,20	27,58	0,80	0,99	Sim
	MPI	DF	0,98	0,98	0,33	0,25	14,35	19,68	0,74	0,83	Sim
	MPI	QM	0,94	0,95	0,30	0,20	15,28	22,82	0,79	1,00	Sim

Quadro 4.24 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom CCLm 4-8-17 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,66	0,62	7,30	11,03	0,39	0,46
RCP8.5	0,95	0,96	0,35	0,20	13,28	26,40	0,74	0,92

Por fim, ainda no mesmo período, os resultados dos indicadores para o modelo regional SMHI estão apresentados no Quadro 4.25. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.26. Para o período 2071/2100 modelo regional SMHI em termos médios apresenta resultados mais gravosos que o modelo CLMcom.

Quadro 4.25 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2071-2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	0,99	0,99	0,25	0,25	7,81	7,81	0,33	0,33	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,98	0,98	0,57	0,50	7,40	16,05	0,74	1,00	Sim
	ICHEC	DF	0,98	0,99	0,33	0,14	8,89	19,30	0,86	1,00	Sim
	ICHEC	QM	0,96	0,97	0,46	0,17	7,57	26,10	0,64	1,00	Sim
	MPI	DC	0,98	0,97	0,33	0,25	16,52	25,48	0,80	0,96	Sim
	MPI	DF	0,96	0,96	0,23	0,17	21,76	29,22	0,86	1,00	Sim
	MPI	QM	0,97	0,97	0,33	0,17	12,80	36,77	0,80	0,91	Sim
RCP8.5	CNRM	DC	0,91	0,90	0,29	0,09	17,29	48,37	0,87	1,00	Sim
	CNRM	DF	0,89	0,90	0,10	0,05	46,01	92,09	0,89	0,96	Sim
	CNRM	QM	0,98	0,97	0,33	0,25	16,97	28,10	0,79	0,89	Sim
	ICHEC	DC	0,79	0,78	0,15	0,08	35,32	61,80	0,92	1,00	Sim
	ICHEC	DF	0,76	0,76	0,16	0,06	30,76	72,88	0,87	1,00	Sim
	ICHEC	QM	0,85	0,84	0,20	0,09	26,33	53,26	0,89	1,00	Sim
	MPI	DC	0,89	0,88	0,24	0,17	20,77	27,04	0,87	0,997	Sim
	MPI	DF	0,92	0,93	0,23	0,08	18,50	59,99	0,85	1,00	Sim
	MPI	QM	0,87	0,89	0,23	0,14	17,86	30,83	0,75	0,89	Sim

Quadro 4.26 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,98	0,98	0,50	0,40	9,19	17,86	0,56	0,69
RCP8.5	0,87	0,87	0,22	0,11	25,53	52,71	0,86	0,97

Era esperado que o caso 2 apresentasse falhas em pelos menos as mesmas simulações que o caso 1, o que se acabou por se verificar, já que as simulações com falhas são iguais nos 2 casos. Também era esperado que os indicadores apresentassem valores mais gravosos que o caso 1 dado que só é fornecida água às utilizações depois de assegurar os caudais ecológicos.

4.7.6 Caso 3 – redução no abastecimento público

Nesta secção, são apresentados os resultados para o caso em que foi considerada uma redução no abastecimento público. Segundo dados da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de 2015 (ERSAR, 2015), as perdas reais de água das entidades que recebem água do EFM-OB rondam os 17%. Segundo o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Águas e de Drenagem de Águas Residuais (Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto) no dimensionamento de um sistema de abastecimento de água o valor mínimo a contabilizar para as perdas deve ser 10% do volume de água entrado no sistema. É uma hipótese para o futuro a redução das perdas para o valor de 10%. Uma redução das perdas de 7% foi utilizada para a definição de um novo valor relativo ao título de utilização do abastecimento público de 41,85 hm³ e que define a respetiva procura de água no contexto do presente trabalho, mantendo a mesma distribuição mensal.

No período 2021/2050, comparativamente ao caso 1, os resultados não são tão gravosos. Para o modelo regional CLMcom (Quadro 4.27) e no cenário RCP4.5, não se registaram simulações com falhas no sistema. No cenário RCP8.5, apenas se registaram falhas em quatro simulações. As falhas registaram-se em simulações que já apresentavam os piores indicadores. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.28.

Para o mesmo período com o modelo regional SMHI (Quadro 4.29) no cenário RCP4.5 verificaram-se duas simulações com falhas e no cenário RCP8.5 há falhas em todas as simulações exceto para o modelo global CNRM com o método de correção DF. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.30.

Quadro 4.27 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,99	0,98	0,40	0,33	13,90	20,72	0,71	0,84	Sim
	ICHEC	DF	0,96	0,96	0,21	0,14	23,08	37,25	0,84	0,94	Sim
	ICHEC	QM	0,98	0,97	0,50	0,33	12,73	23,18	0,89	1,00	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,96	0,95	0,20	0,17	26,51	37,50	0,87	1,00	Sim
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não

Quadro 4.28 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RCP8.5	0,99	0,99	0,70	0,66	8,47	13,18	0,37	0,42

Quadro 4.29 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	0,99	0,99	0,67	0,50	2,94	3,35	0,33	0,51	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,99	0,99	0,33	0,33	11,15	11,15	0,57	0,57	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	0,99	0,99	0,75	0,50	4,72	6,31	0,58	0,95	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	0,99	0,99	1,00	1,00	0,92	0,92	0,14	0,14	Sim
	ICHEC	DC	0,95	0,94	0,28	0,20	19,16	31,04	0,78	0,86	Sim
	ICHEC	DF	0,95	0,94	0,28	0,20	19,16	31,04	0,78	0,86	Sim
	ICHEC	QM	0,96	0,95	0,38	0,20	15,44	29,74	0,90	1,00	Sim
	MPI	DC	0,98	0,99	0,43	0,33	8,13	12,16	0,55	0,64	Sim
	MPI	DF	0,94	0,94	0,17	0,09	25,80	51,14	0,83	0,94	Sim
	MPI	QM	0,99	0,99	0,50	0,50	9,25	10,79	0,60	0,70	Sim

Quadro 4.30 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,89	0,87	1,57	1,61	0,10	0,12
RCP8.5	0,97	0,97	0,53	0,45	11,40	19,24	0,57	0,68

Também no período 2071/2100 os resultados são menos gravosos que no caso 1. Para o modelo regional CLMcom (Quadro 4.31) no cenário RCP4.5 verificaram-se falhas em quatro simulações, nos modelos globais MPI e ICHEC. Já no caso 1, as falhas para o modelo global MPI eram as mais gravosas dentro do cenário RCP4.5. No cenário RCP8.5, há falhas em todas as simulações exceto para o modelo global CNRM com o método de correção DF. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão apresentados no Quadro 4.32.

Para o mesmo período, 2071/2100 com o modelo regional SMHI (Quadro 4.33) no cenário RCP4.5 verificaram-se falhas para os modelos globais ICHEC e MPI. No cenário RCP8.5 há

falhas em todas as simulações, os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.34. A redução de 7% no abastecimento público não consegue eliminar as falhas já observadas no caso 1 nas simulações no cenário RCP8.5. Mais uma vez, o modelo regional SMHI tem os resultados mais gravosos para ambos os períodos.

Quadro 4.31 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	0,99	0,99	0,33	0,33	3,77	3,77	0,27	0,27	Sim
	MPI	DC	0,99	0,99	0,75	0,50	6,30	14,48	0,76	0,90	Sim
	MPI	DF	0,96	0,96	0,29	0,17	16,41	34,53	0,81	0,92	Sim
	MPI	QM	1	1	1	1	1	1	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	0,99	0,99	0,33	0,33	13,98	13,98	1,00	1,00	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	0,99	0,99	0,33	0,33	12,10	12,10	0,87	0,83	Sim
	ICHEC	DC	0,95	0,94	0,26	0,17	20,97	36,19	0,84	0,94	Sim
	ICHEC	DF	0,96	0,97	0,40	0,33	9,74	19,21	0,68	0,75	Sim
	ICHEC	QM	0,98	0,98	0,29	0,25	16,82	22,88	0,80	0,85	Sim
	MPI	DC	0,94	0,95	0,35	0,25	12,79	22,66	0,83	1,00	Sim
	MPI	DF	0,98	0,99	0,33	0,33	11,60	13,18	0,69	0,70	Sim
	MPI	QM	0,97	0,97	0,25	0,25	18,95	20,94	0,72	0,86	Sim

Quadro 4.32 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,82	0,78	3,02	5,95	0,24	0,26
RCP8.5	0,97	0,97	0,39	0,36	12,99	17,90	0,71	0,77

Quadro 4.33 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,99	0,99	1,00	1,00	5,53	5,53	0,64	0,64	Sim
	ICHEC	DF	0,99	0,99	1,00	1,00	1,37	2,41	0,42	0,96	Sim
	ICHEC	QM	0,99	0,99	0,40	0,25	10,40	15,74	0,60	0,76	Sim
	MPI	DC	0,99	0,99	0,50	0,33	9,94	15,52	0,65	0,66	Sim
	MPI	DF	0,98	0,98	0,22	0,20	20,15	21,98	0,75	0,90	Sim
RCP8.5	MPI	QM	0,99	0,99	0,25	0,25	25,25	25,25	0,84	0,84	Sim
	CNRM	DC	0,95	0,93	0,26	0,17	24,75	36,31	0,94	1,00	Sim
	CNRM	DF	0,93	0,93	0,12	0,06	39,84	62,69	0,83	0,97	Sim
	CNRM	QM	0,99	0,99	0,50	0,50	8,78	10,42	0,77	0,95	Sim
	ICHEC	DC	0,83	0,83	0,17	0,11	29,98	45,87	0,87	0,996	Sim
	ICHEC	DF	0,80	0,81	0,18	0,07	25,07	59,16	0,84	0,996	Sim
	ICHEC	QM	0,88	0,87	0,21	0,10	23,93	42,70	0,84	0,96	Sim
	MPI	DC	0,91	0,92	0,24	0,17	17,55	29,04	0,77	0,89	Sim
RCP8.5	MPI	DF	0,96	0,95	0,13	0,09	40,50	54,28	0,91	0,999	Sim
	MPI	QM	0,92	0,93	0,27	0,20	15,63	29,40	0,79	0,96	Sim

Quadro 4.34 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,71	0,67	8,07	9,60	0,43	0,53
RCP8.5	0,91	0,91	0,23	0,16	25,11	41,10	0,84	0,97

4.7.7 Caso 4 – redução na rega

Nesta secção, são apresentados os resultados para o caso em que foi considerada uma redução na rega. De acordo com Fader *et al* (2016), a bacia do mediterrâneo tem potencial para reduzir cerca de 35% da água usada para rega e ainda assim ter os mesmos ganhos. Admitindo então esta hipótese de redução de 35% da água utilizada para rega no futuro, o título de exploração anual, que define a procura, passa a ser de 12,35 hm³, mantendo a mesma distribuição mensal.

No período 2021/2050, para o modelo regional CLMcom (Quadro 4.35) no cenário RCP4.5 não se registaram simulações com falhas no sistema (já o mesmo foi verificado no caso 3). No cenário RCP8.5, apenas se registaram falhas em quatro simulações (as mesmas do caso 3 e as mais gravosas do caso 1). Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.36. Para o modelo regional SMHI (Quadro 4.37) no cenário RCP4.5 também não se registaram falhas, o que não acontece nos casos 1 e 3. No cenário RCP8.5, há falhas só em 4 simulações, com os modelos globais ICHEC e MPI, enquanto que o caso 1 apresenta falhas em todas as simulações. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.38.

Quadro 4.35 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,99	0,99	1,00	1,00	2,39	2,39	0,40	0,40	Sim
	ICHEC	DF	0,97	0,97	0,27	0,14	13,63	32,92	0,75	0,93	Sim
	ICHEC	QM	0,99	0,99	0,50	0,50	10,68	10,68	0,77	0,80	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,96	0,97	0,23	0,20	18,48	25,15	0,78	0,86	Sim
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não

Quadro 4.36 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RCP8.5	0,99	0,99	0,78	0,76	5,02	7,90	0,30	0,33

Quadro 4.37 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,98	0,97	0,33	0,33	17,30	20,03	0,85	0,90	Sim
	ICHEC	DF	0,91	0,91	0,24	0,11	17,01	41,12	0,81	0,93	Sim
	ICHEC	QM	0,97	0,97	0,27	0,20	18,24	23,04	0,76	0,83	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,96	0,96	0,19	0,09	22,25	47,26	0,90	0,93	Sim
MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não	

Quadro 4.38 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RCP8.5	0,98	0,98	0,67	0,64	8,31	14,61	0,37	0,40

No período 2071/2100, para o modelo regional CLMcom (Quadro 4.39) no cenário RCP4.5 verificou-se apenas uma simulação com falhas no modelo global MPI com o método de correção DF, que corresponde à simulação mais gravosa para o mesmo período e cenário do caso 1. O cenário RCP8.5 apesar de apresentar 6 simulações com falhas, tem menos falhas que o caso 1 que apresentou falhas em todas as simulações. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão apresentados no Quadro 4.40. No modelo regional SMHI (Quadro 4.41) para o cenário RCP4.5 verificaram-se duas simulações com falhas para o modelo global MPI. No cenário RCP8.5 há falhas em todas as simulações, exceto no modelo global CNRM com o método de correção QM. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.42. A redução na rega tem um impacto maior no sistema que a redução no abastecimento público e o modelo regional SMHI volta a ter os resultados mais gravosos.

Quadro 4.39 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCLm 4-8-17 no período 2071/2100.

Modelo Regional: CLMcom-CCLm 4-8-17 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,98	0,98	0,22	0,17	17,58	30,66	0,79	0,88	Sim
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	0,99	0,99	1,00	1,00	0,62	0,62	0,21	0,21	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,97	0,97	0,36	0,17	11,97	31,26	0,81	0,99	Sim
	ICHEC	DF	0,98	0,98	0,44	0,33	7,58	15,23	0,68	1,00	Sim
	ICHEC	QM	0,99	0,99	0,25	0,25	18,21	18,21	0,71	0,71	Sim
	MPI	DC	0,97	0,97	0,33	0,25	12,85	19,45	0,76	0,92	Sim
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	0,98	0,98	0,33	0,25	9,62	14,82	0,54	0,65	Sim

Quadro 4.40 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,91	0,91	1,95	3,41	0,09	0,10
RCP8.5	0,99	0,99	0,64	0,58	6,76	11,07	0,41	0,50

Quadro 4.41 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,99	0,99	0,25	0,25	18,23	18,23	0,77	0,77	Sim
RCP8.5	MPI	QM	0,99	0,99	1,00	1,00	1,30	1,30	0,19	0,19	Sim
	CNRM	DC	0,96	0,96	0,31	0,25	17,81	23,55	0,73	0,81	Sim
	CNRM	DF	0,95	0,96	0,18	0,08	23,02	40,29	0,72	0,75	Sim
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,98	0,98	0,33	0,25	9,62	14,82	0,48	0,57	Sim
	ICHEC	DF	0,84	0,86	0,20	0,08	22,18	50,71	0,75	0,84	Sim
	ICHEC	QM	0,91	0,92	0,24	0,11	18,48	38,21	0,72	0,85	Sim
	MPI	DC	0,94	0,95	0,27	0,25	14,00	25,47	0,70	0,86	Sim
MPI	DF	0,98	0,98	0,14	0,14	36,75	36,75	0,83	0,83	Sim	
MPI	QM	0,95	0,95	0,32	0,20	13,72	25,27	0,78	0,98	Sim	

Quadro 4.42 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,92	0,92	2,17	2,17	0,11	0,11
RCP8.5	0,95	0,95	0,33	0,26	17,29	28,34	0,63	0,72

Relativamente ao caso 1, para o período 2021/2050 no cenário RCP4.5 há uma eliminação das simulações com falhas. No cenário RCP8.5 há uma diminuição nas simulações com falhas e os indicadores apresentam melhores resultados, o mesmo é válido para o período 2071/2100 nos dois cenários (RCP4.5 e RCP8.5).

4.7.8 Caso 5 – redução no abastecimento público e na rega

Enquanto que os casos 3 e 4 foram analisadas reduções nos consumos isoladamente. Este último caso junta as reduções do abastecimento público e da rega. Os títulos de exploração anual que definem a procura são os mesmos que nos casos 3 e 4, para o abastecimento público 41,85 hm³ e para a rega 12,35 hm³.

No período 2021/2050, para o modelo regional CLMcom (Quadro 4.43) no cenário RCP4.5 não se registaram simulações com falhas no sistema (tal como no caso 3 e 4) e no cenário RCP8.5 apenas se registaram falhas em três simulações (menos que em todos os casos anteriores), com os modelos globais ICHEC e MPI. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.44. Ainda no mesmo período 2021/2050, para o modelo regional SMHI (Quadro 4.45) a situação é semelhante, no cenário RCP4.5 também não se registaram simulações com falhas (o que já se tinha verificado no caso 4) e no cenário RCP8.5 há falhas só em três simulações, no modelo global ICHEC e MPI (as mesmas do caso 4). Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.46.

No período 2071/2100, para o modelo regional CLMcom (Quadro 4.47) no cenário RCP4.5 verificou-se apenas uma simulação com falhas (menos que em todos os casos anteriores) no modelo global MPI com o método de correção DF. No cenário RCP8.5 há falhas em cinco simulações. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão apresentados no Quadro 4.48. Por fim, para o modelo regional SMHI (Quadro 4.49) no cenário RCP4.5 verificou-se apenas uma simulação com falhas para o modelo global MPI com o método de correção DF. No cenário RCP8.5 há falhas em todas as simulações, exceto no modelo global CNRM com o método de correção DF. Os valores médios dos indicadores para cada cenário estão representados no Quadro 4.50.

Face ao caso 1, há uma grande diferença nos resultados. Para o período 2021/2050 no cenário RCP4.5 não se verificaram agora simulações com falhas e no cenário RCP8.5 há uma diminuição do número de simulações com falhas acompanhada de uma melhoria dos valores dos indicadores, o mesmo é válido para o período 2071/2100 nos dois cenários de emissões de GEE (RCP4.5 e 8.5). Continua a ser o modelo regional SMHI a ter os resultados mais gravosos.

Contudo este caso é o que apresenta menos simulações com falhas e melhores valores para os indicadores, o que era esperado já que os volumes de água procurados sofreram uma redução.

Quadro 4.43 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	0,99	0,99	0,2	0,1	16,3	31,4	0,8	0,9	Sim
	ICHEC	QM	0,99	0,99	1,0	1,0	1,2	1,2	0,2	0,2	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,97	0,97	0,27	0,25	13,18	17,46	0,75	0,87	Sim
	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não

Quadro 4.44 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RCP8.5	0,99	0,99	0,83	0,82	3,41	5,56	0,19	0,22

Quadro 4.45 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2021/2050)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fial ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
RCP8.5	MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,99	0,99	0,60	0,50	4,97	9,55	0,52	0,72	Sim
	ICHEC	DF	0,92	0,93	0,20	0,11	18,10	38,82	0,78	0,92	Sim
	ICHEC	QM	0,99	0,98	0,40	0,33	11,46	11,56	0,76	0,86	Sim
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,92	0,93	0,20	0,11	18,10	38,82	0,78	0,92	Sim
MPI	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não	

Quadro 4.46 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2021/2050.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RCP8.5	0,98	0,98	0,71	0,67	5,85	10,97	0,32	0,38

Quadro 4.47 – Indicadores de desempenho para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.

Modelo Regional: CLMcom-CCIm 4-8-17 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,98	0,98	0,17	0,17	27,61	27,61	0,85	0,85	Sim
	MPI	QM	1	1	1	1	1	1	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	0,98	0,98	0,29	0,17	14,59	27,72	0,73	0,81	Sim
	ICHEC	DF	0,99	0,99	0,50	0,50	8,39	13,19	0,84	1,00	Sim
	ICHEC	QM	0,99	0,99	0,33	0,33	8,45	8,45	0,49	0,49	Sim
	MPI	DC	0,98	0,98	0,29	0,25	15,07	15,31	0,81	0,89	Sim
	MPI	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	QM	0,99	0,99	0,33	0,33	8,83	8,83	0,71	0,71	Sim

Quadro 4.48 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional CLMcom-CCIm 4-8-17 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	0,99	0,99	0,91	0,91	3,15	3,15	0,13	0,13
RCP8.5	0,99	0,99	0,64	0,62	6,15	8,17	0,40	0,43

Quadro 4.49 – Indicadores de desempenho para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Modelo Regional: SMHI-RCA4 (2071/2100)											
Cenário Climático	Modelo Global	Método de Correção	Indicadores								Falha
			Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄	
RCP4.5	CNRM	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	ICHEC	QM	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DC	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	MPI	DF	0,99	0,99	0,33	0,33	8,54	8,54	0,68	0,68	Sim
	MPI	QM	1	1	1	1	1	1	0	0	Não
RCP8.5	CNRM	DC	0,98	0,98	0,44	0,33	7,85	13,38	0,59	0,65	Sim
	CNRM	DF	1	1	1	1	0	0	0	0	Não
	CNRM	QM	0,98	0,97	0,33	0,25	12,81	17,49	0,81	0,92	Sim
	ICHEC	DC	0,89	0,89	0,23	0,13	18,70	32,72	0,82	1,000	Sim
	ICHEC	DF	0,87	0,87	0,21	0,09	19,63	41,91	0,84	0,994	Sim
	ICHEC	QM	0,92	0,93	0,25	0,11	15,87	34,61	0,80	1,00	Sim
	MPI	DC	0,96	0,96	0,40	0,25	8,95	22,67	0,82	0,999	Sim
	MPI	DF	0,99	0,99	0,20	0,20	20,73	20,73	0,76	0,761	Sim
	MPI	QM	0,96	0,96	0,27	0,20	14,29	22,57	0,78	0,92	Sim

Quadro 4.50 – Valores médios dos indicadores para o modelo regional SMHI-RCA4 no período 2071/2100.

Cenário	Fia ₁	Fia ₂	Res ₁	Res ₂	Vul ₁	Vul ₂	Vul ₃	Vul ₄
RCP4.5	1,00	1,00	0,93	0,93	1,03	1,03	0,11	0,11
RCP8.5	0,95	0,95	0,37	0,28	13,20	22,90	0,69	0,81

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Como foi descrito no capítulo 2, de acordo com o quinto relatório do IPCC, as últimas três décadas foram sucessivamente mais quentes e o aquecimento vai continuar a fazer-se sentir no futuro. Mesmo que as emissões de GEE cessassem hoje, o potencial de aquecimento e o tempo de residência dos gases iria fazer com que o aquecimento global continuasse.

Para lidar com este problema existem duas abordagens possíveis: implementar medidas de mitigação ou de adaptação às alterações climáticas. Este trabalho ao admitir que o aquecimento global se vai fazer sentir no futuro segue a abordagem de adaptação às alterações climáticas, procurando avaliar que impacto terão no futuro as alterações climáticas, e possíveis medidas de adaptação a um empreendimento de fins múltiplos. No trabalho foi utilizado um conjunto de simulações MCR-MCG para dois períodos futuros (2021/2050 e 2071/2100). Os dados climáticos dessas simulações foram corrigidos e aplicados a um modelo hidrológico para estimar as afluências às duas barragens do EFM-OB, por fim foi utilizado o *software* AQUATOOL+ juntamente com um conjunto de indicadores para avaliar o desempenho do sistema. Desde modo pretende-se avaliar no setor da gestão dos recursos hídricos, que impacto terão no futuro as alterações climáticas e possíveis medidas de adaptação.

As previsões para o futuro possuem um determinado grau de incerteza que está associado ao cenário de emissões, bem como desvios nas variáveis (precipitação e temperatura). Utilizou-se uma combinação de MCR-MCG juntamente com vários métodos de correção para caracterizar a incerteza relativa à evolução do clima, tendo-se utilizado 36 simulações para cada período futuro (2021/2050 e 2071/2100), 18 por cada cenário de emissões de GEE (RCP4.5 e RCP8.5). Foram também considerados cinco casos diferentes, sendo eles:

- Caso 1 (onde se considerou uma igual prioridade entre as utilizações e os caudais ecológicos);
- Caso 2 (caudais ecológicos com uma prioridade superior sobre as utilizações);
- Caso 3 (prioridades do caso 1 e redução do volume anual do abastecimento público);
- Caso 4 (prioridades do caso 1 e redução no volume anual da rega);

- Caso 5 (prioridades do caso 1 e redução do volume anual do abastecimento público e da rega).

Em relação aos valores corrigidos de precipitação média anual, para ambos os períodos futuros, o modelo regional SMHI apresentou resultados mais gravosos que o modelo CLMcom. Os piores cenários em relação ao período de referência verificaram-se na combinação do modelo regional SMHI com o modelo global ICHEC. Para a temperatura, os dois modelos regionais, apresentaram resultados idênticos.

Quanto à avaliação dos resultados, na situação de referência (1971/2000) não foi observada qualquer falha do sistema. Verificou-se também um comportamento cíclico entre períodos mais secos e períodos mais húmidos.

No caso 1, para o período 2021/2050, no cenário RCP4.5, o modelo regional SMHI apresentou um maior número de simulações com falhas que o modelo CLMcom, a maior parte das falhas verificadas nas simulações dos dois modelos regionais são de um défice baixo. No cenário RCP8.5 o modelo regional SMHI apresentou falhas em todas as simulações e o CLMcom só não apresentou em três. A gravidade das falhas verificadas nas simulações é maior que no cenário RCP4.5. Para o período 2071/2100, o cenário é pior: os modelos regionais SMHI e CLMcom só não apresentaram falhas para duas e quatro simulações respetivamente, todas no cenário RCP4.5; verificaram-se simulações com algumas falhas graves no cenário RCP8.5, nomeadamente para a combinação SMHI-ICHEC-DF.

O caso 2 é semelhante ao caso 1. As simulações que apresentaram falhas são as mesmas nos dois casos. A ordem de grandeza dos indicadores é a mesma. A única diferença é que no caso 2 os resultados foram mais gravosos. Este resultado era esperado, dado que para este segundo caso só era entregue água às utilizações (abastecimento público e rega) depois de ser assegurada a manutenção dos caudais ecológicos.

No caso 3, a redução de 7% nas perdas do abastecimento público melhorou consideravelmente o desempenho do sistema. No período 2021/2050, no cenário RCP4.5 só há duas simulações com falhas para o modelo regional SMHI e dado o valor dos indicadores, são pequenas falhas com uma magnitude reduzida, nunca chegando a haver um corte total no fornecimento de água às utilizações. No cenário RCP8.5 o cenário é pior, em ambos os modelos regionais há simulações onde em determinados eventos de falha, não foi fornecida qualquer água às utilizações. Para o período 2071/2100 a situação é mais gravosa. Em ambos os modelos regionais, no cenário RCP4.5 não se verificaram falhas onde existisse um corte total da água fornecida aos utilizadores, contudo há algumas simulações onde o défice máximo é elevado, os valores da resiliência baixos, e a fiabilidade elevada, o que significa que nessas simulações

existem poucas falhas, mas com uma maior duração. Para o cenário RCP8.5 à semelhança do período 2021/2050 a situação volta a piorar. O sistema apresentou um pior desempenho em ambos os modelos regionais havendo simulações onde em determinados eventos de falha não foi fornecida qualquer água às utilizações.

No caso 4, a redução de 35% na água usada para rega teve mais impacto no sistema que a redução de 7% nas perdas do abastecimento público do caso 3. No período 2021/2050, no cenário RCP4.5, não se verificaram simulações com falhas em nenhum dos modelos regionais e no cenário RCP8.5, nas simulações com falhas, não se verificaram cortes totais no fornecimento de água aos utilizadores. Para o período 2071/2100 a situação é mais gravosa, no cenário RCP4.5 na maior parte das simulações não se verificaram falhas e as falhas que se verificaram são de baixa magnitude, exceto uma para a combinação SMHI-MPI-DF. No cenário RCP8.5 continuaram a verificar-se algumas simulações com resultados mais graves, principalmente no modelo regional SMHI, mas com um desempenho muito melhor que nos casos 1 e 2.

Por fim, no caso 5, combinaram-se as reduções do abastecimento público e da rega. Como era de esperar, este caso foi onde se verificou o melhor desempenho do sistema. No período 2021/2050 no cenário RCP4.5 não se verificaram simulações com falhas. Para o cenário RCP8.5, o desempenho do sistema piorou para o modelo regional SMHI. Para o período 2071/2100 a situação é mais gravosa, no cenário RCP4.5 apenas houve uma simulação com falha comum aos dois modelos regionais, com o modelo global MPI e o método correção DF, sendo mais gravosa para o modelo regional CLMcom. Para o cenário RCP8.5, no geral o desempenho do sistema piorou para o modelo regional SMHI.

Para o mesmo cenário de emissões de GEE há combinações MCR-MCG cujas simulações apresentaram falhas com um determinado método de correção e com outro isso já não se verificou. Torna-se então difícil dizer com exatidão, como vai ser o desempenho do sistema nos períodos futuros (2021/2050 e 2071/2100) devido a esta variabilidade. A partir do que foi indicado na secção 2.2, já era esperado que no cenário RCP8.5 e no período 2071/2100 se verificassem os resultados mais gravosos. O modelo regional SMHI foi o que apresentou resultados mais gravosos no desempenho do sistema e os piores cenários verificaram-se quando foi combinado com o modelo global ICHEC para o período 2071/2100.

Todos os casos apresentaram simulações com um desempenho inferior à situação de referência. As reduções no abastecimento público (caso 3), na rega (caso 4) e as duas em conjunto (caso 5), melhoraram significativamente o desempenho do sistema, contudo caso não haja uma redução nos consumos (caso 1) e se verifique o cenário RCP8.5 existe uma grande probabilidade de

ocorrerem falhas no sistema em ambos os períodos, comprometendo o abastecimento público e a rega.

5.2 Trabalhos futuros

Ao longo da realização deste trabalho surgiram algumas ideias importantes que podem ser alvo de uma futura investigação, incluindo:

- A implementação de regras de exploração no EFM-OB – a atribuição de regras de exploração ao EFM-OB não deveria evitar a existência das falhas verificadas nas simulações, mas poderia atenuar as mesmas, diminuindo principalmente a sua gravidade.
- O estudo da necessidade de construção de uma nova barragem no empreendimento – existe a possibilidade de construção da barragem da Foupana e a sua ligação ao EFM-OB (Jornal do Baixo Guadiana, 2017). Devido à gravidade das falhas verificadas em algumas simulações, seria interessante estudar o resultado da construção de uma nova barragem do empreendimento de fins múltiplos.
- A definição de outros cenários de procura para os períodos futuros – desta forma era possível avaliar com uma maior exatidão e extensão o impacto das alterações climáticas no EFM-OB.
- A aplicação de índices de seca à gestão do EFM-OB para os cenários climáticos futuros – combinar os índices de seca com os cenários climáticos futuros poderia levar uma avaliação mais precisa dos impactos das alterações climáticas no EFM-OB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA - Agência Portuguesa do Ambiente. (2017). Alterações Climáticas - Adaptação em Portugal. Obtido a 14 de Agosto de 2017, de: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=395>.
- APA - Administração da Região Hidrográfica do Centro I.P. (2012). "Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga , Mondego e Lis Integradas na Região Hidrográfica 4".
- APA - Agência Portuguesa do Ambiente. (2014). "Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas". pp. 1–20.
- APA - Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). "Programa Nacional para as Alterações Climáticas".
- Alves, M. H., e Bernardo, J. M. (2003). "Caudais ecológicos em Portugal". Lisboa.
- Andreu, J., Capilla, J., e Sanchís, E. (1996). "AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management". *Journal of Hydrology*, Vol. 177(3–4), pp. 269–291.
- Cunha, M. C. (2006). "Gestão da Água". Universidade de Coimbra.
- Decreto Regulamentar n.º. 23/95 do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Diário da República, I série, N.º 194, de 23 de Agosto de 1995. Obtido de www.dre.pt.
- DGADR - Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. (2008). "Caracterização do Aproveitamento Hidroagrícola do Sotavento Algarvio". DGADR, Lisboa.
- ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (2015). "Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal (Vol. 1)". ERSAR, Lisboa.
- Fader, M., Shi, S., Bondeau, A., e Cramer, W. (2016). "Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements". *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 20, pp. 953–973.
- Giorgi, F., e Gutowski, W. J. (2015). "Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. *Annual Review of Environment and Resources*", Vol. 40(1), pp. 467–490.
- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., e Engen-Skaugen, T. (2012). "Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations - a comparison of methods". *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 16(9), pp. 3383–3390.
-

- Hashimoto, T., Stedinger, J. R., e Loucks, D. P. (1982). "Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation". *Water Resources Research*, Vol. 18(1), pp. 14–20.
- IPCC. (2000). "IPCC Special Report Emissions Scenarios".
- IPCC. (2007). What is the Greenhouse Effect? Obtido a 19 de Fevereiro de 2017, de: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014 - Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPMA. (2017a). Portal do Clima - Glossário. Obtido a 10 de Julho de 2017, de: <http://portaldoclima.pt/pt/o-projeto/glossario/>.
- IPMA. (2017b). Portal do Clima - Modelos climáticos. Obtido 4 a de Março de 2017, de: <http://portaldoclima.pt/pt/o-projeto/metodologia/modelos-climaticos/>.
- Jornal do Baixo Guadiana. (2017). "Agricultores temem que sistema Odeleite-Beliche seja insuficiente perante seca". Obtido a 3 de Agosto de 2017, de: <https://www.jornaldobaixoguadiana.pt/2017/06/05/agricultores-temem-que-sistema-odeleite-beliche-ser-insuficiente-perante-seca/>.
- Kjeldsen, T. R., e Rosbjerg, D. (2004). "Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems". *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 49(5), pp. 755–767.
- Kohli, A., e Frenken, K. (2015). *Evaporation from artificial lakes and reservoirs*. AQUASTAT Programme, FAO.
- Kundzewicz, Z. W., e Kindler, J. (1995). "Multiple criteria for evaluation of reliability aspects of water resource systems". *Modelling and Management of Sustainable Basin-scale Water Resource Systems*, Simonovic, S. P., Kundzewicz, Z. W., Rosbjerg, D., e Takeuchi, K., eds., IAHS Press, Wallingford, Reino Unido, pp. 217–224.
- López-Moreno, J., Goyette, S., e Beniston, M. (2008). "Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and predictions over the Pyrenees from a set of regional climate models". *International Journal of Climatology*, Vol. 28, pp.1538–1550.
- McMahon, T. A., Adeloye, A. J., e Zhou, S.-L. (2006). "Understanding performance measures of reservoirs". *Journal of Hydrology*, Vol. 324(1–4), pp. 359–382.
- Mourato, S., Moreira, M., e Corte-Real, J. (2014). "Water availability in southern portugal for different climate change scenarios subjected to bias correction". *Journal of Urban and Environmental Engineering*, Vol. 8(1), pp. 109–117.

- Moy, W.-S., Cohon, J. L., e ReVelle, C. S. (1986). "A Programming Model for Analysis of the Reliability, Resilience, and Vulnerability of a Water Supply Reservoir". *Water Resources Research*, Vol. 22(4), pp. 489–498.
- Município de Castro Marim. (2017). Barragens. Obtido a 15 de Junho de 2017, de: <https://cm-castromarim.pt/site/conteudo/barragens/m2>.
- Nunes, L. M., Monteiro, J. P., Teixeira, M. R., Stiger, T., Guerreiro, P., Brito, S., Cunha, M. C., Vieira, J., Ribeiro, L., e Nascimento, J. (2009). Relatório Final - Projeto OPTEXPLOR: Desenvolvimento de um instrumento para a gestão de um sistema de abastecimento público de água numa perspectiva de exploração integrada dos recursos hídricos. Universidade do Algarve, IMAR - Universidade de Coimbra, CVRM - Centro de Geossistemas, Faro.
- Oliveira, R. (1998). XLWAT: um add-in para Excel, Modelo Hidrológico de Precipitação-Escoamento. Chiron, Monte da Caparica.
- Räty, O., Räisänen, J., e Ylhäisi, J. S. (2014). "Evaluation of delta change and bias correction methods for future daily precipitation: intermodel cross-validation using ENSEMBLES simulations". *Climate Dynamics*, Vol. 42, pp. 2287–2303.
- Santos, F. D., Forbes, K., e Moita, R., (2002). "Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project". Gradiva, Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para a Ciência e Tecnologia. ISBN 972-662-843-1.
- Simonovic, S. P. (2009). "Managing Water Resources". UNESCO.
- Simonovic, S. P. (2017). "Bringing Future Climatic Change into Water Resources Management Practice Today". *Water Resources Management*, Vol. 31, pp. 2933–2950.
- Solera Solera, A., Paredes Arquiola, J., e Andreu Álvarez, J. (2007). "AQUATOOL+. Manual de Usuario".
- Teutschbein, C., e Seibert, J. (2010). "Regional Climate Models for Hydrological Impact Studies at the Catchment Scale: A Review of Recent Modeling Strategies". *Geography Compass*, Vol. 7, pp. 834–860.
- Teutschbein, C., e Seibert, J. (2012). "Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods". *Journal of Hydrology*, Vol. 456–457, pp. 12–29.
- Vaz, J. (2010). "Modelos de transformação da precipitação em escoamento à escala mensal: aplicação a três casos de estudo em Moçambique". Instituto Superior Técnico.
- Wada, C. (2006). O ciclo do carbono e o efeito de estufa. Obtido a 6 de Julho de 2017, de: <http://www.cmqv.org/website/artigo.asp?cod=1461&idi=1&id=14257>.

Wayne, G. P. (2013). "The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways (RCPs)". Skeptical Science (Vol. 1.0).

Wikipédia. (2015). Barragem de Beliche. Obtido a 11 de Julho de 2017, de: https://pt.wikipedia.org/wiki/Barragem_de_Beliche.

ANEXO A – MODELO HIDROLÓGICO DE TEMEZ

Segundo Oliveira (1998), o modelo de Temez é um modelo contínuo, agregado e determinístico, que simula o fenómeno de transformação da precipitação em escoamento superficial numa dada bacia. Assume um intervalo temporal mensal e uma distribuição uniforme dos fatores que afetam essa transformação.

O modelo de Temez é uma simplificação do modelo de *Stanford – SWM (Stanford Watershed Model)*. Este último recorre a um esquema de 4 reservatórios para simular o processo de transformação da precipitação em escoamento e a 15 parâmetros. O modelo de Temez reduziu o número de parâmetros para 4 e apenas considera 2 reservatórios (zona não saturada e zona saturada) (Oliveira, 1998). A seguinte notação apresentada é baseada em Oliveira, (1998).

Os dois reservatórios simulam o armazenamento na zona saturada do solo (aquífero) e na zona não saturada (humidade do solo). O reservatório superficial recebe água por precipitação (P) e perde por evapotranspiração (ET) ou por excesso da sua capacidade (X), o excedente escoou ou infiltra-se no solo (I) (abastecendo o reservatório subterrâneo). Já o reservatório subterrâneo recebe água por infiltração (I) e perde por esgotamento do aquífero (G). O escoamento superficial da bacia (Q) vai ser igual à soma do esgotamento do aquífero (G) e do excedente que escoou do reservatório superficial. Na Figura A.1 podemos ver uma representação esquemática do modelo.

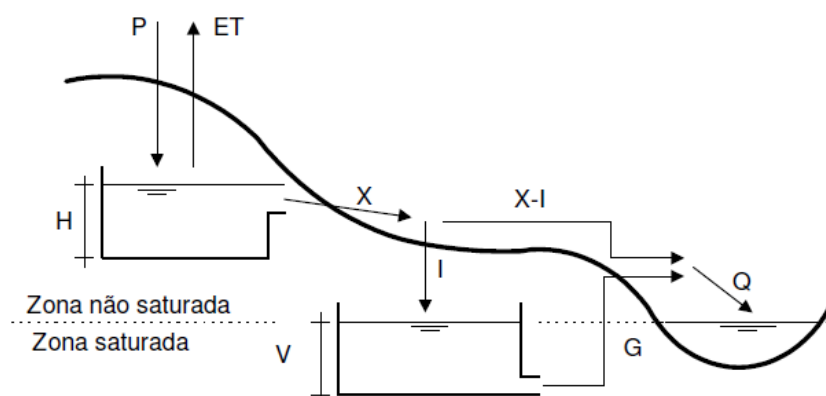


Figura A.1 – Esquema do modelo de Temez (Oliveira, 1998).

O excedente de precipitação (X), é calculado pela seguinte expressão e traduz-se no gráfico da Figura A.2.

$$X_t = \begin{cases} 0, & P_t \leq P_o \\ \frac{(P_t - P_o)^2}{P_o + \delta - 2 \times P_o}, & P_t > P_o \end{cases} \quad (\text{A-I})$$

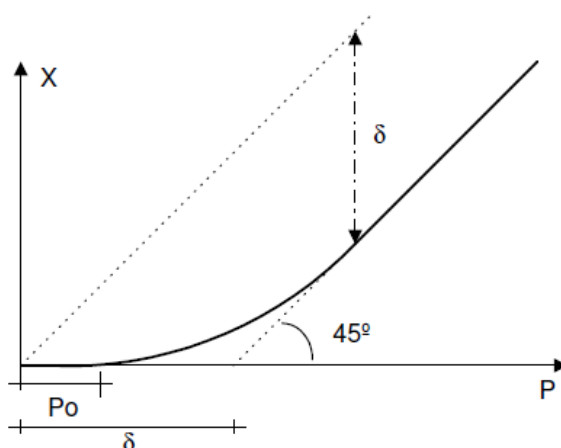


Figura A.2 – Relação precipitação – excedente (Oliveira, 1998).

De acordo com a equação A-I, e com a Figura A.2, só existe excedente (escoamento) quando a precipitação é superior a um determinado valor. Este valor corresponde a:

$$P_o = C \times (H_{max} - H_{t-1}) \quad (\text{A-II})$$

C – Coeficiente de excedente;

H_{max} – Capacidade de campo, ou seja, a capacidade do reservatório superficial (mm);

H_{t-1} – Volume armazenado no reservatório superficial no final no instante de tempo anterior, ou a humidade presente no solo no instante interior (mm).

$$\delta = (H_{max} - H_{t-1}) - EP_t \quad (\text{A-III})$$

O parâmetro δ , representa a máxima diferença entre a precipitação e o excedente, que corresponde ao volume de armazenamento disponível no reservatório superficial. A evapotranspiração é dada pela seguinte expressão:

$$ET_t = \min(H_{t-1} + P_t - X_t, EP_t) \quad (\text{A-IV})$$

A humidade do solo (já referida anteriormente) é o volume armazenado no reservatório de superfície:

$$H_t = \min[H_{max}, \max(0, H_{t-1} + P_t - X_t - EP_t)] \quad (\text{A-V})$$

Como já foi referido anteriormente, o excedente do reservatório superficial subdivide-se em duas parcelas: a infiltração e o escoamento superficial. A infiltração é dada pela seguinte expressão:

$$I_t = I_{max} \times \frac{X_t}{X_t + I_{max}} \quad (\text{A-VI})$$

O esgotamento do aquífero é dado pela seguinte expressão, onde α é o coeficiente de esgotamento do aquífero.

$$G = \alpha \times V \quad (\text{A-VII})$$

Por fim o escoamento superficial é dado por:

$$Q_t = X_t - I_t + G_t \quad (\text{A-VIII})$$

Esta formulação tem 4 parâmetros que é necessário estimar para poder realizar a simulação:

- C – Coeficiente de excedente;
- H_{max} – Capacidade de campo, ou seja, a capacidade do reservatório superficial (mm);
- I_{max} – Capacidade máxima de infiltração no solo (mm);
- α – Coeficiente de esgotamento do aquífero (dia^{-1}).