



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **PROJETO DE INVESTIGAÇÃO PROGRAMADA “ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS”**

**Relatório final de apresentação de resultados**

LNEC

Lisboa • fevereiro de 2014

**I&D** HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 126/2014 – **DHA/NRE**

## **Título**

### **PROJETO DE INVESTIGAÇÃO PROGRAMADA "ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS"**

Relatório final de apresentação de resultados

## **Autoria**

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

### **Maria Emília Novo**

Investigadora Auxiliar, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

CONSELHO DIRETIVO – RELAÇÕES INTERNACIONAIS

### **João Paulo de Cárcomo Lobo Ferreira**

Investigador-Coordenador, durante a quase totalidade do projeto chefiou o Núcleo de Águas Subterrâneas

## **Colaboração**

### **Daniel Toacã**

Bolseiro Pós-Doutoramento, ex-Núcleo de Águas Subterrâneas

### **Manuel M. Oliveira**

Investigador Auxiliar, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

### **Maria José Henriques**

Técnica Superior, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

### **Patrícia Terceiro**

Bolseira LNEC, ex-Núcleo de Águas Subterrâneas

### **Teresa E. Leitão**

Investigadora Principal, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

### **Tiago Martins**

Bolseiro LNEC, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: [lnec@lnec.pt](mailto:lnec@lnec.pt)

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Relatório 126/2014

Proc. 0605/112/17762

## Sumário executivo

---

O presente relatório apresenta os objetivos e âmbito do Projeto, as alterações que foi necessário realizar aos objetivos iniciais, a avaliação geral dos progressos alcançados, resultados dos vários projetos e investigação por contrato que contribuíram para este estudo, conclusões e os tópicos mais importantes identificados durante a realização deste projeto para futura investigação e finalmente as publicações produzidas. Os resultados do estudo apontam para a redução expectável da recarga ao longo do séc. XXI, estando esta redução dependente não apenas da quantidade de precipitação mas também dos regimes desta precipitação, como demonstram os resultados nos sistemas aquíferos de Torres Vedras e Monforte-Alter do Chão. A alteração da recarga, consoante os cenários e para o horizonte de 2070-2100 na área de Melides situa-se entre 40 e 74% dos valores actuais e no sistema aquífero Querença-Silves entre 46 e 83%, ao passo que na bacia de Odelouca varia entre 37 e 74% dos valores actuais. A análise das condições de seca também mostra que as recargas médias expectáveis para o sistema aquífero Querença-Silves no cenário de emissões A2 se situam no campo das dos anos actualmente classificados como extremamente secos. Esta redução da recarga origina a redução das áreas dos Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas (EDAS), que no caso do sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão pode variar entre os 63% e 47% em 2050, situando-se acima dos 80% em 2080. É ainda de referir a aplicação da metodologia GALDIT à zona costeira da Guiné-Bissau para avaliar a vulnerabilidade da intrusão salina à subida do nível do mar, tendo sido identificadas como áreas mais vulneráveis as do Parque Nacional de Cacheu e a zona Catió, em Calar.

## Ficha Técnica

---

Além dos autores e co-coordenadores do projeto, Maria Emília Jesus Silva Novo e João Paulo de Cárcomo Lobo Ferreira, participaram na realização deste relatório os seguintes colaboradores:

<b>Nome</b>	<b>Actividade</b>	<b>Função</b>
Daniel Toacă	Modelação matemática	Bolseiro post-doc
Luís G. S. Oliveira	Modelação matemática, análise do risco de seca e do risco de poluição, balanços hídricos e alterações climáticas, matrizes de decisão	Bolseiro LNEC
Manuel M. Oliveira	Balanços hídricos	Investigador Auxiliar
Maria José Henriques	Cartografia e mapeamentos em SIG	Técnica superior
Patrícia Terceiro	Modelação matemática, método DPSIR e bioindicadores	Bolseira LNEC
Tiago Martins	Modelação matemática	Bolseiro LNEC
Teresa E. Leitão	Qualidade das águas	Investigadora Principal

## **PROJETO DE INVESTIGAÇÃO PROGRAMADA “ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS”**

### **Resumo**

---

No presente relatório apresentam-se os objetivos, as atividades desenvolvidas, os resultados obtidos do projeto supracitado e a bibliografia produzida, assim como as alterações ao programa inicialmente estabelecido, de modo a superar limitações que foram ocorrendo ao longo da investigação. Os resultados apresentam-se associados aos projetos que lhes deram origem e que concorreram para o presente Projecto de Investigação Programada.

Palavras-chave: Alterações climáticas, águas subterrâneas, gestão de recursos hídricos

## **PROGRAMMED INVESTIGATION PROJECT “CLIMATE CHANGE AND GROUNDWATER”**

### **Abstract**

---

This report presents the objectives of the project, the activities performed to accomplish them and their ensuing results, the list of titles produced under this study and the shifts from its original set of tasks and goals, which had to be made in order to overcome difficulties arising during the development of the research. The comprehensive sets of results are presented under each of the projects which generated them, being each project associated with this Programmed Research Project

Keywords: Climate change, groundwaters, water resources management

## **PROJECT D’INVESTIGATION PROGRAMME “CHANGEMENT CLIMATIQUE ET EAUX SOUTERRAINES”**

### **Résumé**

---

Dans ce rapport on présente les objectifs, les activités effectués, les résultats obtenus, les publications produites pendant l’accomplissement des travaux et les changements qu’il a fallu faire au programme d’études initial, de façon à surmonter les limitations qui sont survécus pendant le développement des travaux. Les résultats sont présentés agroupés sous chaque projet qui les a obtenu, lesquels projets font partie de ce projet d’investigation programmé.

Mots-clés: Changement climatique, eaux souterraines, gestion des ressources hydriques

## Índice

1	Objectivos e Âmbito do Estudo .....	1
2	Alterações aos Objetivos Iniciais.....	3
3	Avaliação do Projeto .....	6
4	Resultados Obtidos .....	9
4.1	<b>Planos de Bacia Hidrográfica</b> .....	9
4.1.1	Análise da Variação da Recarga em Cenários de Alterações Climáticas .....	9
4.1.2	Resultados da Metodologia de Avaliação do Impacto das Alterações Climáticas nos EDAS do Sistema Aquífero de Torres Vedras.....	14
4.1.3	Resultados da Metodologia de Avaliação do Impacto das Alterações Climáticas nos EDAS do Sistema Aquífero de Monforte-Alter do Chão .....	17
4.2	<b>Projecto PROWATERMAN</b> .....	20
4.2.1	Análise da Variação da Recarga e Escoamento Superficial em Cenários de Alterações Climáticas (sistemas aquíferos de Querença-Silves, Sines/bacia hidrográfica de Melides e bacia hidrográfica de Odelouca) .....	20
4.2.2	Análise do Risco de Secas e Alterações Climáticas .....	23
4.2.3	Avaliação de Impactos de Alterações Climáticas sobre EDAS: Caso de Estudo Lagoa de Melides / Componente Quantitativa .....	26
4.2.4	Avaliação de Impactos de Alterações Climáticas sobre EDAS: Caso de Estudo Lagoa de Melides / Componente Antrópica.....	28
4.2.5	Avaliação de Impactos de Alterações Climáticas sobre EDAS: Caso de Estudo Lagoa de Melides / Componente Qualitativa.....	31
4.3	<b>Projecto CIAS (Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas: Brasil, Portugal, Angola e Guiné-Bissau)</b> .....	33
4.4	<b>Projecto Tunísia: Estudo da Intrusão Salina no Aquífero de Cap Bon</b> .....	39
4.5	<b>Projecto GABARDINE: Análise da Modificação dos Regimes de Precipitação em Cenários de Alterações Climáticas</b> .....	42
5	Conclusões e Bases para o Futuro .....	47
6	Publicações Realizadas.....	52
6.1	<b>Planos de Bacia Hidrográfica</b> .....	52
6.2	<b>Projecto PROWATERMAN</b> .....	52
6.3	<b>Projecto CIAS</b> .....	54
6.4	<b>Projecto GABARDINE</b> .....	54
6.5	<b>Projecto Tunísia</b> .....	55
6.6	<b>Temática Geral</b> .....	55
	Referências Bibliográficas .....	57

## Índice de figuras

Figura 4-1 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Torres Vedras) .....	10
Figura 4-2 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Torres Vedras) .....	11
Figura 4-3 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Torres Vedras) .....	11
Figura 4-4 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Torres Vedras) .....	12
Figura 4-5 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão) .....	12
Figura 4-6 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão).....	13
Figura 4-7 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão) .....	13
Figura 4-8 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão).....	14
Figura 4-9 – Diferença entre o nível piezométrico em 2050 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) e o nível piezométrico atual no sistema aquífero de Torres Vedras.....	15
Figura 4-10 – Profundidade do nível de água em 2050 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) no sistema aquífero de Torres Vedras.....	15
Figura 4-11 – Diferença entre o nível piezométrico em 2080 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) e o nível piezométrico atual no sistema aquífero de Torres Vedras.....	16
Figura 4-12 – Profundidade do nível de água em 2080 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) no sistema aquífero de Torres Vedras.....	16
Figura 4-13 – Diferença entre o nível piezométrico em 2050 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) e o nível piezométrico atual (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão).....	17
Figura 4-14 – Profundidade do nível de água em 2050 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) no sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão .....	18
Figura 4-15 – Diferença entre o nível piezométrico em 2080 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) e o nível piezométrico atual (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão).....	18
Figura 4-16 – Profundidade do nível de água em 2080 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) no sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão .....	19
Figura 4-17 – Recarga natural média anual, a) cenário HadRM2/IS92a; b) cenário HadRM3/SRES A2; c) cenário HadRM3/SRES B2.....	21
Figura 4-18 – Recarga natural média anual no sistema aquífero Querença-Silves, a) cenário HadRM2/IS92a, b) HadRM3/SRES A2; c) HadRM3/SRES B2.....	21
Figura 4-19 – Escoamento direto médio anual bacia hidrográfica de Odelouca, a) cenário a) cenário HadRM2/IS92a, b) HadRM3/SRES A2; c) HadRM3/SRES B2.....	22
Figura 4-20 – Relação entre os parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves.....	24
Figura 4-21 – Localização da área de estudo na Guiné-Bissau.....	34
Figura 4-22 – Parâmetros G, A, D, I, T.....	35
Figura 4-23 – Parâmetro L (parâmetro dependente do nível do mar).....	35
Figura 4-24 – Distribuição do Índice GALDIT para a zona de influência da maré na Guiné-Bissau.....	36
Figura 4-25 – Vulnerabilidade à intrusão salina em cenários de subida do nível do mar (Parque Nacional de Cacheu).....	36
Figura 4-26 – Vulnerabilidade à intrusão salina em cenários de subida do nível do mar (Calar).....	37

Figura 4-27 – Localização e geologia da região de Luanda .....	38
Figura 4-28 – Parâmetros GALDIT para o aquífero de Quelo-Luanda.....	38
Figura 4-29 – Índice GALDIT para o aquífero de Quelo-Luanda.....	38
Figura 4-30 – Nível freático (simulação em regime estacionário) na zona da Costa do Sol/aquífero poroso de Quelo-Luanda – Angola.....	39
Figura 4-31 – Localização e geologia da região de Cap Bom.....	40
Figura 4-32 – Piezometria (modelo em regime estacionário) na secção de Korba do aquífero de Cap Bon.....	41
Figura 4-33 – Evolução da intrusão salina no aquífero detrítico e carbonatado de Cap Bon no espaço de 10 anos, a partir de 2008.....	41
Figura 4-34 – SAR e SAP para a estação de Lagos.....	42
Figura 4-35 – Valores de NRS para Lagos.....	43
Figura 4-36 – Valores de RC para Lagos.....	43
Figura 4-37 – Valores de RSY para Lagos .....	43
Figura 4-38 – Distribuição dos Períodos de Sequia para Lagos.....	44
Figura 4-39 – Alterações à Extensão da Época de Precipitação em Lagos.....	44
Figura 4-40 – Tendência de Evolução Temporal do Número de Eventos de Precipitação para Lagos .....	45
Figura 4-41 – Análise de Clusters para Lagos.....	45
Figura 4-42 – Incertezas dos Parâmetros dos Regimes de Precipitação e Clusters para Lagos.....	46

## Índice de quadros

Quadro 4-1 – Resultados do balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD (Torres Vedras) .....	9
Quadro 4-2 – Cenários de simulação do balanço hídrico sequencial diário adotadas .....	10
Quadro 4-3 – Variação das áreas de zonas húmidas no sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão .....	19
Quadro 4-4 – Recarga natural (RAQ) e escoamento direto (ESC) da bacia de Melides em condições atuais e em cenários de alterações climáticas .....	20
Quadro 4-5 – Recarga natural e escoamento direto do sistema aquífero Querença–Silves em condições atuais e em cenários de alterações climáticas .....	20
Quadro 4-6 – Recarga natural, escoamento direto, de base e totais atuais na bacia hidrográfica de Odelouca em cenários de alterações climáticas .....	22
Quadro 4-7 – Expressão percentual versus os valores atuais para a recarga natural, escoamento direto, de base e total em cenários de alterações climáticas na bacia hidrográfica de Odelouca .....	22
Quadro 4-8 – Classificação dos últimos 30 anos hidrológicos em S. Bartolomeu de Messines (Método dos Decis) .....	23
Quadro 4-9 – Relação extração/recarga para a agricultura em cenários de alterações climáticas .....	25
Quadro 4-10 – Variação dos volumes de rega em cenários sócio-económicos (horizonte temporal 2030) .....	26
Quadro 4-11 – Relação extração/recarga para a globalidade dos consumos em cenários de alterações climáticas .....	26
Quadro 4-12 – Variação do volume da lagoa de Melides em cenários de alteração climática .....	27
Quadro 4-13 – Variação percentual da recarga que alimenta as ribeiras e das recargas totais em cenários de alterações climáticas .....	27
Quadro 4-14 – Variação dos volumes de água que alimentam e saem da Lagoa em cenários de alterações climáticas para condições de volumes da Lagoa e descargas para o oceano não constantes .....	28
Quadro 4-15 – Variação dos consumos e taxas de exploração para as origens subterrâneas dos consumos, em função das recargas alteradas por efeito das alterações climáticas .....	29
Quadro 4-16 – Variação dos consumos e taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos, em função dos escoamentos superficiais alterados por efeito das alterações climáticas (média global anual) .....	29
Quadro 4-17 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos por efeito das alterações climáticas (período de regadio: Abril a Setembro) .....	30
Quadro 4-18 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens subterrâneas dos consumos por efeito das alterações climáticas .....	30
Quadro 4-19 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos por efeito das alterações climáticas (valores médios anuais) .....	30
Quadro 4-20 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos por efeito das alterações climáticas (período de regadio: Abril a Setembro) .....	31
Quadro 4-21 – Variação potencial das cargas poluentes associadas aos arrozais, passíveis de atingir a lagoa em cenários de alterações climáticas .....	31
Quadro 4-22 – Evolução da qualidade na Lagoa, para os nitratos, em cenários de alterações climáticas e considerando as alterações previstas pelos cenários sócio-económicos .....	32



<b>Quadro 4-23 – Evolução da qualidade na Lagoa, para os fosfatos, em cenários de alterações climáticas e considerando as alterações previstas pelos cenários sócio-económicos.....</b>	<b>32</b>
<b>Quadro 4-24 – Parâmetros GALDIT.....</b>	<b>34</b>
<b>Quadro 4-25 – Classes de vulnerabilidade GALDIT à intrusão salina.....</b>	<b>34</b>



# 1 | Objetivos e Âmbito do Estudo

Os objetivos deste Projecto centram-se no estudo do impacto das alterações climáticas sobre os recursos hídricos subterrâneos, considerando também as diferentes componentes do ciclo hidrológico e dos processos que concorrem para a expressão desses impactos, com vista a compreender, e se possível classificar, a vulnerabilidade dos aquíferos a estas alterações climáticas. O objetivo último é o de elaborar uma metodologia de classificação da vulnerabilidade dos aquíferos às alterações climáticas, a qual tem em consideração fatores intrínsecos aos aquíferos (litologia dominante, estruturas geológicas), os aspetos relacionados com a subida do nível do mar, alterações nos regimes e volumes de recarga por efeito da alteração da temperatura e regimes de precipitação, e alterações na recarga devidas às modificações no coberto vegetal, induzidas por estas mesmas alterações climáticas. Para alcançar estes objetivos foram definidos os seguintes tópicos a serem estudados (cf. [http://www.lnec.pt/atividade/pip-2009-2012/as/NAS\\_alt\\_climaticas.pdf](http://www.lnec.pt/atividade/pip-2009-2012/as/NAS_alt_climaticas.pdf)):

- Avaliação da variabilidade da recarga direta nos aquíferos e da alteração dos volumes de transferências hídricas recebidas por estes aquíferos a partir de aquíferos a montante.
- Avaliação dos impactos das alterações climáticas sobre o coberto vegetal e consequentes efeitos destas modificações ecológicas sobre a recarga e a evapotranspiração.
- Avaliação dos impactos das alterações climáticas sobre a qualidade das águas subterrâneas.
- Avaliação dos impactos da modificação da incidência e severidade dos fogos, por efeito das alterações climáticas, sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos.
- Avaliação quantitativa da subida do nível do mar sobre a dimensão da intrusão salina para diferentes cenários de subida global do nível do mar, associando também a evolução local da linha de costa.
- Avaliação do risco sobre os recursos hídricos disponíveis nos aquíferos costeiros devido à subida do nível do mar e respetivos fenómenos de intrusão salina associada, como consequência das alterações climáticas.
- Desenvolvimento de metodologias de avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos às alterações climáticas em função da sua génese e estrutura geológica, considerando as três grandes famílias de aquíferos: cársicos, porosos, fraturados.
- Aplicação a casos de estudo (ex.: aquíferos costeiros no Algarve).

Os projetos que integraram este Projeto de Investigação Programada (P.I.P.) foram os seguintes:

- (1) Proc. 0607/17/15405 – Projecto “GABARDINE – Groundwater artificial recharge based on alternative sources of water: advanced integrated technologies and management”. STREP do 6.º Programa-Quadro de Investigação, iniciado em 1 de Novembro de 2005.
- (2) Proc. 0607/19/17581 – “Gestão Integrada de Recursos Hídricos em Aquíferos Costeiros (Tunísia 2)”.

- (3) Proc. 0607/14/17372 – “PROWATERMAN – Água, ecossistemas aquáticos e actividade humana. Uma abordagem integrada e participativa na definição de estratégias inovadoras e perspectivas de gestão integrada de recursos hídricos no sul de Portugal”.
- (4) Proc. 0607/1/17628 – “Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste” e “Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica do Tejo”.
- (5) Proc. 0607/19/17830 – Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (Projecto CIAS).
- (6) Proc. 0607/19/17581 – Acordo Portugal-Tunísia: Projecto Tunísia.

Os resultados inicialmente previstos para este projeto foram os seguintes:

- a) Estabelecimento de uma metodologia de determinação da vulnerabilidade dos aquíferos às alterações climáticas para aquíferos cársicos, fraturados e porosos.
- b) Estabelecimento de metodologias de análise quantitativa da evolução da intrusão salina em função da subida do nível do mar.
- c) Determinação da variabilidade da recarga direta nos aquíferos costeiros e alteração dos volumes de transferências hídricas recebidas a partir de aquíferos a montante e aplicação de Sistemas de Apoio à Decisão (DSS = Decision Support Systems) à gestão destes aquíferos.
- d) Estabelecimento de metodologias de avaliação do risco sobre os recursos hídricos nos aquíferos costeiros devido à subida do nível do mar e variabilidade das suas recargas.
- e) Definição de tendências das alterações na qualidade das águas subterrâneas em função dos principais vetores de modificação – intrusão salina, cheias, secas – gerados pelas alterações climáticas.
- f) Definição de tendências de evolução do coberto vegetal e determinação quantitativa das mudanças na recarga, evapotranspiração e outras componentes do ciclo hidrológico em função da evolução do coberto vegetal, causada pelas alterações climáticas.
- g) Definição de tendências de evolução do coberto vegetal em função das mudanças nos regimes dos fogos causadas pelas alterações climáticas e impactos destas evoluções sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos.
- h) Definição de medidas de adaptação e/ou mitigação para as áreas que se revelem mais vulneráveis, definidas em função das variáveis mais sensíveis e da ocupação do solo.

## 2 | Alterações aos Objetivos Iniciais

Devido a contingências de várias ordens, que serão desenvolvidas no Capítulo 3, dedicado à avaliação do projeto, os objetivos iniciais sofreram algumas alterações. As alterações que se verificaram foram as seguintes:

- A avaliação dos impactos da modificação da incidência e severidade dos fogos sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos não pôde ser realizada porque não se concretizou a captação de verbas para a realização desta componente do estudo, dado não terem sido selecionados para financiamento os projetos apresentados na área dos fogos, de que se destaca a candidatura ao Interreg IV, apresentada em Julho 2008.
- A avaliação quantitativa da subida do nível do mar sobre a dimensão da intrusão salina para diferentes cenários de subida global do nível do mar e evolução local da linha de costa não pôde ser realizada porque os projetos apresentados no âmbito da temática de aquíferos costeiros e alterações climáticas, nomeadamente o MARSolve (Projeto FCT 7), não foram selecionados para financiamento.
- A avaliação do risco sobre os recursos hídricos disponíveis nos aquíferos costeiros devido à subida do nível do mar e respetivos fenómenos de intrusão salina associada devido às alterações climáticas não pôde ser realizada pelas mesmas razões do parágrafo anterior.
- Os ensaios em laboratório, utilizando o aquífero artificial do NAS, não foram realizados porque, entre outros aspetos, não foi possível concluir as obras de reconstrução e remodelação.

Para ultrapassar estas dificuldades e avançar no estudo de aspetos pertinentes para o desenvolvimento de metodologias de vulnerabilidade às alterações climáticas abraçando a nova visão holística e integradora de proteção e gestão dos recursos hídricos (vide 2ª geração de Planos de Bacia) – deste modo centrando-se não apenas na vulnerabilidade dos aquíferos mas na vulnerabilidade das massas de água, aqui compreendendo aquíferos e massas de água superficiais, incluindo respetivas conexões hidráulicas e a presença de EDAS (ecossistemas dependentes de águas subterrâneas) – foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Na ausência de dados para as áreas de estudo que permitissem aferir das alterações no coberto vegetal natural devido às alterações climáticas, analisou-se a evolução que poderá ocorrer nas áreas agrícolas por efeito das alterações climáticas recorrendo a modelos de variação estabelecidos para o espaço europeu (Rounsevell et al., 2006) e a avaliação da alteração das necessidades hídricas em função da variação da área agrícola e da alteração das necessidades hídricas das plantas. Esta abordagem foi realizada para a área de estudo de Melides e, embora de forma incompleta, para o sistema aquífero de Querença-Silves, no âmbito do Projeto PROWATERMAN.
- A avaliação da alteração dos volumes de transferências hídricas recebidas pelos aquíferos a partir de aquíferos a montante não foi realizada especificamente tendo em conta eventuais

aquíferos a montante das áreas de estudo mas o âmbito da análise foi alargado para incluir toda e qualquer contribuição de água de montante, seja por via superficial (ex.: cursos de água) ou subterrânea. Tal análise foi realizada para o setor do sistema aquífero de Sines ocupado pela bacia hidrográfica de Melides, para o aquífero de Querença-Silves (bacia do ribeiro Meirinho).

- Foi analisada a alteração da recarga e escoamento superficial em aquíferos porosos (Torres Vedras, Sines), cársicos (Querença-Silves), fraturados/cársicos (Monforte-Alter do Chão) e desenvolvida uma metodologia de avaliação dos impactos provocados por estas alterações no abastecimento dos EDAS por parte dos aquíferos. Esta metodologia, desenvolvida em Lobo Ferreira et al. (2012a; 2012b) foi aplicada aos EDAS dependentes dos aquíferos de Torres Vedras e de Monforte-Alter do Chão, no âmbito do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste e do Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica do Tejo.
- Foi desenvolvida uma metodologia, apresentada em Novo et al. (2013a), de análise das modificações de consumos de animais, pessoas e plantas em cenários de alterações climáticas considerando as alterações das necessidades hídricas e das variações da área agrícola e consequente avaliação das taxas de exploração para os novos valores de recarga e escoamento superficial (que na área de estudo são as fontes de abastecimento para as diferentes atividades e setores sócio-económicos). Esta metodologia foi desenvolvida e aplicada ao setor do aquífero de Sines correspondente à área da bacia hidrográfica de Melides e na área do ribeiro Meirinho (aquífero Querença-Silves) no âmbito do Projeto PROWATERMAN.
- Foi determinado, com base nas alterações da recarga e escoamento superficial, e com base nas metodologias desenvolvidas, a evolução das alterações do volume de água superficial e subterrânea que alimenta o ecossistema parcialmente dependente de águas subterrâneas da Lagoa de Melides e, perante cenários teóricos que consideram alterações de área agrícola e possíveis evoluções sócio-económicas, desenvolveu-se uma metodologia de previsão das cargas poluentes que poderão ocorrer neste ecossistema em cenários de alterações climáticas. Esta metodologia, ainda a necessitar de grande desenvolvimento, foi desenvolvida no âmbito do Projeto PROWATERMAN.
- Foi feita a análise da vulnerabilidade à intrusão salina de aquíferos costeiros na Guiné-Bissau, com vista a desenvolver a metodologia GALDIT para a previsão da variação desta vulnerabilidade em cenários de alterações climáticas e deste modo aplicar a componente Vulnerabilidade à Alteração do Nível do Mar, em aquíferos porosos, com vista ao posterior desenvolvimento dos parâmetros relacionados na componente Qualidade da metodologia de Vulnerabilidade dos Aquíferos às Alterações Climáticas. Esta análise foi desenvolvida no âmbito do Projeto CIAS.
- Dado o atual estado de remodelação da metodologia de vulnerabilidade às alterações climáticas em função da sua génese e estrutura, até para incluir uma abordagem mais consentânea com o conceito de vulnerabilidade às alterações climáticas considerado no mais recente relatório da Agência Europeia do Ambiente (2013), não se fez a sua aplicação aos

casos de estudo, tendo-se em contrapartida aplicado as várias outras metodologias desenvolvidas ao longo dos projetos acima citados, e que analisam as variações de recargas, escoamentos superficiais, consumos e conseqüente pressão quantitativa sobre os recursos em cenários de alterações climáticas, evolução das relações entre aquíferos e EDAS e de um modo geral entre o meio hídrico superficial e subterrâneo nestes cenários, entre outros aspetos. Estas metodologias foram aplicadas aos sistemas aquíferos porosos de Torres-Vedras, Sines (área da bacia hidrográfica de Melides), ao sistema aquífero cársico Querença-Silves e ao sistema fraturado de Monforte-Alter do Chão. Os resultados obtidos serão usados em estudos posteriores para a definição final dos parâmetros da metodologia de vulnerabilidade, tendo em conta as componentes de exposição aos impactos das alterações climáticas e sensibilidade dos sistemas a estas alterações, que definem, de acordo com a Agência Europeia do Ambiente, a vulnerabilidade dos sistemas às alterações climáticas. Esta definição final implicará a reformulação de alguns dos parâmetros da metodologia atual, a eliminação dos que se verificarem redundantes e a eventual inclusão de outros; nomeadamente na componente antrópica da metodologia atual, o parâmetro relativo às cargas poluentes terá de considerar os cenários de variação das áreas agrícolas e a projeção da evolução das mudanças de espécies agrícolas, e no parâmetro relativo ao stress hídrico, terão de se considerar as alterações derivadas das projeções de necessidades hídricas futuras, variações demográficas e áreas agrícolas, sendo importante integrar a atual densidade/grau de desertificação humana pois este aspeto condiciona a futura evolução dos consumos associados à evolução demográfica.

### 3 | Avaliação do Projeto

Relativamente aos objetivos inicialmente previstos ocorreram alguns desvios, nomeadamente na componente dos impactos sobre os aquíferos costeiros e intrusão salina em função da subida do nível do mar e das alterações da recarga. Deste modo a modelação matemática deste fenómeno não foi desenvolvida, tendo-se somente avançado na aplicação dos parâmetros de avaliação da vulnerabilidade da intrusão salina em cenários de alteração climática face às potenciais subidas do nível do mar (ex.: Guiné-Bissau).

No que se refere à análise do coberto vegetal e suas modificações devido às alterações climáticas, com particular destaque para as alterações induzidas pela maior incidência e severidade dos fogos, não foi possível o seu desenvolvimento devido a não se ter conseguido angariar financiamento. Será necessário prosseguir os estudos referentes às alterações do coberto vegetal e seus impactos ao nível dos balanços de água nos solos e de que modo tais alterações são expressas em termos de evapotranspiração, recarga de aquíferos, escoamento superficial, tendo em consideração, por exemplo, que algumas espécies vegetais semiáridas têm a capacidade de alterar a sua disposição radicular de modo a manter teores de humidade aceitáveis para a sua sobrevivência, como resposta às alterações nos padrões de seca (por exemplo, aprofundando as suas raízes e trazendo para níveis mais superficiais parte da água que captam em profundidade).

Em contrapartida, e para compensar estes objetivos não realizados, avançou-se no conhecimento da interação entre águas superficiais e subterrâneas em cenários de alterações climáticas, em particular no que concerne aos impactos das alterações das recargas e cedências de água dos aquíferos para EDAS, e criaram-se metodologias para avaliação das alterações dos consumos com vista ao desenvolvimento do Índice Antrópico e ao Índice de Quantidade da metodologia de vulnerabilidade dos aquíferos. Estas metodologias consideram, numa das suas abordagens, as possíveis alterações nos consumos por modificação das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas. Com base nos resultados desta metodologia foi possível definir as taxas de exploração para os meios hídricos superficiais e subterrâneos e prever assim as possíveis situações de sobre-exploração. Será necessário prosseguir os estudos na questão da evolução dos consumos em face das estratégias de adaptação dos agricultores (ex.: passagem a anos agrícolas com duas culturas, novas culturas adotadas mais consentâneas com as novas condições climáticas, alteração da eficiência hídrica das diferentes culturas nos diferentes cenários climáticos).

Fizeram-se projeções da alteração das áreas agrícolas na área de estudo de Melides em função dos cenários de alterações climáticas por métodos expeditos baseados nos resultados de estudos desenvolvidos neste tópico para a Europa, a partir da metodologia expedita desenvolvida para o Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste e Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica do Tejo.

Desenvolveu-se uma metodologia expedita para definição da evolução das cargas poluentes dos meios superficiais e subterrâneos em cenários de alterações climáticas, que foi desenvolvida e



aplicada à área de estudo de Melides. Com base nas previsões desta metodologia projetou-se a evolução possível das cargas poluentes que podem atingir a Lagoa de Melides sob estes mesmos cenários, tendo-se considerado a componente superficial e subterrânea desta poluição. Estes estudos fundamentarão o aperfeiçoamento dos parâmetros relativos ao Índice de Qualidade da Metodologia de Vulnerabilidade às Alterações Climáticas.

Foi desenvolvida uma metodologia de avaliação dos impactos das alterações climáticas sobre a interface águas superficiais e subterrâneas, especificamente no que se refere à transferência de águas subterrâneas para os EDAS, que foi aplicada aos sistemas aquíferos de Torres Vedras e de Monforte-Alter do Chão e também, no setor do sistema aquífero de Sines correspondente à bacia hidrográfica de Melides, em relação ao ecossistema parcialmente dependente de águas subterrâneas que é a Lagoa de Melides.

O Projeto foi articulado com os projetos PROWATERMAN, Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste, Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, CIAS e Tunísia 2.

No âmbito deste Projeto de Investigação Programada foram apresentadas as seguintes principais candidaturas com vista a desenvolver investigação nas seguintes temáticas menos desenvolvidas:

- MARSolve – aquíferos costeiros: impactos da subida do nível do mar, variabilidade nas recargas, alteração na alimentação/recarga dos aquíferos costeiros a partir de aquíferos a montante.
- FP7 – AGRIWATMED – impactos das alterações climáticas nas águas subterrâneas.
- Interreg IV – alterações climáticas e fogos, seus impactos sobre a qualidade e quantidade das águas subterrâneas.

Como principais dificuldades sentidas refiram-se a reduzida informação disponível sobre a alteração da vegetação nas áreas de estudo durante os ciclos climáticos holocénicos, passíveis de auxiliar na avaliação das alterações espectáveis em cenários climáticos futuros, as quais podem afetar os volumes de escoamentos superficiais e recargas, entre outros aspetos do funcionamento do ciclo hidrológico.

O facto da bolsa em formação associada a este Projeto (Patrícia Terceiro) ter saído do LNEC limitou, igualmente, a capacidade para desenvolver alguns tópicos e, em conjunto com a dificuldade em captar novos bolsistas, não se pôde realizar a tese de doutoramento que estava prevista.

Em suma, e apesar de não se terem obtido todos os desenvolvimentos esperados quanto ao aperfeiçoamento da metodologia de avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos às alterações climáticas, foram alcançados vários avanços, de que se sublinham (1) a nova metodologia desenvolvida na análise dos impactos das alterações climáticas sobre a interação entre águas superficiais e subterrâneas, no que se refere ao funcionamento e previsão da sustentabilidade dos EDAS (ecossistemas com estatuto de proteção no espaço europeu, em especial os charcos e zonas húmidas mediterrânicas), (2) as metodologias, ainda em fase de desenvolvimento, de avaliação das situações de stress hídrico resultantes das alterações nas taxas de exploração dos recursos hídricos,

(3) a metodologia, ainda a necessitar de desenvolvimentos futuros, de avaliação da evolução das cargas poluentes sob cenários de alterações climáticas.

Considera-se de importância para o desenvolvimento de metodologias de análise dos impactos e vulnerabilidades dos recursos hídricos às alterações climáticas que se prossigam os estudos na área da ecohidrologia, nos aspetos relativos às modificações dos diferentes tipos de coberto vegetal e ocupação agrícola, pela importância destes aspetos no controlo da água disponível para recarga de aquíferos e escoamento superficial e consequente influência sobre não apenas os recursos hídricos para consumo humano mas para a preservação possível em condições de alteração climática dos ecossistemas. Esta área de estudo tem ainda relações transversais com outros aspetos do ciclo hidrológico, como por exemplo, a alteração das taxas de erosão e a capacidade de cedência de água dos rios para os aquíferos e vice-versa.

É também um aspecto de extrema importância o estudo do impacto das alterações climáticas sobre os aquíferos costeiros, o que exigirá a criação de parcerias e a integração de conhecimentos relacionados com a morfologia e processos de erosão do litoral, alteração das dinâmicas dos aportes de água desde zonas de montante, seja por via superficial ou subterrânea, e a modelação da intrusão salina sob condições de subida do nível do mar e concomitante recuo da linha de costa, com a consequente perda de volume potencial de armazenamento dos aquíferos.

## 4 | Resultados Obtidos

### 4.1 Planos de Bacia Hidrográfica

#### 4.1.1 Análise da Variação da Recarga em Cenários de Alterações Climáticas

Em Lobo Ferreira et al. (2012a) e Lobo Ferreira et al. (2012b) efetuou-se a análise da modificação das recargas e escoamentos superficiais nas áreas abrangidas pelos sistemas aquíferos de Torres Vedras, e Monforte-Alter do Chão cujos resultados se apresentam no Quadro 4-1 (caso de estudo de Torres Vedras; cf. Oliveira et al., 2012) e nas Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3 e Figura 4-4, para o sistema aquífero de Torres Vedras e nas Figura 4-5, Figura 4-6, Figura 4-7 e Figura 4-8 para o sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão. Nesta análise admitiu-se que o coberto vegetal e extensão das áreas agrícolas se mantêm constante ao longo do séc. XXI, pelo que os resultados refletem apenas os impactos devidos à simples alteração da temperatura, humidade atmosférica e precipitação. Os cenários usados apresentam-se no Quadro 4-2.

Quadro 4-1 – Resultados do balanço hídrico sequencial diário BALSEQ\_MOD (Torres Vedras)

Corrida	PRC	ETR	ED	REC	% PRC atual	% ETR atual	% ED atual	% REC atual
Atual	713	310	228	176	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Cenário 11	680	295	215	170	95,3%	95,2%	94,5%	96,4%
Cenário 12	680	309	214	157	95,3%	99,7%	94,1%	89,0%
Cenário 13	679	272	235	172	95,2%	87,8%	103,2%	98,0%
Cenário 14	679	284	234	161	95,2%	91,9%	102,8%	91,4%
Cenário 21	579	267	176	136	81,1%	86,2%	77,2%	77,3%
Cenário 22	579	297	174	108	81,1%	95,8%	76,4%	61,5%
Cenário 23	578	233	200	144	81,0%	75,3%	88,0%	82,1%
Cenário 24	578	260	199	120	81,0%	83,8%	87,2%	68,2%
Cenário 31	634	286	197	151	88,9%	92,4%	86,3%	85,9%
Cenário 32	634	290	196	148	88,9%	93,7%	86,2%	83,9%
Cenário 33	634	260	217	156	88,8%	84,0%	95,2%	88,9%
Cenário 34	634	263	217	154	88,8%	85,0%	95,1%	87,3%
Cenário 41	556	260	167	128	77,9%	84,1%	73,4%	72,9%
Cenário 42	556	284	166	106	77,9%	91,6%	72,7%	60,5%
Cenário 43	555	224	194	137	77,8%	72,4%	85,3%	77,6%
Cenário 44	555	244	193	118	77,8%	78,8%	84,7%	67,2%

Fonte: (Oliveira et al., 2012)

Valores em mm/ano: PRC – precipitação, ETR – evapotranspiração real, ED – escoamento direto, REC – recarga.

Valores percentuais: % PRC atual = percentagem da precipitação da série 1979-2009, % ETR atual = percentagem da evapotranspiração da série 1979-2009, % ED atual = percentagem do escoamento direto da série 1979-2009; % REC atual = percentagem da recarga da série 1979-2009.

Quadro 4-2 – Cenários de simulação do balanço hídrico sequencial diário adotadas

Corrida	Modelo	Horizonte	Precipitação	Evapotranspiração de referência		
Atual	-	1979-2009	1979-2009	1979-2009		
Cenário 11	ENSEMBLES	2050	Correção constante	1979-2009		
Cenário 12				Alterada		
Cenário 13			Elimina mínimos	1979-2009		
Cenário 14				Alterada		
Cenário 21		2080	Correção constante	1979-2009		
Cenário 22				Alterada		
Cenário 23			Elimina mínimos	1979-2009		
Cenário 24				Alterada		
Cenário 31			SMHIRCA_ECHAM5	2050	Correção constante	1979-2009
Cenário 32						Alterada
Cenário 33	Elimina mínimos	1979-2009				
Cenário 34		Alterada				
Cenário 41	2080	Correção constante		1979-2009		
Cenário 42				Alterada		
Cenário 43		Elimina mínimos		1979-2009		
Cenário 44				Alterada		

Fonte: (Oliveira et al., 2012)

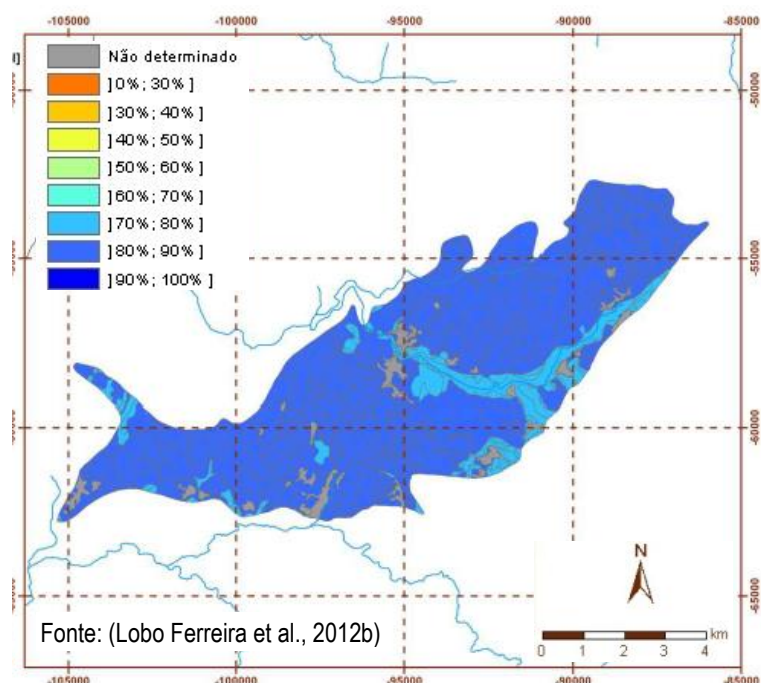


Figura 4-1 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Torres Vedras)

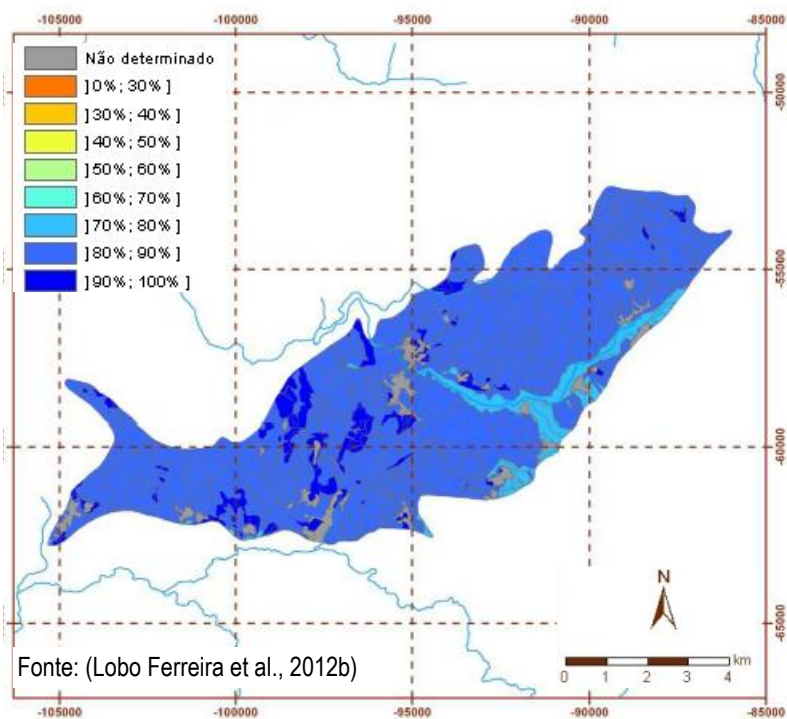


Figura 4-2 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Torres Vedras)

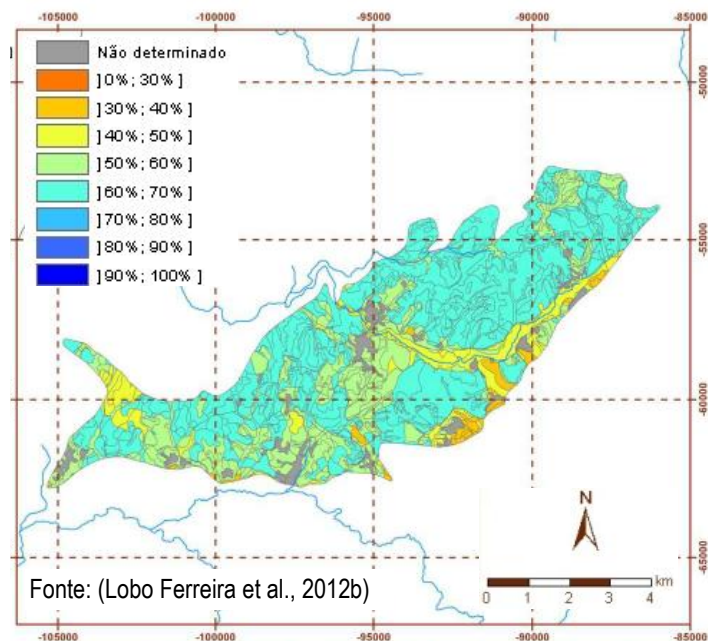


Figura 4-3 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Torres Vedras)

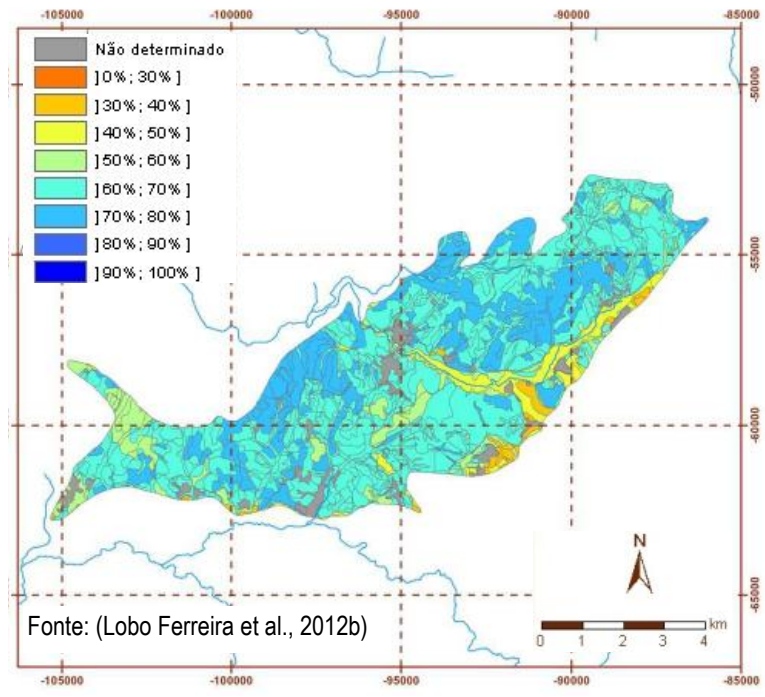


Figura 4-4 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Torres Vedras)

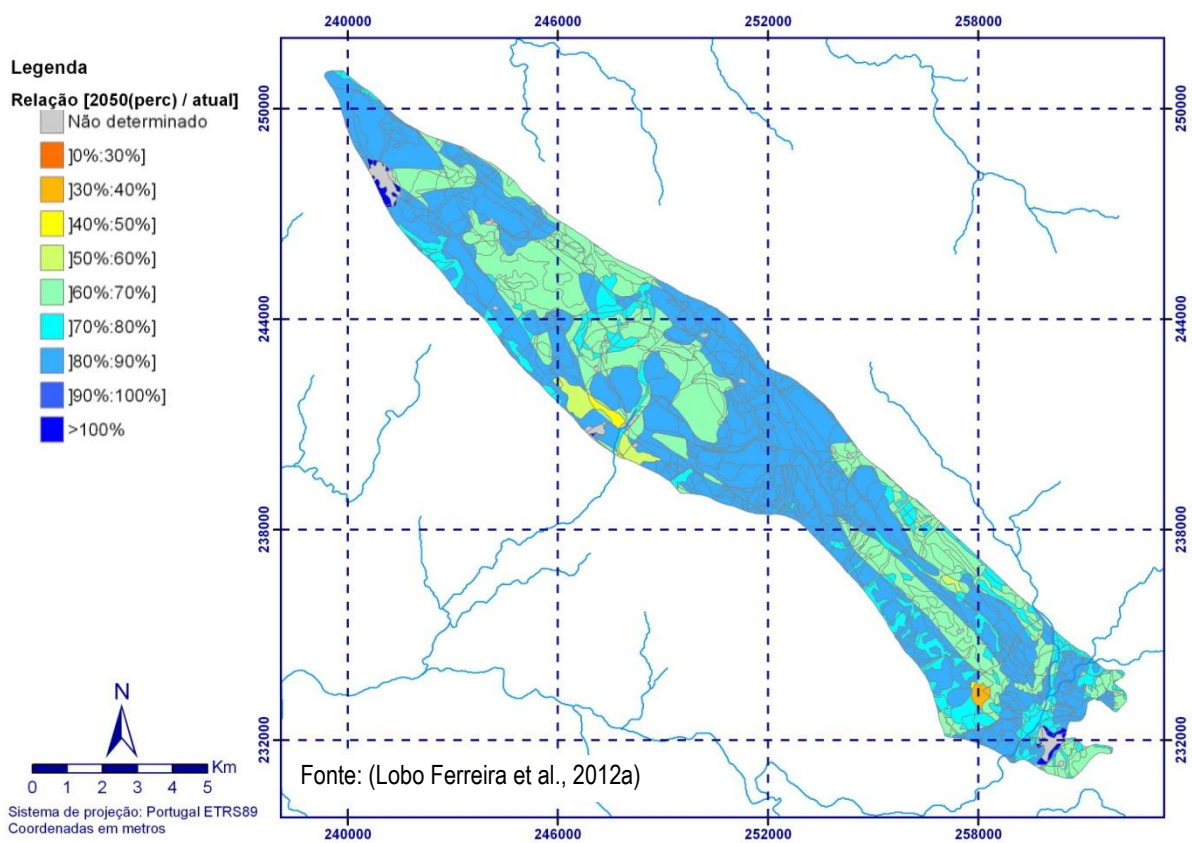


Figura 4-5 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão)

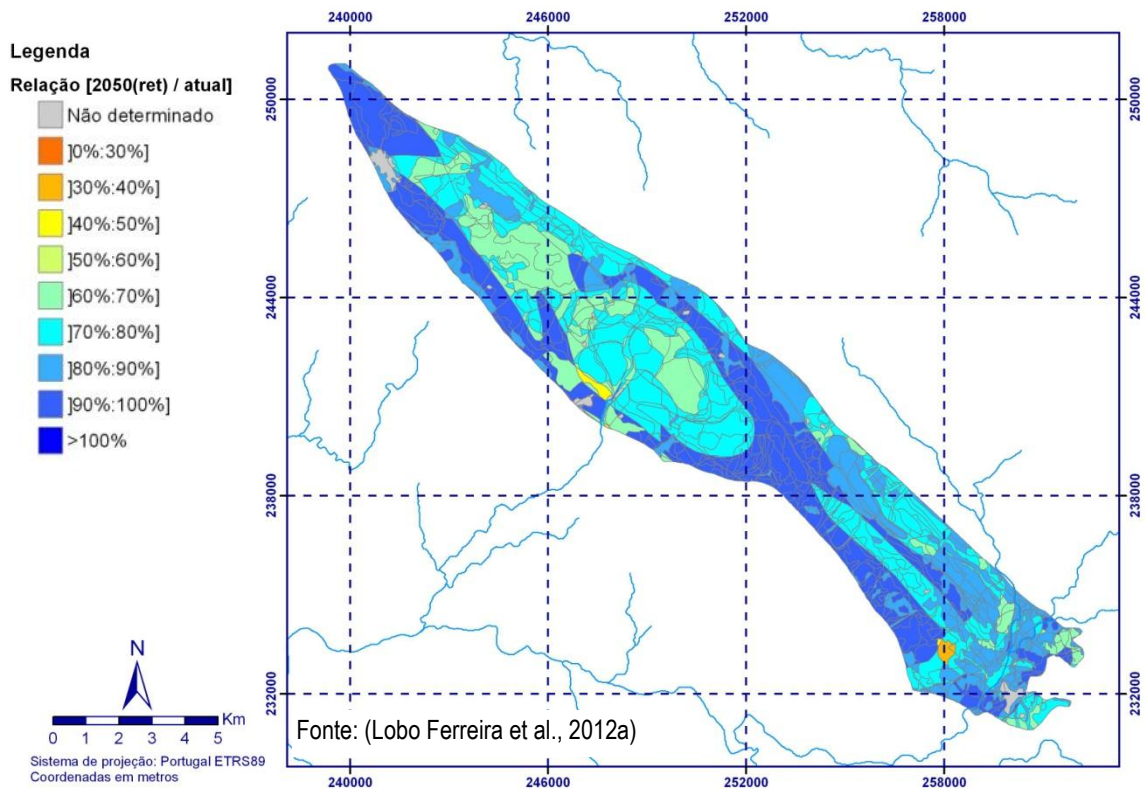


Figura 4-6 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2050 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão)

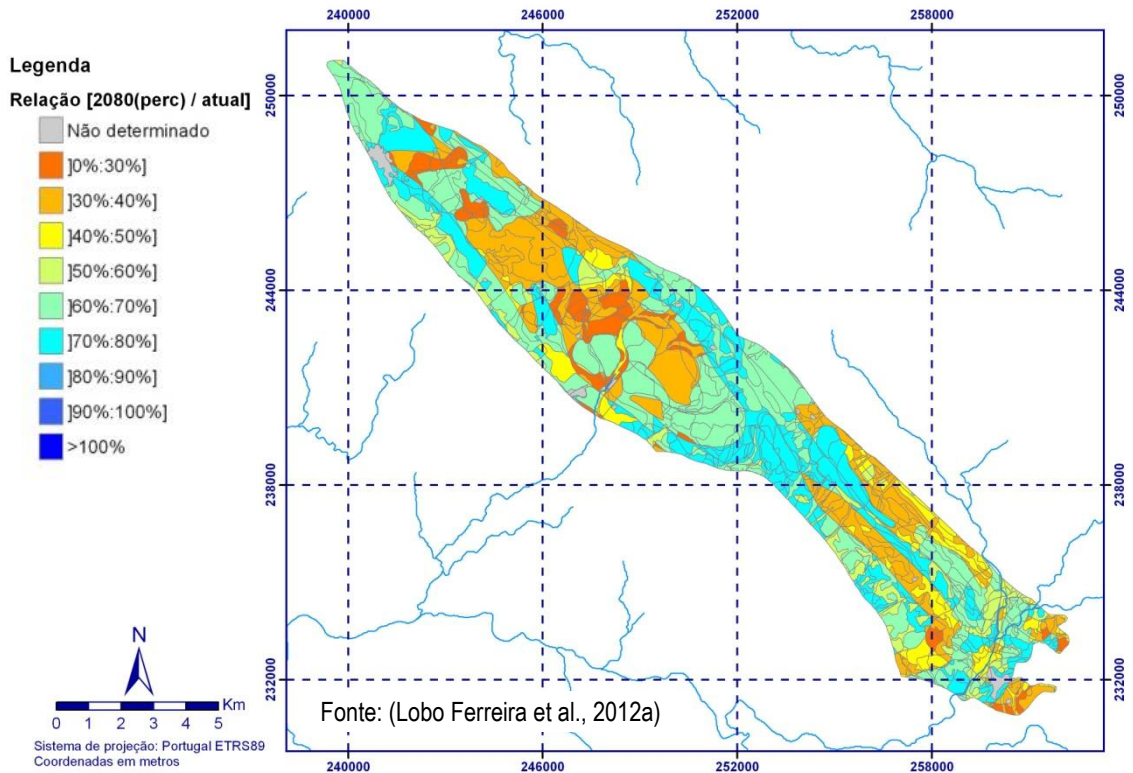


Figura 4-7 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada segundo a correção constante por estação do ano (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão)

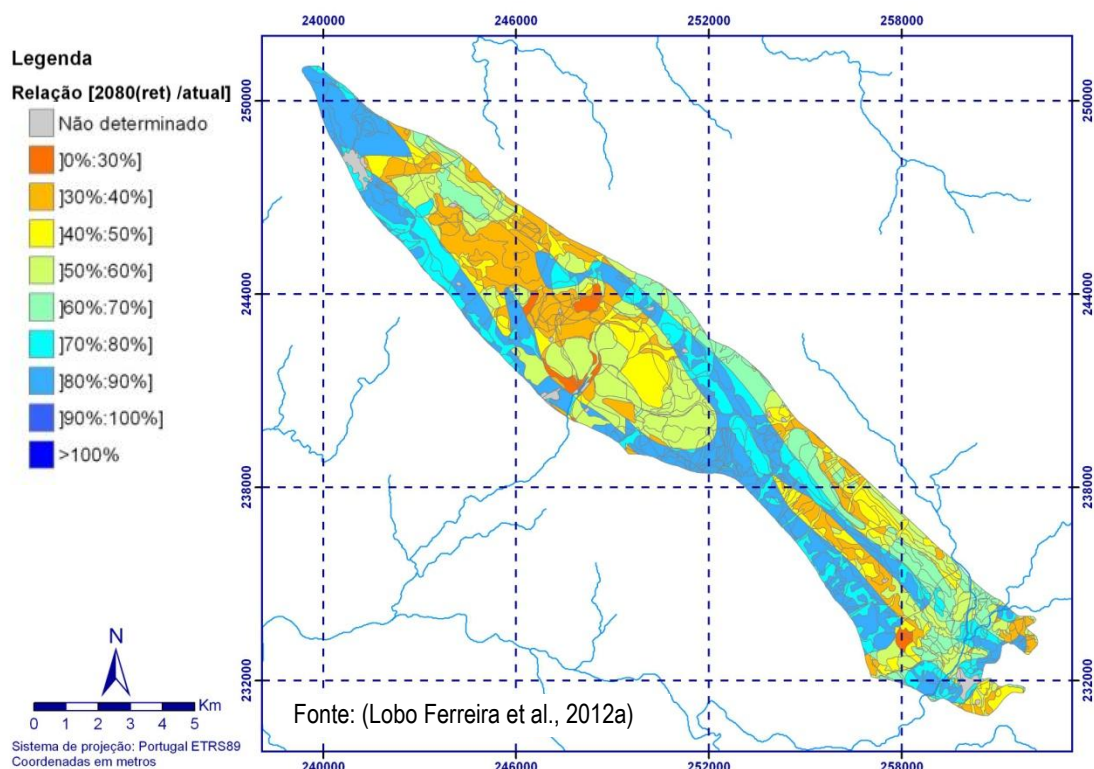


Figura 4-8 – Variação entre a recarga atual e a recarga em 2080 calculada removendo os mínimos de precipitação (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão)

#### 4.1.2 Resultados da Metodologia de Avaliação do Impacto das Alterações Climáticas nos EDAS do Sistema Aquífero de Torres Vedras

Com base nos resultados da análise da variação das componentes do balanço hídrico sob cenários climáticos determinou-se seguidamente, utilizando a simulação matemática (modelo matemático MODFLOW), a partir dos modelos matemáticos definidos por Monteiro in Lobo Ferreira et al. (2012a; 2012b) a avaliação do impacto que estas modificações causam nos EDAS (ecossistemas dependentes de águas subterrâneas) associados a estes sistemas aquíferos. Alguns dos resultados obtidos nesta análise e consequentes impactos sobre os EDAS são apresentados nas Figura 4-9 a Figura 4-16. Para o sistema aquífero de Torres Vedras – análise realizada em Lobo Ferreira et al. (2012b) – o modelo prevê uma redução das áreas alagadas e portanto será previsível uma redução da extensão dos EDAS, que se prevê mais acentuada em 2080 (Figura 4-10 e Figura 4-12) em função da redução progressiva das recargas e em consequência do aumento da profundidade do nível freático (Figura 4-9 e Figura 4-11).



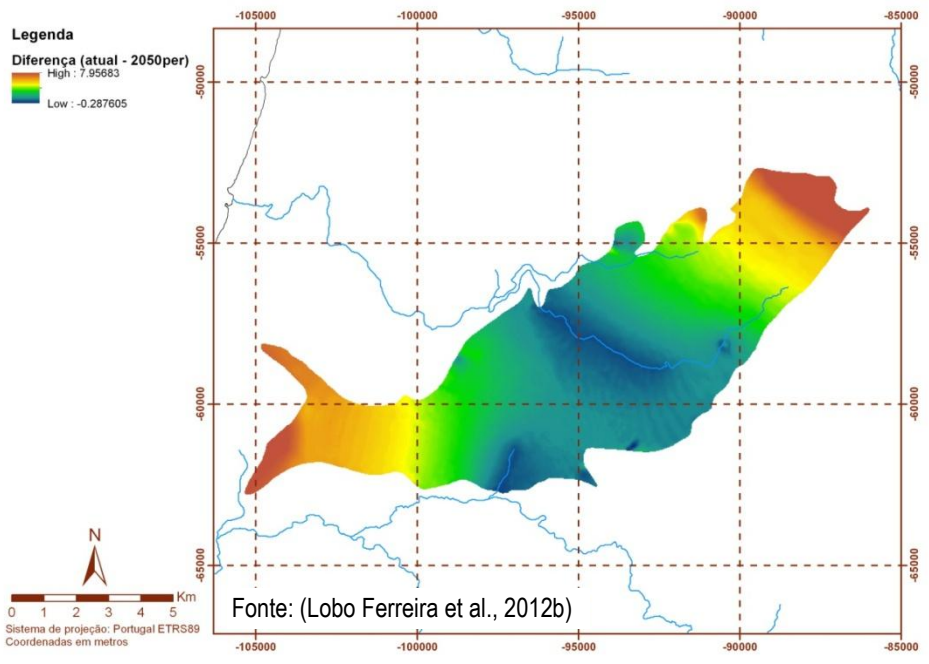


Figura 4-9 – Diferença entre o nível piezométrico em 2050 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) e o nível piezométrico atual no sistema aquífero de Torres Vedras

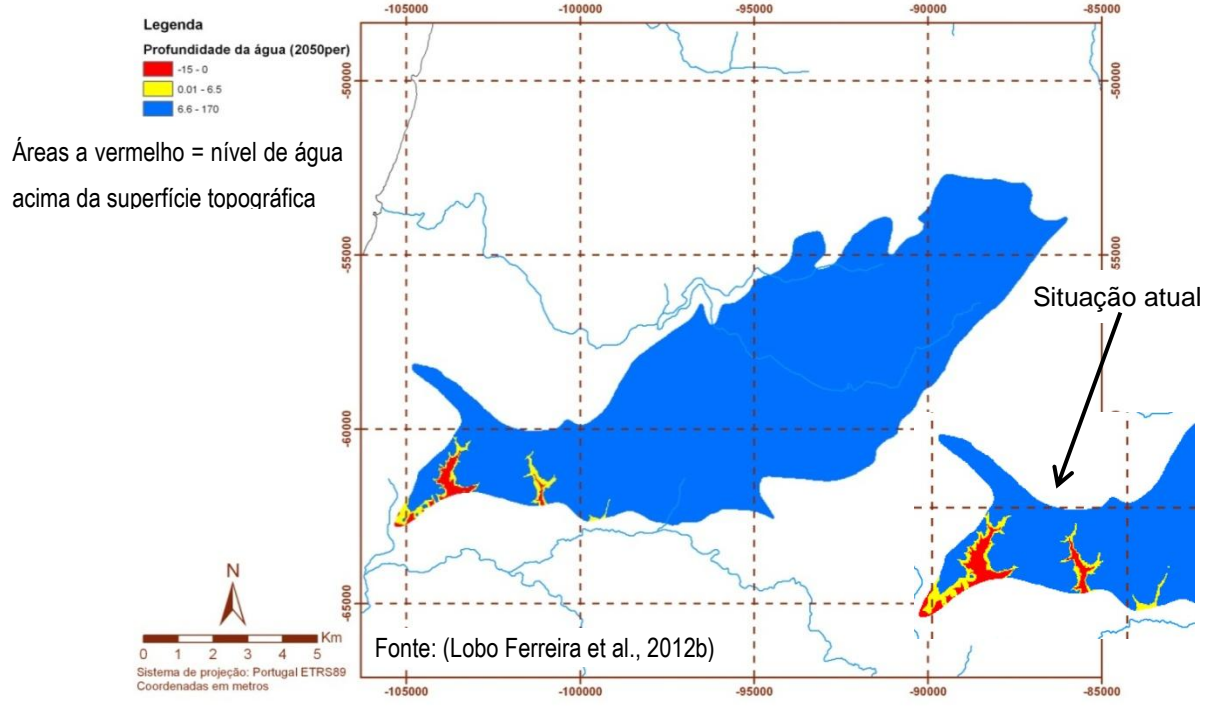


Figura 4-10 – Profundidade do nível de água em 2050 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) no sistema aquífero de Torres Vedras

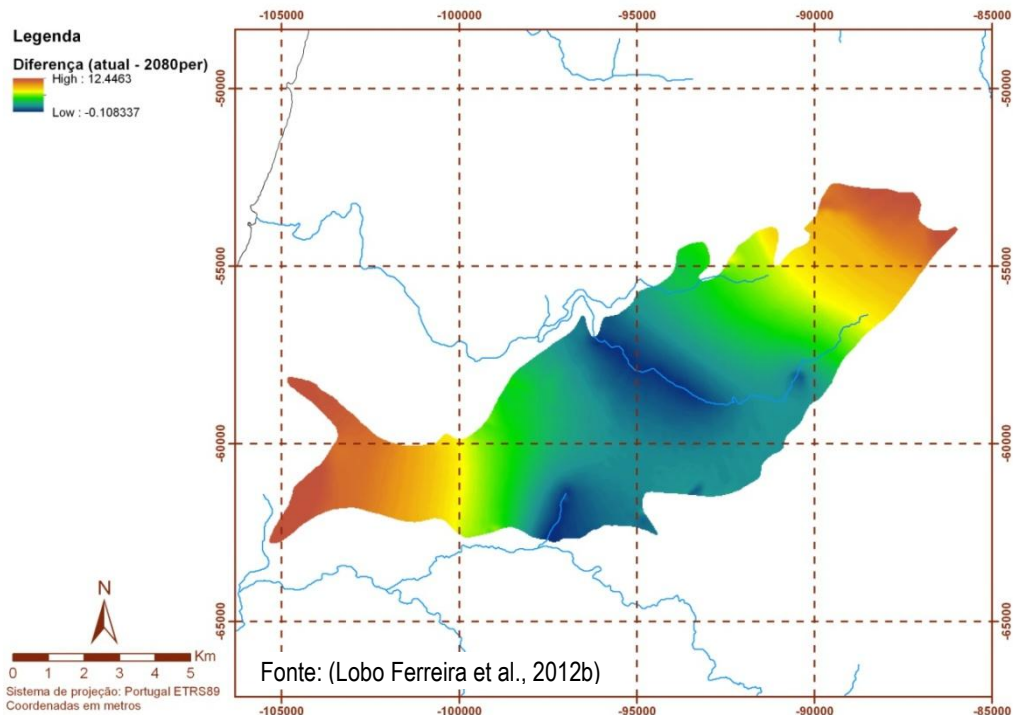


Figura 4-11 – Diferença entre o nível piezométrico em 2080 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) e o nível piezométrico atual no sistema aquífero de Torres Vedras

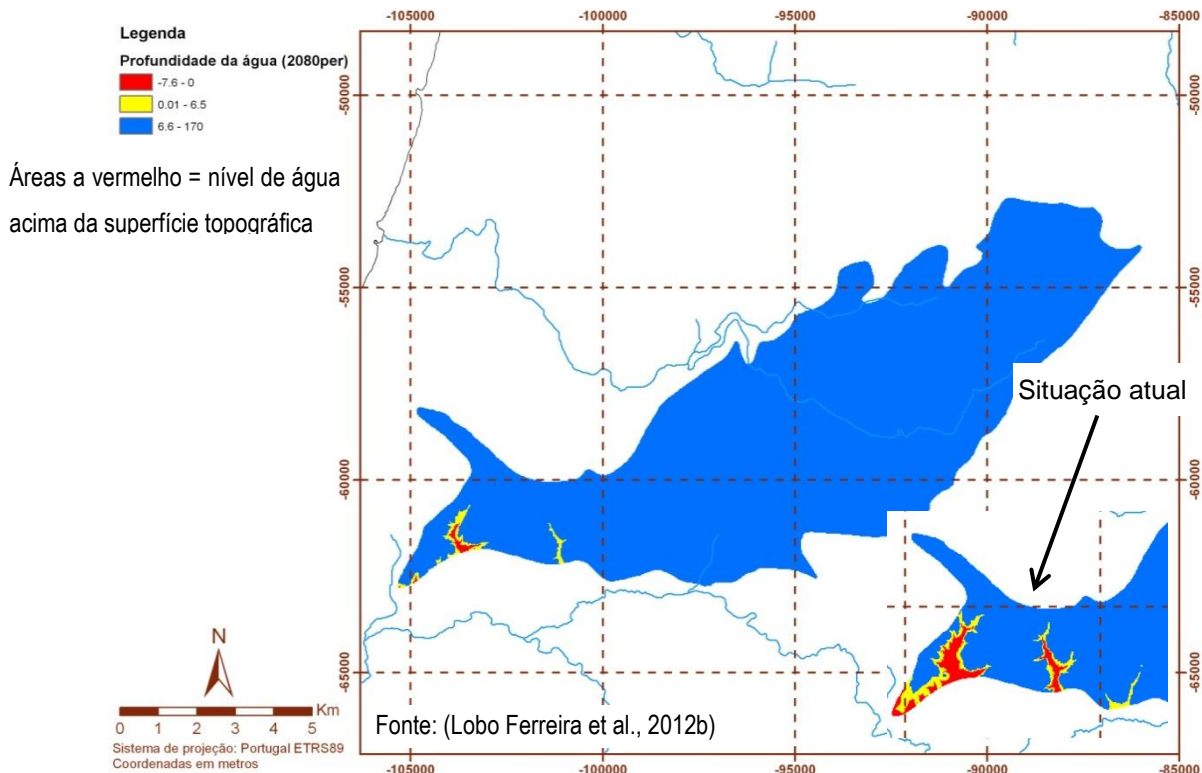


Figura 4-12 – Profundidade do nível de água em 2080 (cenários de variação constante da precipitação por estação do ano) no sistema aquífero de Torres Vedras

#### 4.1.3 Resultados da Metodologia de Avaliação do Impacto das Alterações Climáticas nos EDAS do Sistema Aquífero de Monforte-Alter do Chão

Para o sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão – análise realizada em Lobo Ferreira et al. (2012a) – e utilizando a mesma metodologia aplicada para o sistema aquífero de Torres Vedras, prevê-se igualmente um rebaixamento dos níveis piezométricos por efeito da redução da recarga, mais acentuado em 2080 (Figura 4-13 e Figura 4-15), sendo os impactos previstos pelo modelo matemático sobre os EDAS ilustrados nas Figura 4-14 e Figura 4-16. Segundo estes resultados prevê-se significativa redução das zonas alagadas em 2050, sendo que em 2080 tais zonas terão área praticamente nula.

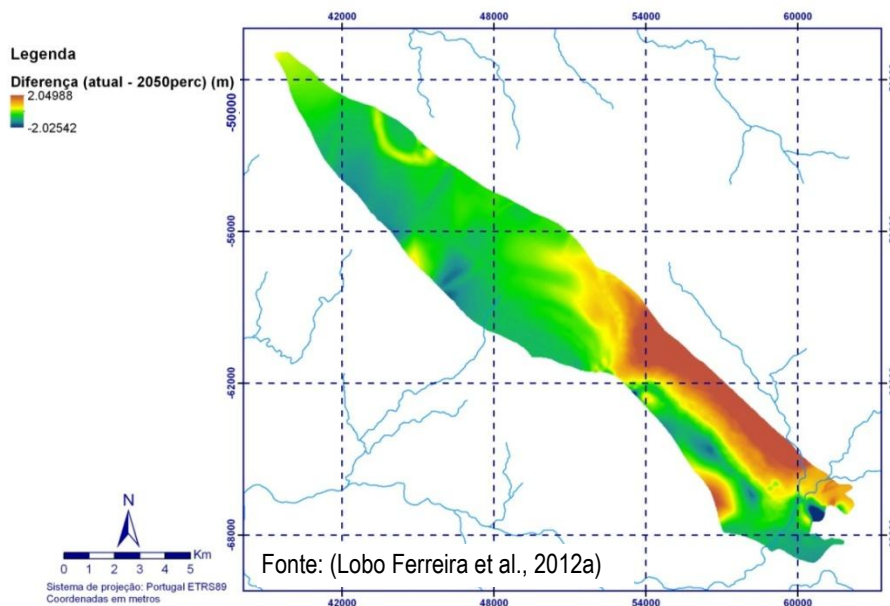


Figura 4-13 – Diferença entre o nível piezométrico em 2050 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) e o nível piezométrico atual (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão)

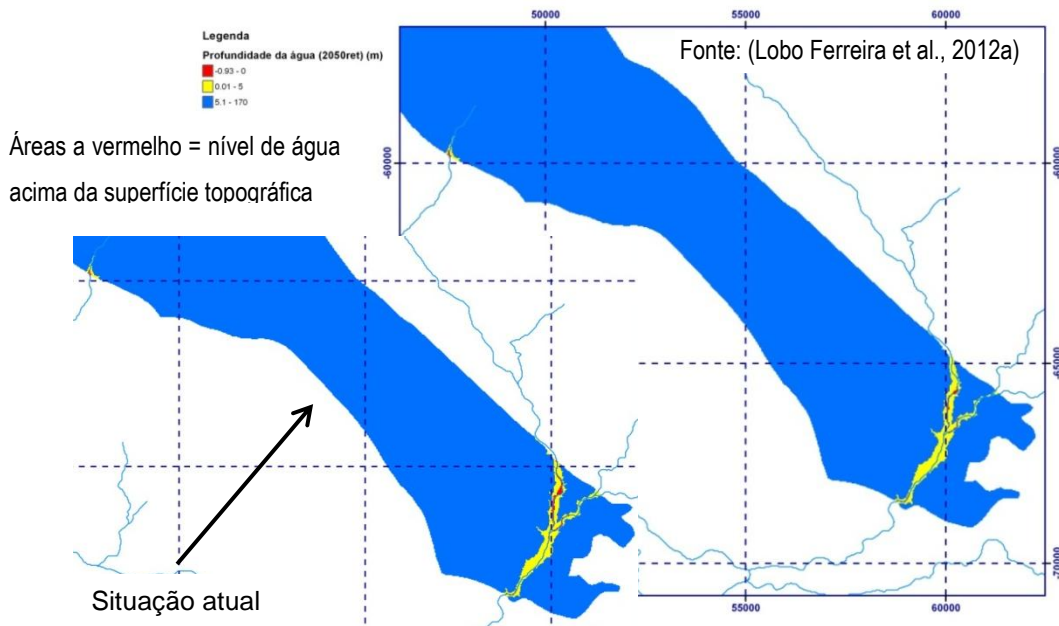


Figura 4-14 – Profundidade do nível de água em 2050 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) no sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão

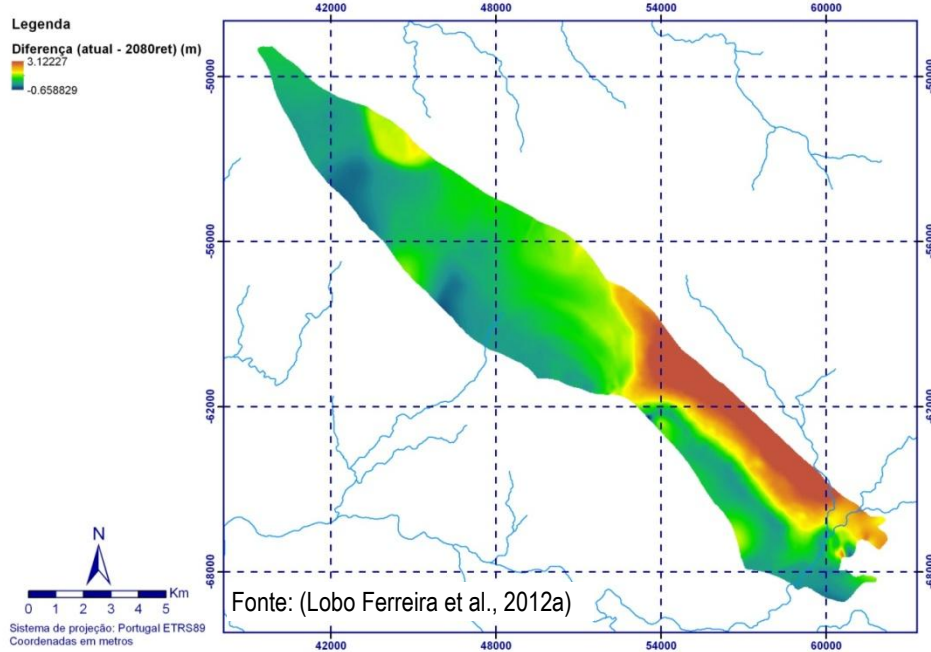


Figura 4-15 – Diferença entre o nível piezométrico em 2080 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) e o nível piezométrico atual (sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão)

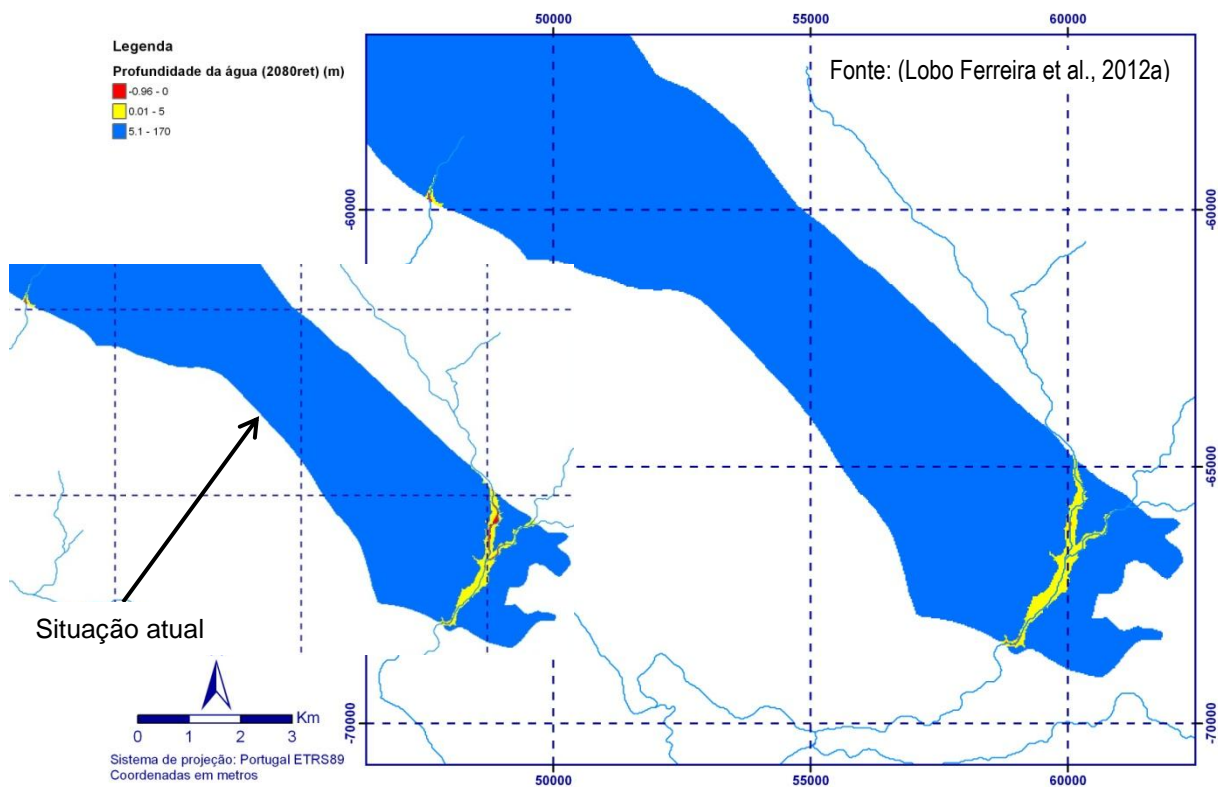


Figura 4-16 – Profundidade do nível de água em 2080 (cenário de variação da precipitação sem os eventos menores) no sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão

No caso, por exemplo, do aquífero de Monforte-Alter do Chão a área de zonas húmidas reduz-se entre 63% (considerando séries de precipitação transformadas de modo a eliminar os eventos menores) e 47% (para séries de precipitação transformadas com fator de modificação constante por estação do ano) até 2050; para 2080 esta redução é já, respetivamente de 89% e 83% (Quadro 4-3).

Quadro 4-3 – Variação das áreas de zonas húmidas no sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão

Cenário	Área (km <sup>2</sup> )		
	Nível piezométrico < 0 m = zona húmida	Nível piezométrico próximo da superfície = entre 0 e 1 m	Nível piezométrico abaixo de 1 m
Atual	0,1475	0,2038	97,5081
2050	s/ eventos menores de precipitação	0,0550	0,2175
	variação constante por estação do ano	0,0775	0,2119
2080	s/ eventos menores de precipitação	0,0162	0,1675
	variação constante por estação do ano	0,0256	0,1900

Fonte: Lobo Ferreira et al. (2013)

## 4.2 Projecto PROWATERMAN

### 4.2.1 Análise da Variação da Recarga e Escoamento Superficial em Cenários de Alterações Climáticas (sistemas aquíferos de Querença-Silves, Sines/bacia hidrográfica de Melides e bacia hidrográfica de Odelouca)

A análise da modificação das recargas e escoamentos superficiais foi realizada em Oliveira et al. (2012a) para o sistema aquífero de Querença-Silves, para a região do sistema aquífero de Sines definida pela área da bacia hidrográfica de Melides, tendo também sido avaliada a variação dos escoamentos superficiais da bacia de Odelouca (que interceta o bordo ocidental do aquífero Querença-Silves) em cenários de alterações climáticas. Os resultados apresentam-se no Quadro 4-4 e na Figura 4-17 para o sistema aquífero de Sines (setor da bacia hidrográfica de Melides, aquífero superficial). Para o aquífero de Querença-Silves os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 4-5 e na Figura 4-18. A alteração do escoamento superficial na bacia hidrográfica de Odelouca apresenta-se nos Quadro 4-6 e Quadro 4-7 e na Figura 4-19.

Quadro 4-4 – Recarga natural (RAQ) e escoamento direto (ESC) da bacia de Melides em condições atuais e em cenários de alterações climáticas

		ESC	RAQ	Percentagem do valor atual	
		(mm/ano)	(mm/ano)	ESC	RAQ
	<i>Condições atuais</i>	199	119	100%	100%
Cenário emissões/modelo climático	HadRM2/IS92a	179	88	89,8%	73,7%
	HadRM3/SRES A2	114	47	57,5%	39,9%
	HadRM3/SRES B2	142	64	71,5%	53,6%

Fonte: Novo et al. (2013a); ESC = escoamento direto; RAQ = recarga natural

Quadro 4-5 – Recarga natural e escoamento direto do sistema aquífero Querença-Silves em condições atuais e em cenários de alterações climáticas

		ESC	RAQ	Percentagem do valor atual	
		(mm/ano)	(mm/ano)	ESC	RAQ
	<i>Condições atuais</i>	115	294	100%	100%
Cenário emissões/modelo climático	HadRM2/IS92a	100	245	87,6	83,4
	HadRM3/SRES A2	59	136	51,4	46,2
	HadRM3/SRES B2	79	186	68,9	63,3

Fonte: Novo et al. (2013b); ESC = escoamento direto; RAQ = recarga natural

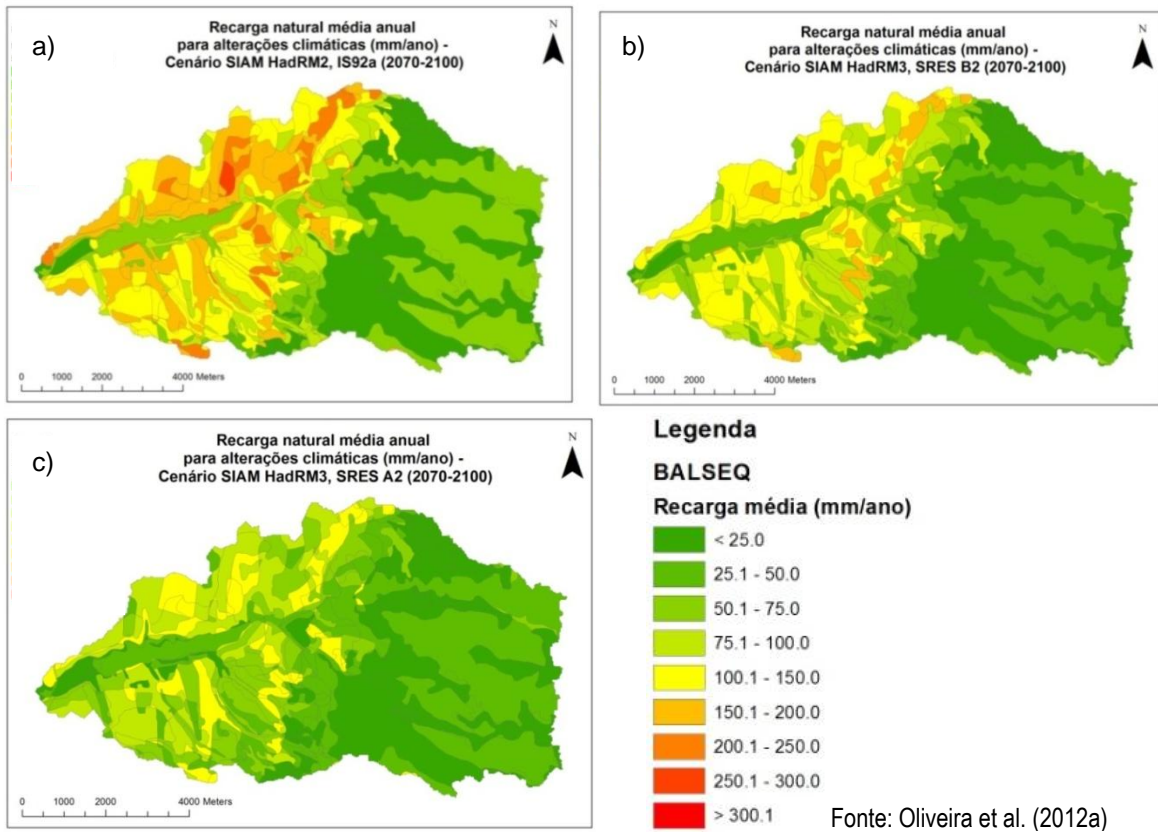


Figura 4-17 – Recarga natural média anual, a) cenário HadRM2/IS92a; b) cenário HadRM3/SRES A2; c) cenário HadRM3/SRES B2

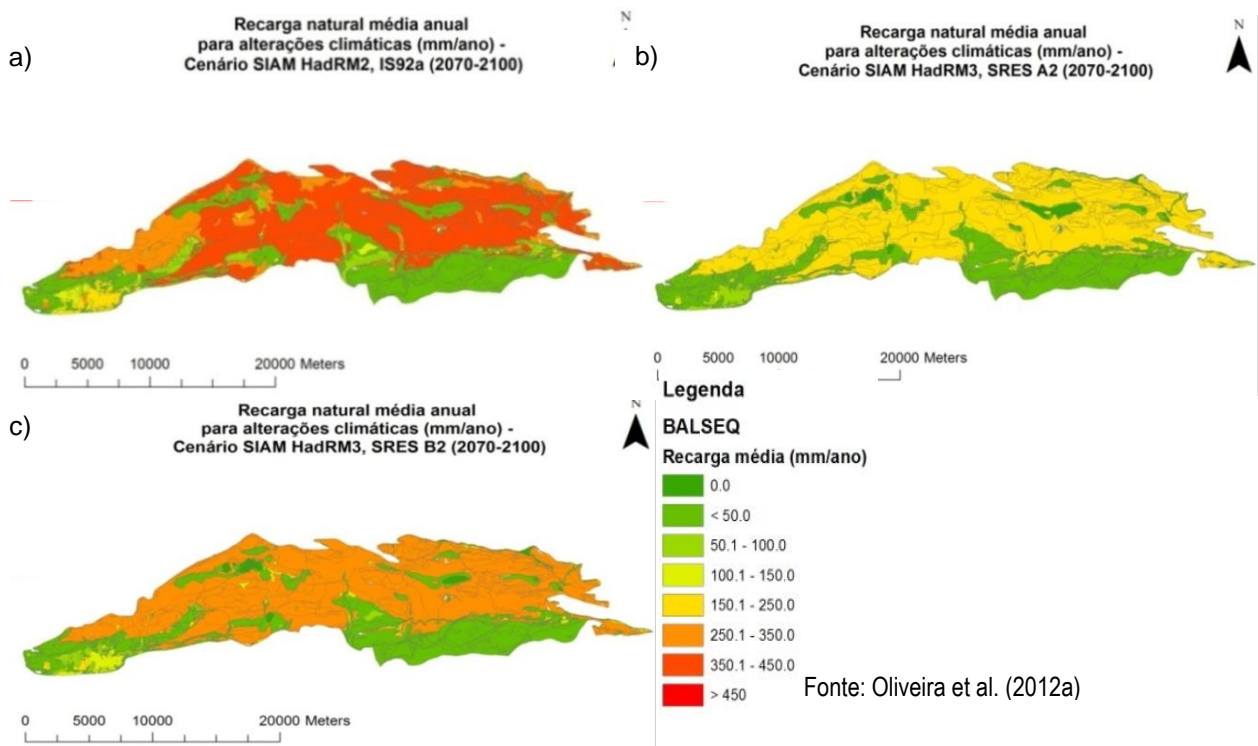


Figura 4-18 – Recarga natural média anual no sistema aquífero Querença-Silves, a) cenário HadRM2/IS92a, b) HadRM3/SRES A2; c) HadRM3/SRES B2

Quadro 4-6 – Recarga natural, escoamento direto, de base e totais atuais na bacia hidrográfica de Odelouca em cenários de alterações climáticas

		Escoamento (mm/ano)			Recarga natural (mm/ano)
		Direto (Ed)	De base (Eb)	Total (Ed + Eb)	
	<i>Condições atuais</i>	520	61	581	59
Cenário emissões/modelo climático	HadRM2/IS92a	467	52	519	44
	HadRM3/A2	278	19	298	22
	HadRM3/B2	367	36	403	32

Fonte: Novo et al. (2013b); ESC = escoamento direto; RAQ = recarga natural

Considerando que os terrenos da bacia de Odelouca são em grande parte de menor permeabilidade que os terrenos do sistema aquífero Querença-Silves, o que se expressa pela muito menor recarga atual (Quadro 4-5 vs. Quadro 4-6), as maiores reduções ocorrerão onde já existe reduzida recarga.

Quadro 4-7 – Expressão percentual versus os valores atuais para a recarga natural, escoamento direto, de base e total em cenários de alterações climáticas na bacia hidrográfica de Odelouca

		Escoamento (mm/ano)			Recarga natural (mm/ano)
		Direto (Ed)	De base (Eb)	Total (Ed + Eb)	
	<i>Condições atuais</i>	100%	100%	100%	100%
Cenário emissões/modelo climático	HadRM2/IS92a	89,9%	85,6%	89,4%	73,9%
	HadRM3/A2	53,5%	32,5%	51,3%	36,9%
	HadRM3/B2	70,7%	58,7%	69,4%	54,4%

Fonte: Novo et al. (2013b); ESC = escoamento direto; RAQ = recarga natural

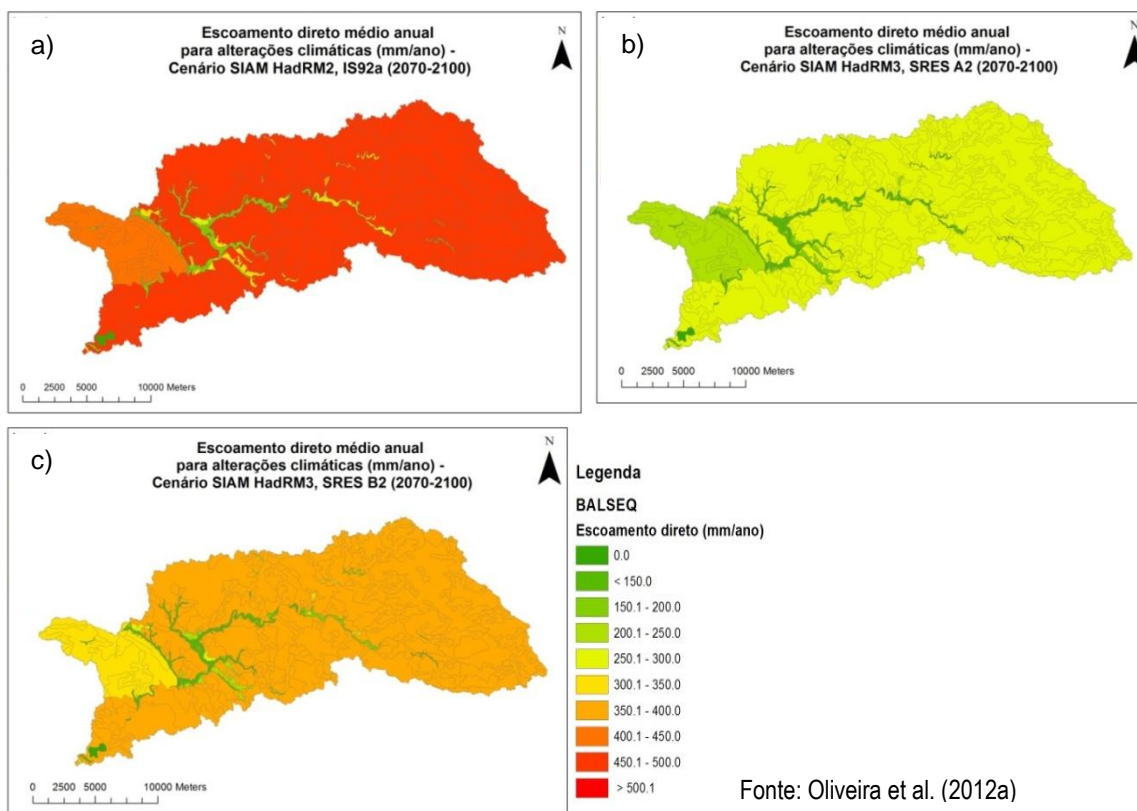


Figura 4-19 – Escoamento direto medio anual bacia hidrográfica de Odelouca, a) cenário a) cenário HadRM2/IS92a, b) HadRM3/SRES A2; c) HadRM3/SRES B2



## 4.2.2 Análise do Risco de Secas e Alterações Climáticas

Uma análise do risco de seca, realizada em Oliveira et al. (2012a), para o aquífero de Querença-Silves permitiu tirar algumas ilações da evolução expectável dos recursos hídricos em cenários de alterações climáticas. No Quadro 4-8 é apresentada a classificação para os últimos 30 anos, tendo os anos de seca sido assim classificados:

- Ano seco – precipitação entre 500 mm/ano e 557 mm/ano.
- Ano muito seco – precipitação entre 394 mm/ano e 500 mm/ano.
- Ano extremamente seco – precipitação inferior a 394 mm/ano.

Na Figura 4-20 apresenta-se a relação para a precipitação, recarga e volumes de água extraídos do aquífero para diferentes situações hidrológicas representativas no aquífero Querença-Silves. Verifica-se que para um ano normal (precipitação média = 654 mm/ano) não existe qualquer problema de sobre-exploração; já para anos em que ocorre apenas metade da recarga anual média (referenciada aos últimos 30 anos), as extrações tendem a aproximar-se do limiar a partir do qual o estado quantitativo é classificado de Mediocre. Ora os anos extremamente secos (precipitações inferiores a 394 mm), que constituem cerca de 16,7% dos últimos 30 anos, têm precipitações e concomitantes recargas que se aproximam destas condições. Nestes anos as extrações podem aproximar-se ou mesmo ultrapassar o valor de 90% da recarga desse ano. Considerando a proporção de anos secos e extremamente secos nos últimos 30 anos, tal indicia que o problema das secas, e em particular das secas extremas, se torna significativo mesmo em condições climáticas atuais. No caso específico do sistema aquífero Querença-Silves esta situação pode ser acomodada devido às características de funcionamento hidráulico, reservas hídricas elevadas, transferências de água entre diferentes compartimentos e o efeito regulador de alguns destes compartimentos, se o evento de seca durar poucos anos. Um exemplo disto foi o evento de seca extrema de 2004/2005, o ano mais seco dos últimos 30 anos, em que a extração foi duas vezes superior à recarga calculada para esse ano, tendo esta súbita subida dos volumes de extração sido devida à incapacidade das barragens abastecerem grande parte da procura, como consequência da seca.

Quadro 4-8 – Classificação dos últimos 30 anos hidrológicos em S. Bartolomeu de Messines (Método dos Decis)

Ano hidrológico	Classificação (Método dos Decis)	Ano hidrológico	Classificação (Método dos Decis)
1979/1980	Normal	1994/1995	Extremamente seco
1980/1981	Extremamente seco	1995/1996	Extremamente húmido
1981/1982	Normal	1996/1997	Normal
1982/1983	Muito seco	1997/1998	Extremamente húmido
1983/1984	Normal	1998/1999	Extremamente seco
1984/1985	Normal	1999/2000	Normal
1985/1986	Normal	2000/2001	Muito húmido
1986/1987	Seco	2001/2002	Normal
1987/1988	Muito húmido	2002/2003	Normal

Ano hidrológico	Classificação (Método dos Decis)	Ano hidrológico	Classificação (Método dos Decis)
1988/1989	Húmido	2003/2004	Normal
1989/1990	Extremamente húmido	2004/2005	Extremamente seco
1990/1991	Normal	2005/2006	Normal
1991/1992	Extremamente seco	2006/2007	Normal
1992/1993	Muito seco	2007/2008	Normal
1993/1994	Normal	2008/2009	Muito seco

Fonte: Oliveira et al. (2012a); Oliveira e Novo (2013)

Ora apesar de nesse ano o balanço no sistema aquífero Querença-Silves ter sido claramente negativo, foi possível satisfazer o grosso das extrações, devido às grandes reservas hídricas que este possui. No entanto os problemas podem começar a surgir se em vez dos anos extremamente secos serem *outliers*, estes passarem a ser a norma.

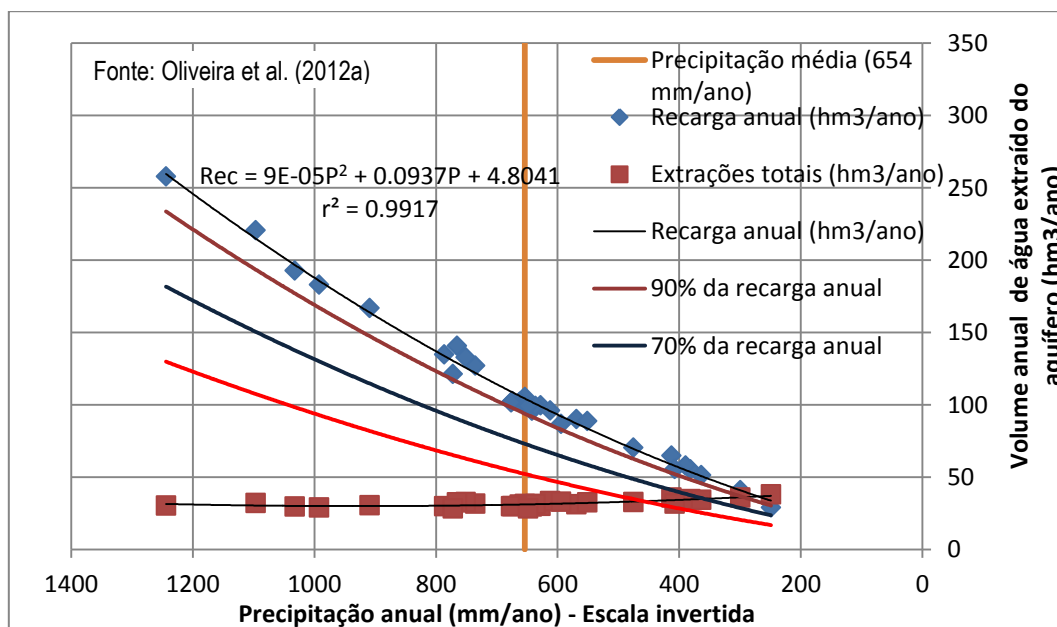


Figura 4-20 – Relação entre os parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves

Com efeito se se tomar em conta as recargas calculadas para as condições de alterações climáticas (Quadro 4-5), a média passará a localizar-se na classe dos atuais anos extremamente secos, mesmo para o cenário mais favorável (cenário de emissões IS92a). Ou seja chegar-se-á a uma situação onde poderá ser possível que as reservas hídricas do sistema aquífero não possam suportar os volumes de extração de forma sustentável. Efetivamente, se se comparar as condições pelo lado da recarga, no caso do cenário SRES A2 a recarga média calculada (136 mm/ano) é inferior à recarga média em ano extremamente seco (143 mm/ano; cf. Oliveira et al., 2012a; Oliveira e Novo, 2013), ao passo que o cenário SRES B2 tem uma recarga média sensivelmente similar às recargas em anos muito secos (86 mm/ano vs. 189 mm/ano; cf. ibidem).

Por seu lado, o impacto das alterações climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos na bacia de Odelouca (e da Serra Algarvia em geral) levará a uma redução dos

escoamentos superficiais e, conseqüentemente, a uma redução dos volumes de água cedidos a jusante e, muito admissivelmente a uma redução da descarga subsuperficial para as ribeiras, reduzindo ainda mais os respetivos caudais. A redução prevista do escoamento superficial vindo da Serra Algarvia tem impactos ao nível dos aquíferos que recebem uma parte apreciável de recarga das ribeiras que, vindas da Serra, parcial ou totalmente se infiltram ao chegar a estes aquíferos (ex.: Querença-Silves). Assim, não apenas a recarga direta é diminuída mas também a recarga alóctone, trazida por estas ribeiras.

A análise do impacto das alterações climáticas, sendo que estas estabelecem como condições de norma as atuais condições de sequia a grande sequia, foi feita em função da avaliação das taxas de exploração do aquífero Querença-Silves (Novo et al., 2013b). Esta avaliação foi feita considerando a relação entre precipitação mensal, necessidades hídricas das plantas e os seguintes pressupostos: (1) as necessidades hídricas das plantas – em especial citrinos, que são o principal consumidor da água de rega neste sistema aquífero – não se modificariam significativamente em condições de alterações climáticas, (2) manutenção da área agrícola. Estes pressupostos não deverão verificar-se tanto no que se refere à área como nas necessidades hídricas, pois os citrinos são plantas de tipo C3 e em condições de maior temperatura e aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico, tenderão a aumentar a sua atividade fotossintética, com o conseqüente aumento das suas áreas foliares e consumos de água (cf. <http://www.co2science.org/subject/b/summaries/biodivc3vsc4.php>)<sup>1</sup>. Assim, a sua adoção serviu sobretudo para definir um referencial de base para futuros estudos que considerem tanto as variações das áreas agrícolas como as variações nas necessidades hídricas, dado o atual pouco conhecimento da modificação desta variável para os citrinos do Algarve sob os cenários climáticos usados. Admitindo então para este “Cenário de Referência” níveis de consumos relativos a 2011, sendo que tais consumos se referem ao total abastecido por águas subterrâneas (agricultura + alguns domésticos + outros), as taxas de exploração são as apresentadas no Quadro 4-9.

**Quadro 4-9 – Relação extração/recarga para a agricultura em cenários de alterações climáticas**

<b>Modelo climático / Cenário de emissões</b>	<b>Precipitação (mm/ano)</b>	<b>Recarga (hm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Extração (hm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Relação extração/recarga (%)</b>
SIAM HadRM2, IS92a (2070-2100)	589	78,05	32,10	41,10
SIAM HadRM3, SRES A2 (2070-2100)	388	43,27	32,93	76,10
SIAM HadRM3, SRES B2 (2070-2100)	490	59,33	30,61	51,60

Fonte: adaptado de Novo et al. (2012a; 2013b)

1 Plantas C3 são plantas que fazem a transformação direta do CO<sub>2</sub> em compostos orgânicos através ciclo de Calvin, sendo no geral plantas de zonas temperadas e em que os estômatos se fecham quando a temperatura é elevada, evitando deste modo a perda de água; plantas C4 são plantas que realizam a transformação do CO<sub>2</sub> em compostos orgânicos através dum mecanismo mais complexo que envolve um processo de fixação do carbono previamente ao ciclo de Calvin, sendo plantas melhor adaptadas a ambientes de temperaturas diurnas elevadas, luz solar intensa, seca e condições de disponibilidade limitada de nitratos ou CO<sub>2</sub>, tendo um maior efeito anti-transpirante ao aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico (definições em [http://www.biology-online.org/dictionary/C4\\_plant](http://www.biology-online.org/dictionary/C4_plant)).

No entanto, como de facto existem alterações no tecido sócio-económico, se se utilizarem as projeções sócio-económicas (Lourenço et al., 2012) para o horizonte temporal mais distante existente para a área (2030) e se admitir, como hipótese de trabalho, que os consumos associados a estas alterações serão similares em 2100 – ou seja, haverá redução de área agrícola mas as necessidades hídricas das plantas se mantêm similares às da atualidade e não haverá alteração do tipo de cultura e/ou calendário de cultura – os volumes de rega previstos serão os apresentados no Quadro 4-10.

**Quadro 4-10 – Variação dos volumes de rega em cenários sócio-económicos (horizonte temporal 2030)**

Culturas	Área (ha)		Volume de rega (hm <sup>3</sup> /ano)	
	Atual	Em 2030	Atual	Em 2030
Citrinos	2 920	3 080	11,72	12,35
Culturas de Primavera	170	120	0,51	0,36
Culturas de Verão	560	395	2,31	1,63
Total	3 650	3 595	14,54	14,34

Fonte: adaptado de Novo et al. (2012a)

Admitindo, como hipótese de trabalho, que as necessidades hídricas *per capita* nos consumos domésticos se mantêm iguais a 2030, e entrando em consideração com a evolução demográfica e os resultados do Quadro 4-10 (evolução dos consumos agrícolas), obtém-se as taxas de exploração para estes “Cenário sócio-económico” (Quadro 4-11), que resultam do somatório dos consumos agrícolas, domésticos e outros.

**Quadro 4-11 – Relação extração/recarga para a globalidade dos consumos em cenários de alterações climáticas**

Modelo climático / Cenário de emissões	Recarga (hm <sup>3</sup> /ano)	Consumos totais (hm <sup>3</sup> /ano)	Relação extração/recarga (%)
SIAM HadRM2, IS92a (2070-2100)	78,05	40,29	51,32
SIAM HadRM3, SRES A2 (2070-2100)	43,27	40,89	94,49
SIAM HadRM3, SRES B2 (2070-2100)	59,33	38,57	65,00

Fonte: adaptado de Novo et al. (2012a; 2013b)

#### 4.2.3 Avaliação de Impactos de Alterações Climáticas sobre EDAS: Caso de Estudo Lagoa de Melides / Componente Quantitativa

Porém a variação nos consumos, o aumento das taxas de exploração e a modificação dos volumes de recargas e escoamento superficiais não são as únicas consequências das alterações climáticas. Na área de estudo de Melides avaliou-se o impacto que estas alterações teriam na quantidade de água que pudesse ser cedida pelo aquífero ao meio hídrico superficial, o que afetará o volume de água presente na lagoa de Melides e, deste modo a concentração de poluentes que é descarregada neste ecossistema parcialmente dependente de águas subterrâneas (Novo et al., 2013a; 2013c; 2013d).

Se se considerar o escoamento superficial, a variação da recarga na área da bacia hidrográfica em cenários de alterações climáticas (Quadro 4-4) e o atual volume de água na lagoa, o volume da lagoa terá a evolução apresentada no Quadro 4-12.

Quadro 4-12 – Variação do volume da lagoa de Melides em cenários de alteração climática

		ESC (mm/ano)	RAQ (mm/ano)	Redução		Vol. médio lagoa (hm <sup>3</sup> )	Altura média da coluna de água na lagoa (m)
				ESC	RAQ		
	Condições atuais	199	119	0%	0%	1,5	3,00 (1)
Cenário emissões/modelo climático	HadRM2/IS92a	179	88	10,2%	26,3%	1,35	2,95
	HadRM3/SRES A2	114	47	42,5%	60,1%	0,86	2,05
	HadRM3/SRES B2	142	64	28,6%	46,4%	1,07	2,43

Fonte: Novo et al. (2013a); (1) Valor determinado em Oliveira et al. (2012b)

De referir que no caso do cenário SRES A2, cuja recarga média corresponde às dos atuais anos secos e anos extremamente secos (Oliveira et al., 2012a; Novo et al., 2013a), a coluna de água calculada para a lagoa assemelha-se à que é registada atualmente em condições de seca prolongada (Isabel Pinheiro, informação oral). Note-se ainda que para este cenário, a redução do volume da lagoa é da ordem dos 43%. Nos cálculos dos valores de volume da lagoa apresentados no Quadro 4-12 não se consideraram as reduções de volume de água devido a uma expectável maior evaporação devido ao aumento de temperatura, alteração da insolação e humidade atmosférica.

A componente de descarga do meio hídrico subterrâneo é importante neste caso de estudo pois constitui atualmente cerca de 27 a 30% do volume total da lagoa (Oliveira et al., 2012b), valor este que corresponde a cerca de 95% da recarga na bacia. A evolução desta componente subterrânea para a alimentação da lagoa e rede hidrográfica em cenários de alterações climáticas é a que se apresenta no Quadro 4-13. Uma discriminação das componentes de alimentação à lagoa de Melides é apresentada no Quadro 4-14. Em avanços posteriores de aplicação das metodologias desenvolvidas pretende-se realizar uma avaliação mais detalhada destes aspetos, nomeadamente do impacto da redução das recargas e do conseqüente rebaixamento dos níveis freáticos, utilizando a metodologia já aplicada no âmbito dos planos de bacia para os EDAS dos sistemas aquíferos de Torres Vedras e de Monforte-Alter do Chão (Lobo Ferreira et al., 2012a; 1012b).

Quadro 4-13 – Variação percentual da recarga que alimenta as ribeiras e das recargas totais em cenários de alterações climáticas

Datas/Cenário de emissões		Recarga da bacia (m <sup>3</sup> /ano)	Recarga que alimenta as ribeiras (%)
	Atual	5 269 858	94,88
2100	IS92a	3 884 381	48,66
	A2	2 103 000	5,23
	B2	2 825 800	29,73

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 4-14 – Variação dos volumes de água que alimentam e saem da Lagoa em cenários de alterações climáticas para condições de volumes da Lagoa e descargas para o oceano não constantes

Datas/Cenário de emissões	Volume máximo da Lagoa (hm <sup>3</sup> )	% de variação do volume da Lagoa	Volumens que circulam na Lagoa (hm <sup>3</sup> /ano)			Recarga entrada vs. volume total entrado (%)	Escoamento total na bacia (hm <sup>3</sup> /ano)	% face ao total saído		
			Total entrado	Total saído	Recarga entrada			Escoamento	Recarga	
Atual	1,5	0,00	19,25	17,75	5,00	25,97	13,82	71,80	28,0	
Em 2027	1,5	0,00	19,22	17,72	5,00	26,00	13,82	71,90	27,9	
2100	IS92a	1,35	-10,00	14,33	12,98	1,89	13,22	12,43	95,81	14,60
	A2	0,86	-42,67	8,03	7,17	0,11	1,41	7,92	110,42	1,58
	B2	1,07	-28,67	10,70	9,63	0,84	7,81	9,86	102,44	8,67

Fonte: Novo et al. (2013c)

Os valores acima apresentados partem da hipótese teórica de que a dinâmica costeira se manterá sensivelmente similar à atualmente vigente, ou seja, que tanto a taxa de erosão como a subida do nível do mar serão de alguma forma equilibrados pelos processos morfodinâmicos da bacia hidrográfica de Melides e região envolvente. Na realidade tal não se deverá verificar, e as alterações expectáveis nos processos litorais modificarão os padrões de circulação entre as águas do mar e as da Lagoa, afetando os regimes de abertura desta massa lagunar ao oceano, a qual, em alguns cenários, e considerando apenas as influências continentais, deveria sofrer uma redução do seu volume. Este aspeto carece de investigação, que requererá parcerias com especialistas nas disciplinas dos processos do litoral.

#### 4.2.4 Avaliação de Impactos de Alterações Climáticas sobre EDAS: Caso de Estudo Lagoa de Melides / Componente Antrópica

Esta análise, cuja metodologia foi começada a desenvolver para o sistema aquífero de Torres Vedras (Novo et al., 2012), foi aplicada por Novo et al. (2013a; 2013c) à bacia hidrográfica de Melides para definir os impactos da ação humana não apenas sobre os EDAS mas sobre a globalidade dos recursos hídricos em cenários de alterações climáticas. Esta metodologia considera duas situações: (1) manutenção das necessidades hídricas individuais de plantas, pessoas e animais, (2) alteração das necessidades hídricas de plantas, pessoas e animais, em resultado das alterações climáticas. Para a análise dos impactos quantitativos (e também qualitativos) das pressões humanas, entra-se em consideração com os cenários sócio-económicos para o horizonte temporal mais distante (Lourenço et al., 2012) e assume-se em seguida que a situação se manterá até 2100 Novo et al., 2013e), exceto no que concerne às áreas agrícolas, onde se adota as variações definidas por estudos de impactos das alterações climáticas sobre a evolução das áreas agrícolas para o espaço europeu (Rounsevell et al., 2006). Estes mesmos pressupostos são aplicados para a determinação da evolução provável das cargas poluentes na lagoa de Melides (Novo et al., 2013a; Novo et al., 2013c; Novo et al., 2013d). Como na área de estudo os consumos são abastecidos por recursos hídricos superficiais e subterrâneos, determinou-se as taxas de exploração para cada um destes recursos tendo em atenção a atividade sócio-económica que deles se abastece e a evolução provável

dos seus consumos. Para o caso de se considerar a manutenção das necessidades hídricas de pessoas, animais e plantas, os resultados são apresentados no Quadro 4-15, Quadro 4-16 e Quadro 4-17. Refira-se que para o caso dos recursos hídricos superficiais, alocados essencialmente aos arrozais, a sua exploração ocorre apenas no período de regas que se estende de Abril a Setembro (Lourenço et al., 2012), pelo que se calculou também a taxa de exploração considerando os escoamentos superficiais previstos para os diferentes cenários climáticos para esse período (Quadro 4-17).

**Quadro 4-15 – Variação dos consumos e taxas de exploração para as origens subterrâneas dos consumos, em função das recargas alteradas por efeito das alterações climáticas**

Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Volumes de consumos (m <sup>3</sup> /ano)				Recarga (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Atual		525 288	--	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38,87
Ano 2100	HadRM2, IS92a	564 947	--	1 424 951	1 568,1	3 897 038	51,10
	HadRM3, SRES A2	564 947	--	1 424 951	1 568,1	2 081 372	95,68
	HadRM3, SRES B2	564 947	--	1 424 951	1 568,1	2 834 209	70,27
Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Taxas de consumo por atividade económica (%)					
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Atual		9,97	--	28,87	0,03		
Ano 2100	HadRM2, IS92a	14,50	--	36,56	0,04		
	HadRM3, SRES A2	27,14	--	68,46	0,08		
	HadRM3, SRES B2	19,93	--	50,28	0,06		

Fonte: Novo et al. (2013a; 2013c; 2013d)

**Quadro 4-16 – Variação dos consumos e taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos, em função dos escoamentos superficiais alterados por efeito das alterações climáticas (média global anual)**

Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Volumes de consumos (m <sup>3</sup> /ano)	Escoamento superficial (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Arrozais		
Atual		640 000	13 819 959	4,63
Ano 2100	HadRM2, IS92a	585 845	12 410 323	4,72
	HadRM3, SRES A2	585 845	7 946 476	7,37
	HadRM3, SRES B2	585 845	9 881 271	5,93

Fonte: Novo et al. (2013c)

Para o caso em que se considerem as alterações das necessidades hídricas, a metodologia desenvolvida alcançou os resultados que se apresentam nos Quadro 4-18, Quadro 4-19 e Quadro 4-20.

Quadro 4-17 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos por efeito das alterações climáticas (período de regadio: Abril a Setembro)

Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Volumos de consumos (m <sup>3</sup> /ano)		Escoamento superficial (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Arrozais			
	Atual	640 000		2 761 310	23,18
Ano 2100	HadRM2, IS92a	585 845		1 593 682	36,76
	HadRM3, SRES A2	585 845		1 174 555	49,88
	HadRM3, SRES B2	585 845		1 820 780	32,18

Fonte: Novo et al. (2013c; 2013d)

Quadro 4-18 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens subterrâneas dos consumos por efeito das alterações climáticas

Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Volumos de consumos (m <sup>3</sup> /ano)				Recarga (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
	Atual	525 288	--	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38,87
Ano 2100	HadRM2, IS92a	723 132	--	1 709 941	2 335,8	3 897 038	62,49
	HadRM3, SRES A2	658 163	--	1 652 943	1 991,1	2 081 372	111,13%
	HadRM3, SRES B2	632 740	--	1 610 195	1 916,7	2 834 209	79,21

Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Taxas de consumo por atividade económica (%)				
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária	
	Atual		9,97	--	28,87	0,03
Ano 2100	HadRM2, IS92a		18,56	--	43,88	0,06
	HadRM3, SRES A2		31,62	--	79,42	0,10
	HadRM3, SRES B2		22,33	--	56,81	0,07

Fonte: Novo et al. (2013a; 2013c)

Quadro 4-19 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos por efeito das alterações climáticas (valores médios anuais)

Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Volumos de consumos (m <sup>3</sup> /ano)		Escoamento superficial (m <sup>3</sup> /ano)	Taxas de exploração (%)
		Arrozais			
	Atual	640 000		13 819 959	4,63
Ano 2100	HadRM2, IS92a	--		12 380 198	--
	HadRM3, SRES A2	679 580		7 855 595	8,55
	HadRM3, SRES B2	662 005		9 828 073	6,70

Fonte: Novo et al. (2013c)



Quadro 4-20 – Variação dos consumos e alteração das taxas de exploração para as origens superficiais dos consumos por efeito das alterações climáticas (período de regadio: Abril a Setembro)

Horizonte temporal	Modelo/cenário climático	Volumens de consumos (m <sup>3</sup> /ano)		Escoamento superficial (m <sup>3</sup> /época de rega)	Taxas de exploração (%)
		Arrozais			
	Atual	640 000		2 761 310	23,18
	HadRM2, IS92a	--		1 593 682	--
Ano 2100	HadRM3, SRES A2	679 580		1 174 555	57,86
	HadRM3, SRES B2	662 005		1 820 780	36,36

Fonte: Novo et al. (2013c)

#### 4.2.5 Avaliação de Impactos de Alterações Climáticas sobre EDAS: Caso de Estudo Lagoa de Melides / Componente Qualitativa

A análise desta componente foi realizada em Novo et al. (2013a) e Novo et al. (2013c), baseando-se nos modelos sócio-económicos de Lourenço et al. (2012), na metodologia definida em Novo et al. (2013c) e considerando a variação das áreas agrícolas definidas por Rounsevell et al. (2006). Com efeito, a variação das áreas agrícolas, da população humana e pecuária origina alterações das cargas poluentes que são descarregadas para o meio hídrico subterrâneo e superficial. Estas cargas acabam por ter como destino final, após tempos de percurso mais ou menos variáveis, a lagoa de Melides. Por seu turno, por efeito das alterações climáticas, a lagoa verá o seu volume de água ser alterado e deste modo será alterada a sua resiliência às cargas poluentes. Considerando as cargas poluentes descarregadas no meio hídrico superficial (dominadas pelas descargas dos arrozais) e admitindo um cenário em que não ocorresse abandono da cultura nem redução da área agrícola, as concentrações que se passariam a registar em média na lagoa seriam as que se apresentam no Quadro 4-21. Tais cargas poluentes não entram em consideração com possíveis alterações nas práticas agrícolas nem nos processos erosivos e consequente arraste de poluentes fixados nas partículas do solo.

Quadro 4-21 – Variação potencial das cargas poluentes associadas aos arrozais, passíveis de atingir a lagoa em cenários de alterações climáticas

		Vol. médio lagoa (hm <sup>3</sup> )	Carga poluente (kg)		Concentração (mg/l)	
			NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Condições atuais	1,5	2832	2741	1,89	1,83
Cenário emissões/modelo climático	HadRM2/IS92a	1,35	2832	2741	2,10	2,03
	HadRM3/SRES A2	0,86	2832	2741	3,30	3,19
	HadRM3/SRES B2	1,07	2832	2741	2,65	2,56

Fonte: Novo et al. (2013a)

Considerando agora as variações do volume de água da lagoa devido à alteração do escoamento superficial e das descargas do aquífero por efeito das alterações climáticas, entrando em consideração com as projeções dos cenários sócio-económicos em termos de população humana, pecuária e área agrícola até 2030 e admitindo, que a carga poluente da população humana e

pecuária se manterá aos níveis de 2030 e que as áreas agrícolas de 2030 poderão ser afetadas pelas projeções para o espaço europeu das áreas agrícolas por efeito das alterações climáticas (Rounsevell et al., 2006), obtém-se a evolução da carga poluente apresentada no Quadro 4-22 e Quadro 4-23. Nestes cálculos considera-se que os fosfatos têm forte apetência para serem retidos pelo solo, pelo que se consideram apenas as cargas poluentes com tempos de percurso até 1 ano (Novo e Oliveira, 2013; Novo et al., 2013a; Novo et al., 2013c; Novo et al., 2013d) ao passo que os nitratos são conservativos e portanto as cargas poluentes subterrâneas são o somatório progressivo das cargas com 1 ano de tempo de percurso com as de tempos de percurso progressivamente superiores. Além disso estas cargas poluentes subterrâneas são afetadas pela redução causada pela diminuição das descargas do aquífero para o meio hídrico superficial (diminuição resultante da redução da recarga), uma vez que, se menos água é descarregada do aquífero para o meio hídrico superficial, menor será a transferência de poluentes para esse meio hídrico.

**Quadro 4-22 – Evolução da qualidade na Lagoa, para os nitratos, em cenários de alterações climáticas e considerando as alterações previstas pelos cenários sócio-económicos**

Na Lagoa →	Não remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga		
	Área agrícola	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
Anos	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Atual		6,41	6,41	6,09	6,09	3,20	3,20	0,32	0,32
2015		7,40	7,23	7,03	6,92	3,70	3,64	0,37	0,36
2027		8,38	8,07	7,96	7,67	4,19	4,03	0,42	0,40
2050		9,13	8,83	8,67	8,34	4,56	4,42	0,46	0,44
2100 s/alter. clima		9,99	9,70	9,50	9,21	5,00	4,85	0,50	0,49
IS92a		9,43	5,66	8,96	5,38	4,72	2,83	0,47	0,28
2100 A2		2,08	0,75	1,97	0,71	1,04	0,37	0,10	0,04
B2		1,67	0,88	1,58	0,84	1,05	0,44	0,08	0,04

Fonte: Novo et al. (2013c)

**Quadro 4-23 – Evolução da qualidade na Lagoa, para os fosfatos, em cenários de alterações climáticas e considerando as alterações previstas pelos cenários sócio-económicos**

Na Lagoa →	Não remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga		
	Área agrícola	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
Anos	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Atual		3,86	3,86	3,66	3,66	1,93	1,93	0,19	0,19
2015		3,88	3,77	3,68	3,58	1,94	1,89	0,19	0,19
2027		3,85	3,59	3,66	3,41	1,93	1,79	0,19	0,18
2050		3,85	3,59	3,66	3,41	1,93	1,79	0,19	0,18
2100 s/alter. clima		3,85	3,59	3,66	3,41	1,93	1,79	0,19	0,18
IS92a		3,63	2,04	3,45	1,94	1,82	1,02	0,18	0,10
2100 A2		1,64	0,97	1,55	0,92	0,82	0,49	0,08	0,05
B2		1,32	0,97	1,25	0,93	0,66	0,49	0,07	0,05

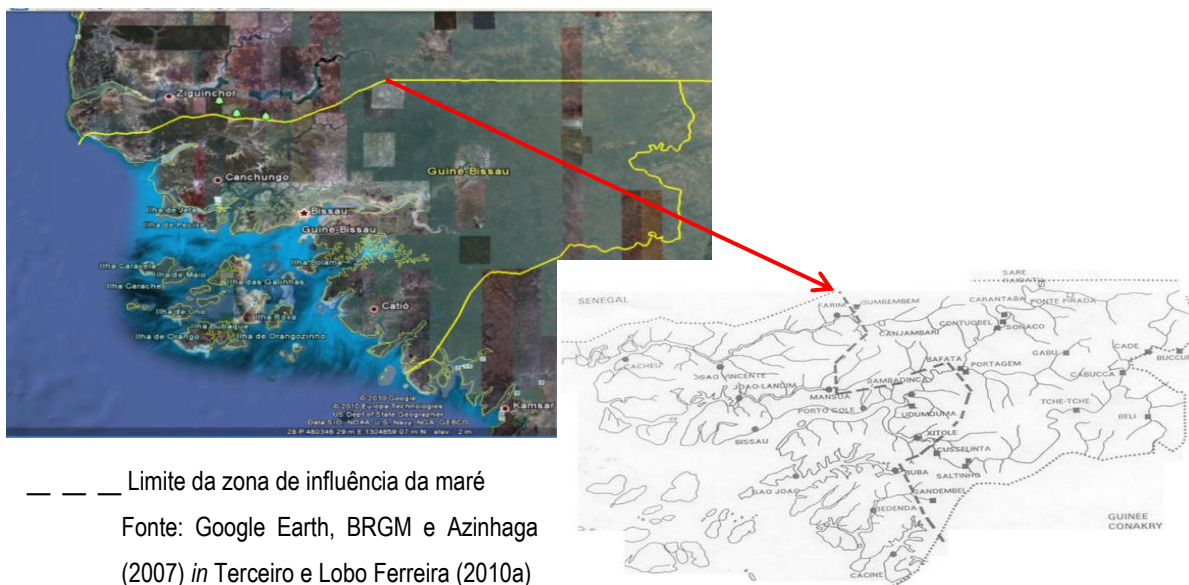
Fonte: Novo et al. (2013c)

Prevê-se assim que a alteração do volume da lagoa terá impactos ao nível da resiliência face aos poluentes mas que uma redução das descargas de origem subterrânea poderá até certo ponto contribuir para uma melhoria das condições de qualidade. Esta redução das descargas deve-se sobretudo à expectável descida dos níveis freáticos sob condições de menor recarga e em consequência uma alteração nas conexões hidráulicas entre o meio hídrico superficial e subterrâneo. Assim, os cenários onde ocorre maior redução das cargas poluentes de origem subterrânea associadas às descargas do aquífero serão aqueles em que a redução da recarga é maior (SRES A2 e SRES B2). Deste modo e apesar da redução do volume da lagoa pode ocorrer alguma melhoria da sua qualidade; tal, a ocorrer, poderá dever-se ao facto de que mais de 50% da carga poluente que atinge a lagoa terá proveniência subterrânea (Novo et al., 2013c; Novo e Oliveira, 2013). Por seu lado as descargas subterrâneas e os aportes superficiais dar-se-ão de modo mais concentrado, podendo arrastar consigo uma maior carga poluente, o que aliado à redução do volume de água da lagoa pode fazer pender a evolução no sentido adverso, tudo dependendo dos novos equilíbrios entre os volumes de água que atinjam a lagoa e as cargas poluentes transportadas nesses volumes de água.

Outras implicações da eventual redução do volume de água da lagoa são: (1) uma perda de nichos ecológicos aquáticos, podendo afetar de modo ainda não conhecido o funcionamento da lagoa como berçário de peixes, (2) a alteração da distribuição da vegetação nas margens da lagoa, com consequente alteração do escoamento superficial e transporte sólido nessas zonas.

#### **4.3 Projecto CIAS (Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas: Brasil, Portugal, Angola e Guiné-Bissau)**

No trabalho desenvolvido por Terceiro e Lobo Ferreira (2010a), Filho et al. (2010) e Lobo Ferreira et al. (2011) foi realizada a aplicação do método GALDIT desenvolvido por Chachadi e Lobo Ferreira (2001; 2007) à zona litoral da Guiné-Bissau, de natureza sedimentar para três cenários de subida do nível do mar: 0,25 m, 0,50 m e 1 m. Estes valores poderão eventualmente ser conservativos atendendo à recente aceleração do degelo da calote polar ártica e sobretudo dos glaciares continentais, com especial destaque para a cobertura glacial da Gronelândia. O método GALDIT aplicou-se à área de influência da maré, que no território da Guiné-Bissau se estende por uma extensão muito significativa do seu território (Figura 4-21). Os parâmetros do método GALDIT e as classes de vulnerabilidade à intrusão salina são apresentados respetivamente nos Quadro 4-24 e Quadro 4-25, sendo a Eq. 1 a fórmula de cálculo do índice GALDIT. Os resultados obtidos para a Guiné-Bissau são apresentados nas Figura 4-22, Figura 4-23, Figura 4-24, Figura 4-25 e Figura 4-26.



— — — Limite da zona de influência da maré  
 Fonte: Google Earth, BRGM e Azinhaga (2007) in Terceiro e Lobo Ferreira (2010a)

Figura 4-21 – Localização da área de estudo na Guiné-Bissau

Quadro 4-24 – Parâmetros GALDIT

Parâmetro GALDIT	Coefficiente de Ponderação
G – Ocorrência de aquíferos	1
A – Condutividade hidráulica	3
L – Nível piezométrico	4
D – Distância à linha de costa	4
I – Impacto do estado atual da intrusão marinha na região	1
T – Espessura do aquífero	2

Fonte: Chachadi e Lobo Ferreira (2001; 2007)

Quadro 4-25 – Classes de vulnerabilidade GALDIT à intrusão salina

Classe de Vulnerabilidade	Índice GALDIT
Elevada	$\geq 7,5$
Moderada	5 – 7,5
Baixa	$\leq 5$

Fonte: Chachadi e Lobo Ferreira (2001; 2007)

$$\text{Índice GALDIT} = \frac{1 \times G + 3 \times A + 4 \times L + 4 \times D + 1 \times I + 2 \times T}{15} \quad \text{Eq.1}$$

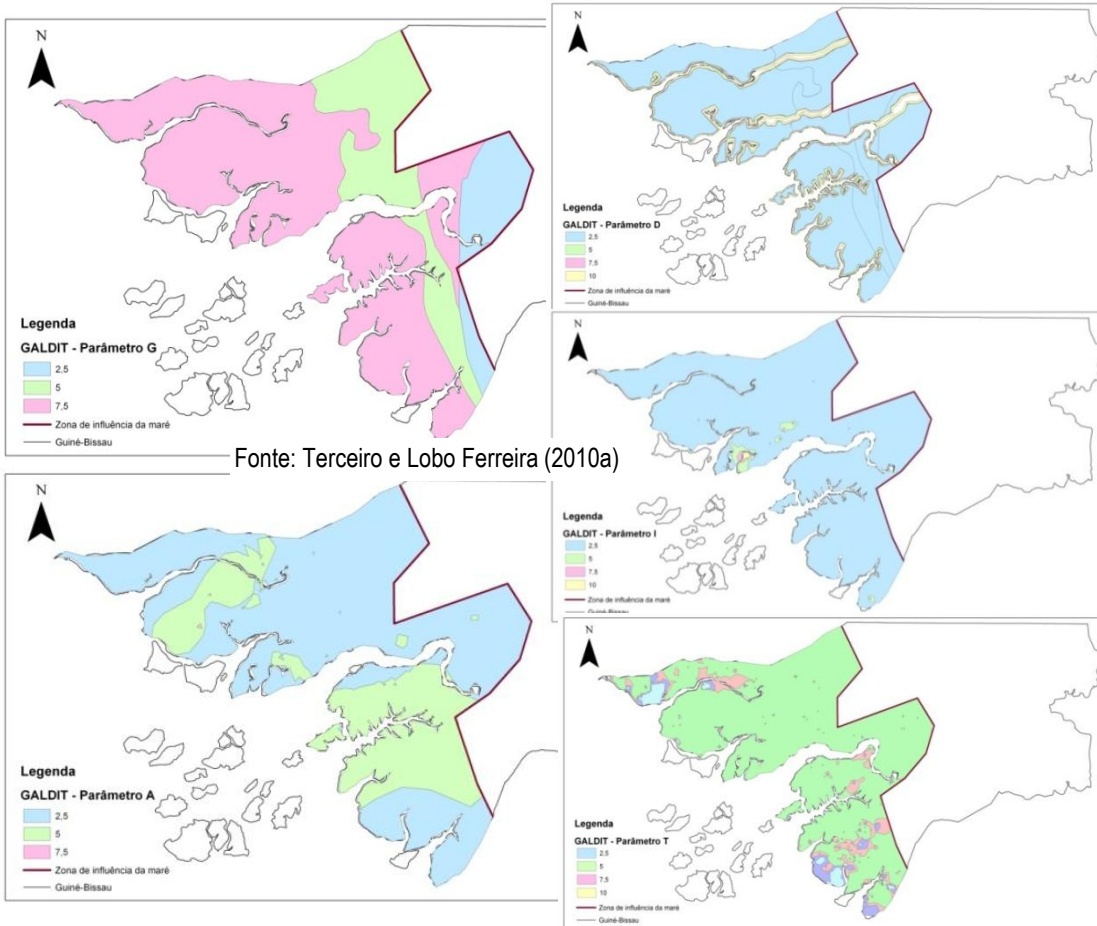


Figura 4-22 – Parâmetros G, A, D, I, T

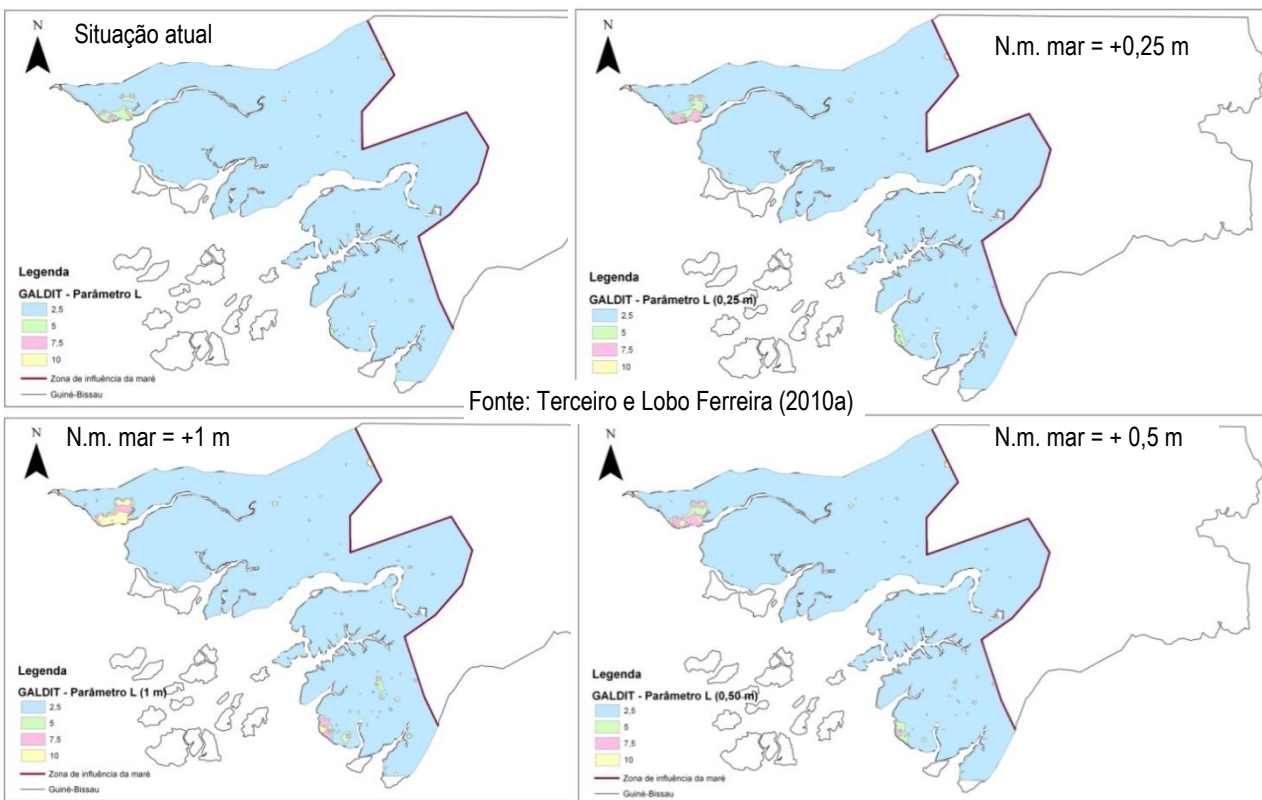


Figura 4-23 – Parâmetro L (parâmetro dependente do nível do mar)

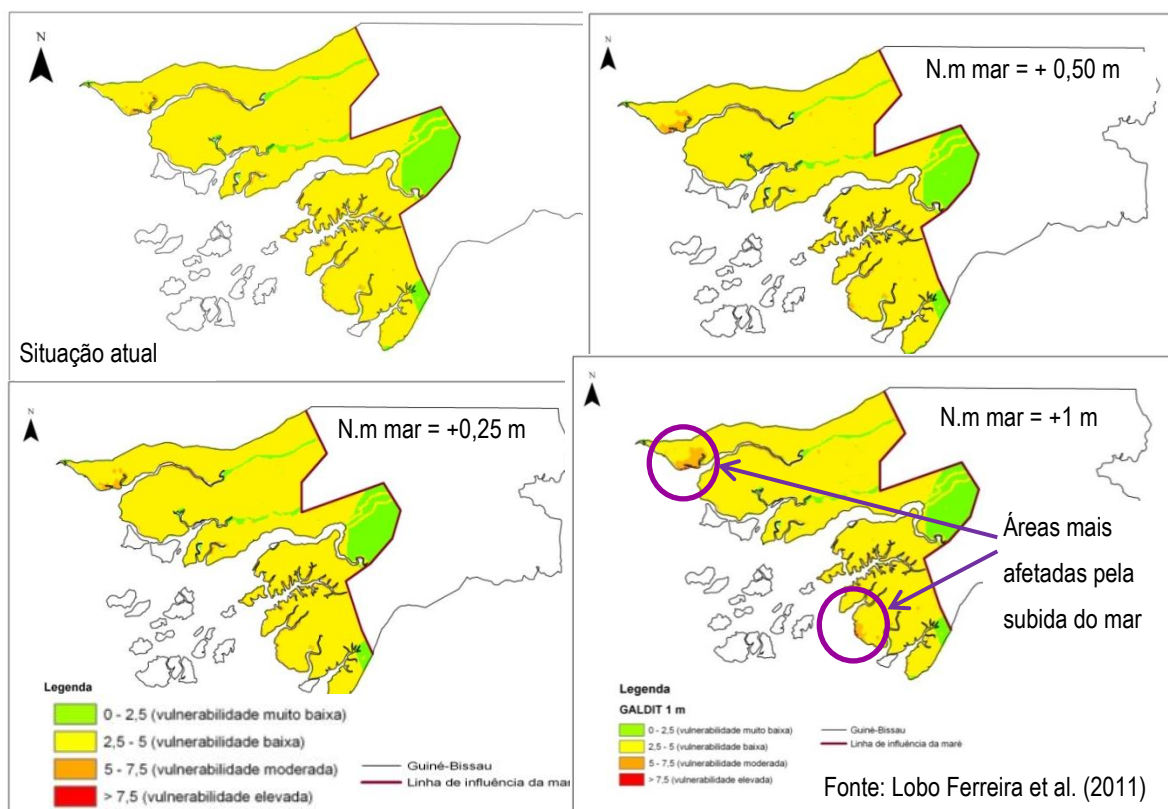


Figura 4-24 – Distribuição do Índice GALDIT para a zona de influência da maré na Guiné-Bissau

As zonas potencialmente mais afetadas pela intrusão marinha são as zonas costeiras Noroeste, nomeadamente na região do Parque Nacional de Cacheu (Figura 4-25) e Sudoeste, na zona costeira de Catió, em Calar (Figura 4-26).

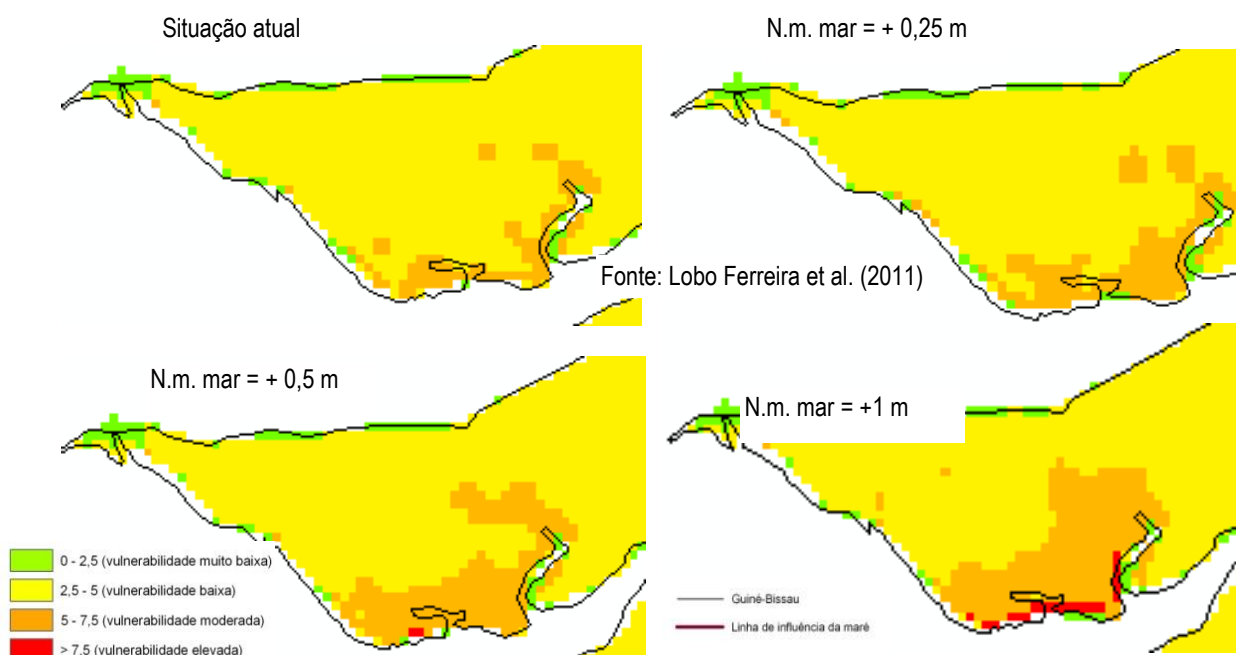


Figura 4-25 – Vulnerabilidade à intrusão salina em cenários de subida do nível do mar (Parque Nacional de Cacheu)

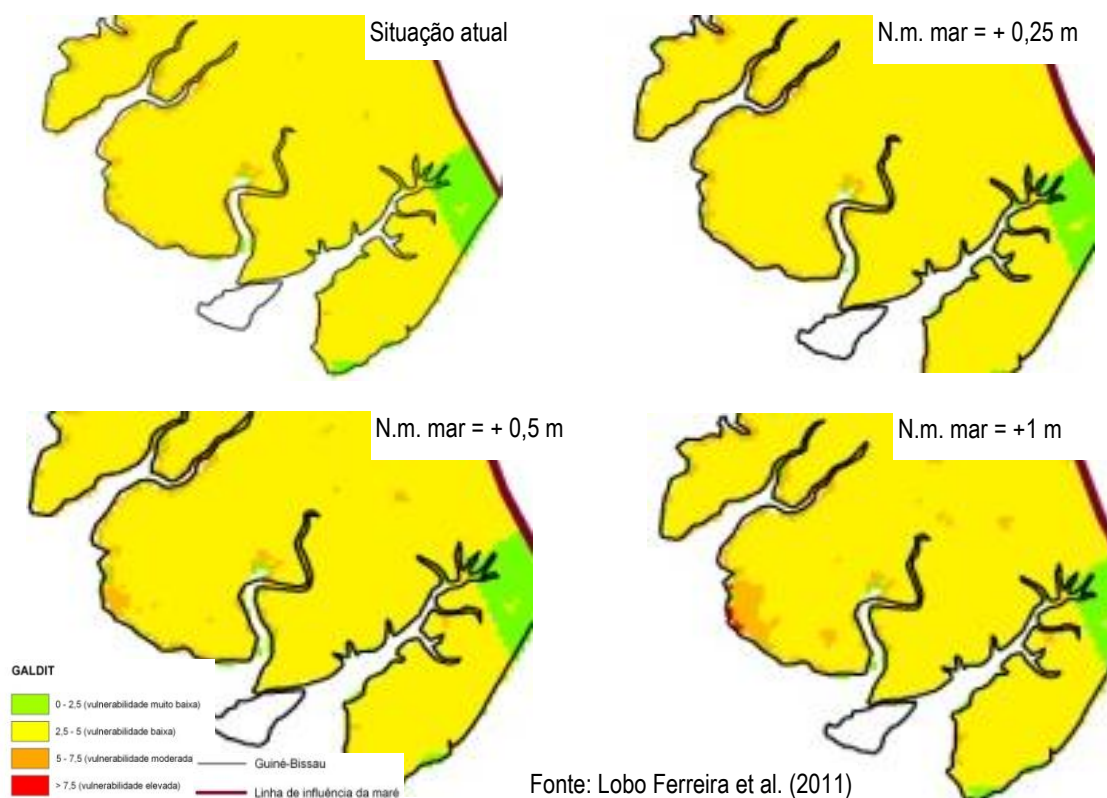


Figura 4-26 – Vulnerabilidade à intrusão salina em cenários de subida do nível do mar (Calar)

Para a área de estudo do aquífero litoral de Quelo-Luanda (Angola; Figura 4-27), cujas formações são de natureza detrítica, dominadas por sucessões de argilas e areias (Miguel, 2006 in Terceiro et al., 2010b), como se ilustra na Figura 4-27, e que apresenta problemas de intrusão salina, foi igualmente aplicada a metodologia GALDIT. Os resultados da aplicação da metodologia GALDIT, apresentados em Lobo Ferreira (2009), são ilustrados na Figura 4-28 e Figura 4-29.

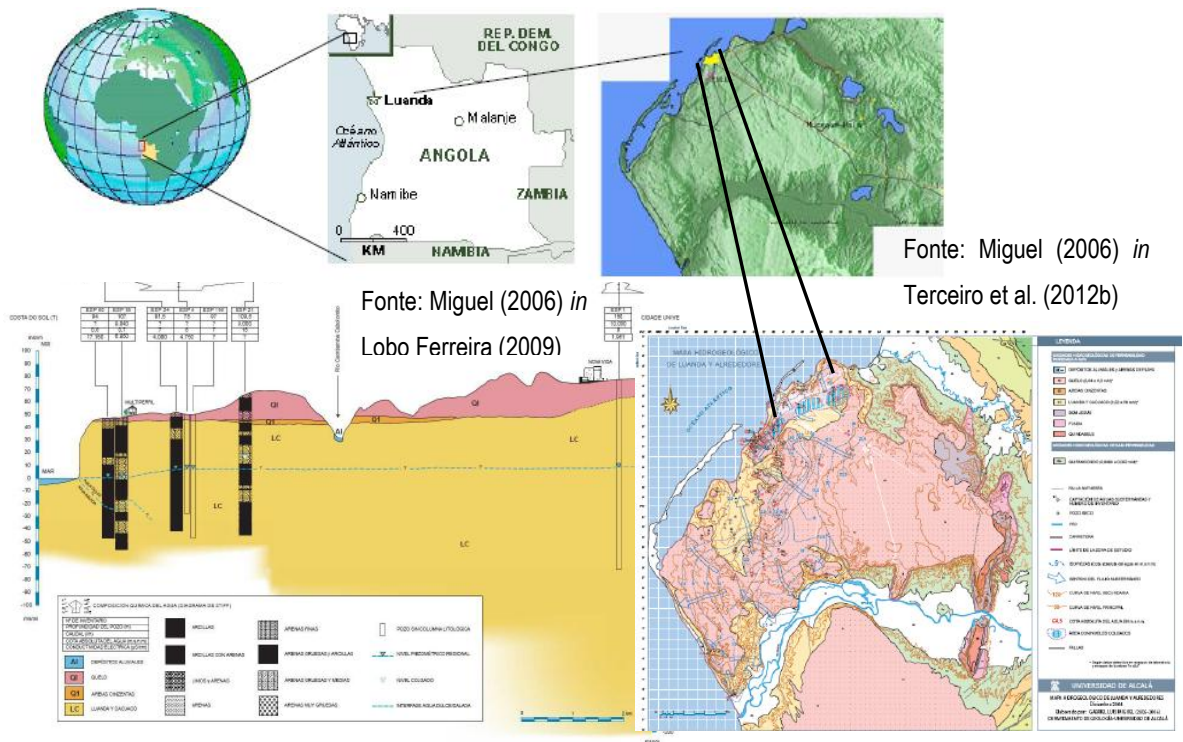
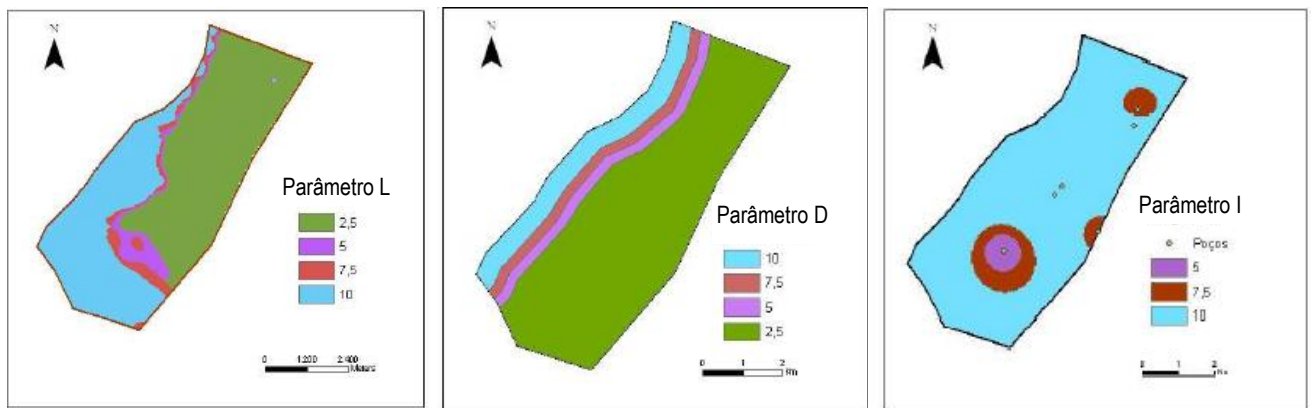


Figura 4-27 – Localização e geologia da região de Luanda



G = 7,5      A = 2,5      T = 10      Fonte: Lobo Ferreira (2009)

Figura 4-28 – Parâmetros GALDIT para o aquífero de Quelo-Luanda

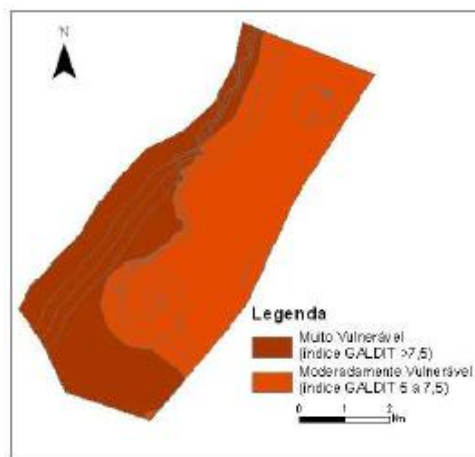


Figura 4-29 – Índice GALDIT para o aquífero de Quelo-Luanda



Sublinhe-se que o método GALDIT considera apenas as características intrínsecas do aquífero e a eventual existência atual da intrusão marinha, não considerando as questões derivadas da erosão costeira por efeito da subida do nível do mar, devido às alterações climáticas (embora localmente e por outros efeitos que se prendem com a geodinâmica e evolução dos processos sedimentares, possa ocorrer a expansão do litoral para o oceano, o que também deverá ser tomado em conta em estudos futuros). Os aspetos da vulnerabilidade de aquíferos costeiros à intrusão salina por efeito da subida do nível do mar devido às alterações climáticas e que se associam diretamente com a alteração e erosão da linha de costa, transgressão oceânica e consequente redução da área continental dos aquíferos exigem desenvolvimento em estudos posteriores, os quais terão de ser realizados em parceria com especialistas das questões do litoral.

Neste estudo foi ainda modelado o aquífero de Quelo-Luanda. Os resultados que se obtiveram definiram a extensão da intrusão salina nas condições atuais e apresentam-se na Figura 4-30. Pretende-se utilizar estes resultados para simular diferentes cenários de subida do nível médio do mar, e para diferentes meios aquíferos, de modo a redefinir e melhorar os futuros parâmetros da vulnerabilidade de aquíferos às alterações climáticas / componente subida do nível do mar, tomando por ponto de partida a metodologia GALDIT.

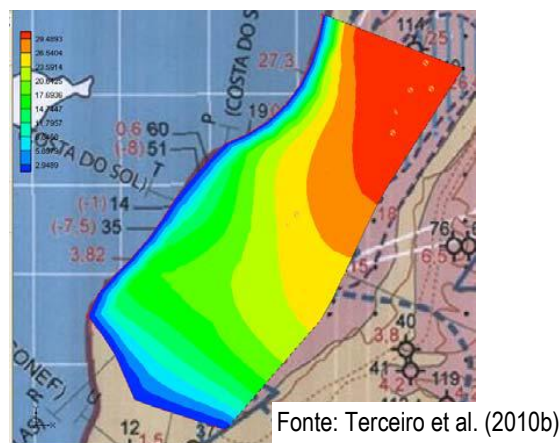
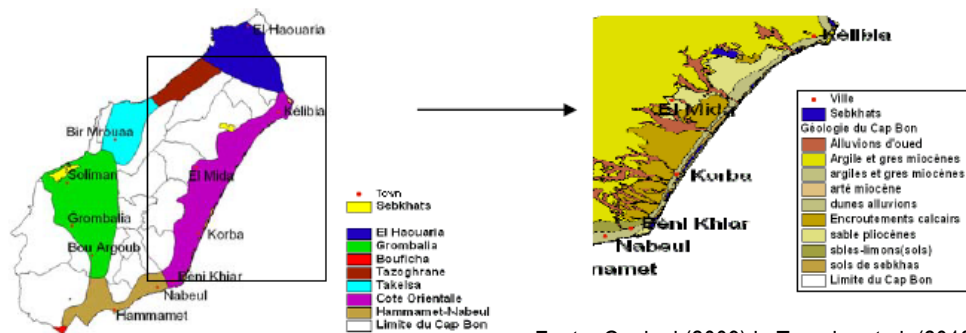


Figura 4-30 – Nível freático (simulação em regime estacionário) na zona da Costa do Sol/aquífero poroso de Quelo-Luanda – Angola

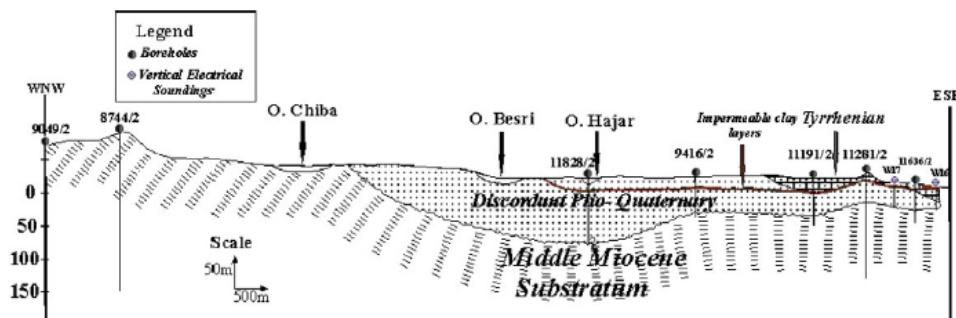
#### 4.4 Projecto Tunísia: Estudo da Intrusão Salina no Aquífero de Cap Bon

Neste estudo procedeu-se à análise da atual situação da intrusão salina com vista a, entre outros aspetos, definir futuramente a vulnerabilidade das zonas costeiras a este fenómeno, em cenários de subida do nível do mar, em particular de áreas que já atualmente são por ele afetadas. A área de estudo corresponde ao aquífero da Costa Oriental de Cap Bon (Tunísia; Figura 4-31). As formações do sistema aquífero de Cap Bon são de natureza calcária, margosa e carbonatada (Gaaloul, 2009 in Terceiro et al., 2010b). Este aquífero apresenta problemas atuais de intrusão salina e o objetivo futuro é o de simular diferentes cenários de subida do nível médio do mar, e para diferentes meios aquíferos, com recurso à modelação matemática, usando os resultados para posterior incorporação

na metodologia de vulnerabilidade dos aquíferos às alterações climáticas / componente subida do nível do mar, tomando por ponto de partida a metodologia GALDIT.



Fonte: Gaaloul (2009) in Terceiro et al. (2010b)



Fonte: Lecca et al. (1998) in Toacă (2012)

Figura 4-31 – Localização e geologia da região de Cap Bon

Os resultados que se obtiveram definiram a extensão da intrusão salina nas condições atuais e apresentam-se na Figura 4-32. A Figura 4-33 mostra a simulação matemática em regime transitório para a intrusão salina para os próximos 10 anos, mantendo as atuais condições de nível do mar. No sector de Korba do aquífero carbonatado/detrítico de Cap Bon, analisado por Toacă (2012), ocorrem três zonas de rebaixamento freático muito significativos (cotas inferiores a -7 metros; Figura 4-30), havendo intrusão marinha, apesar de, em ano médio, o balanço hidrológico indicar que seria possível a extração sustentável do aquífero às taxas de exploração atual; contudo, a densidade de furos é de tal forma concentrada no litoral que provoca um enorme rebaixamento de nível (Terceiro et al., 2010). A simulação a 10 anos mostra um avanço significativo da intrusão salina face às condições atuais (Figura 4-33).

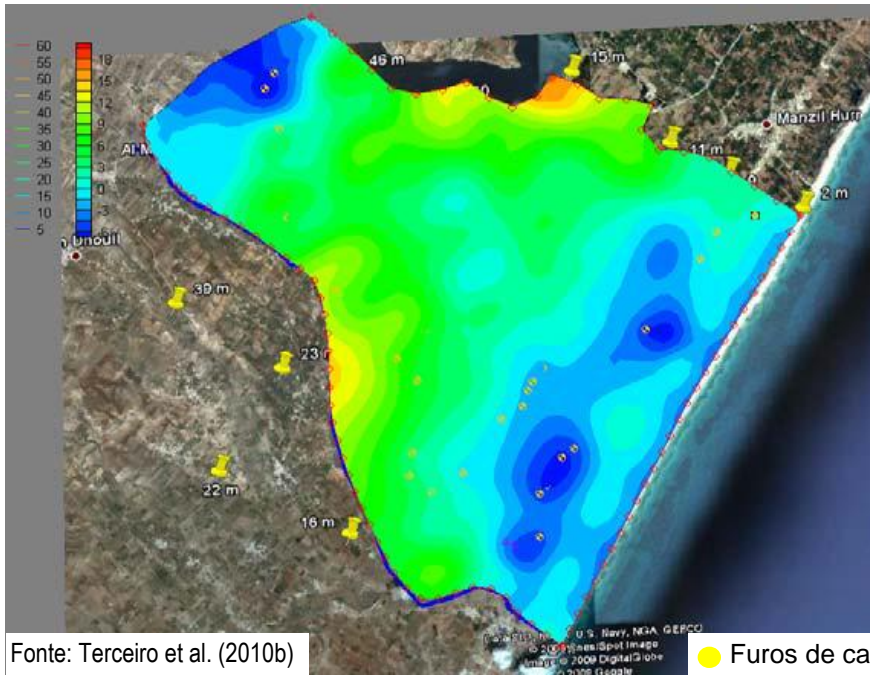


Figura 4-32 – Piezometria (modelo em regime estacionário) na secção de Korba do aquífero de Cap Bon

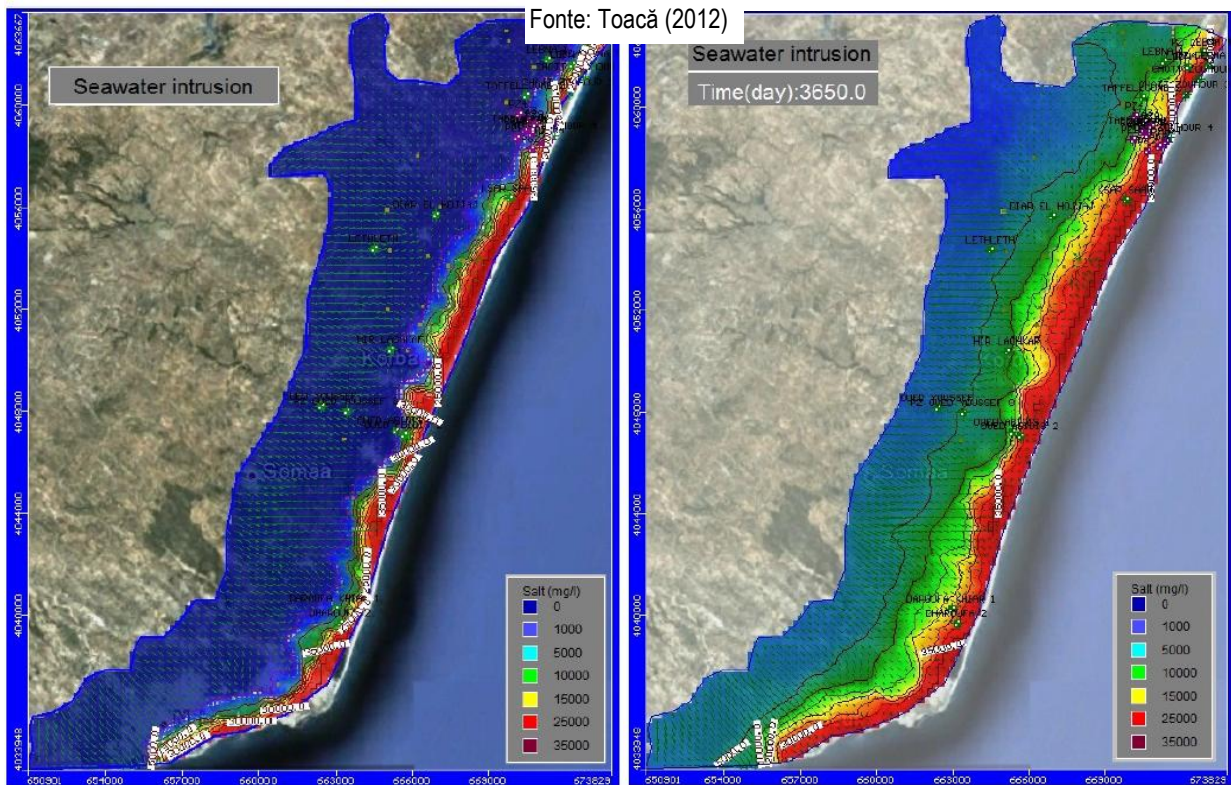


Figura 4-33 – Evolução da intrusão salina no aquífero detrítico e carbonatado de Cap Bon no espaço de 10 anos, a partir de 2008

## 4.5 Projecto GABARDINE: Análise da Modificação dos Regimes de Precipitação em Cenários de Alterações Climáticas

Para as zonas de Lagos e Picota foi realizada uma caracterização da precipitação, definindo-se o Regime de Precipitação Mais Espectável (**MERR**) e a Incerteza dos Regimes de Precipitação (**RRU**). Este estudo foi realizado por Kutiel et al. (2006) e Kutiel et al. (2009). A descrição do regime de precipitação anual considera a precipitação **Total** (Precipitação total acumulada para todos os eventos de precipitação de uma duração em dias específica), **Mediana de TOTAL** (para Lagos = 544,4 mm), **SAR** (Precipitação acumulada diária para cada dia do calendário juliano; Figura 4-34) e **SAP** (Percentagem acumulada diária para cada dia do calendário juliano; Figura 4-34).

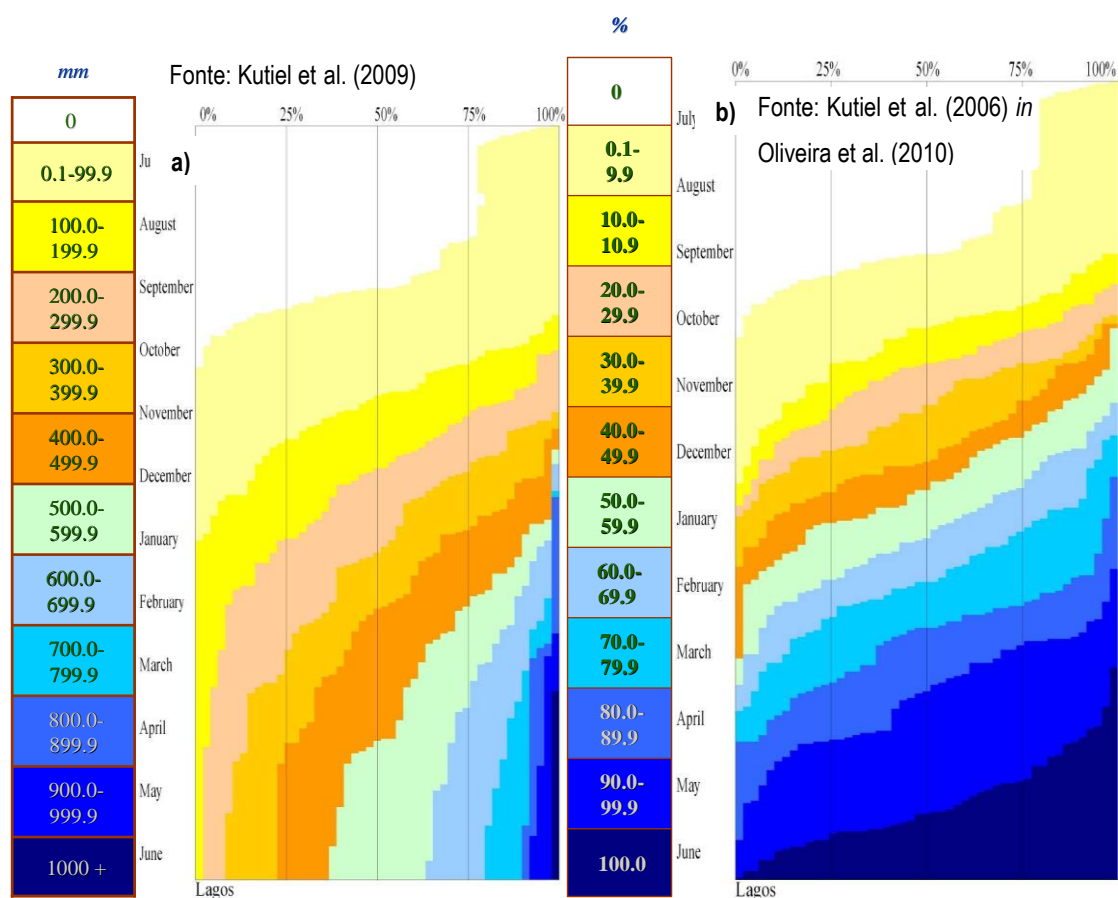


Figura 4-34 – SAR e SAP para a estação de Lagos

Kutiel et al. (2009) analisaram ainda a **distribuição temporal da precipitação** usando os parâmetros *Extensão da Época de Precipitação (RSL)* e *Mediana da Data de Percentagem Acumulada (DAP)*. A RSL (em dias) é o intervalo de tempo desde a data em que se atinge 10% da precipitação total anual e 90% desta mesma precipitação acumulada e a DAP (em dias desde 1 de Julho) é referenciada à precipitação anual. Os mesmos autores realizaram também a análise da **distribuição dos eventos de precipitação**, através dos parâmetros: *Número de Eventos de Precipitação de Duração Específica (NRS)*, *Contribuição Relativa dos Eventos de Precipitação de Duração Específica (RC)*, *Volume de*

*Precipitação por Evento de Precipitação (RSY)*; o RSY corresponde à precipitação média acumulada de todos os eventos de precipitação de uma duração específica. Para Lagos, os resultados são apresentados nas Figura 4-35, Figura 4-36 e Figura 4-37, tendo estes autores concluído que nesta estação as Contribuições Relativas (NRS) dos eventos de dois dias de duração, ou mesmo de 3 dias de duração, eram superiores às dos eventos de 1 dia de duração.

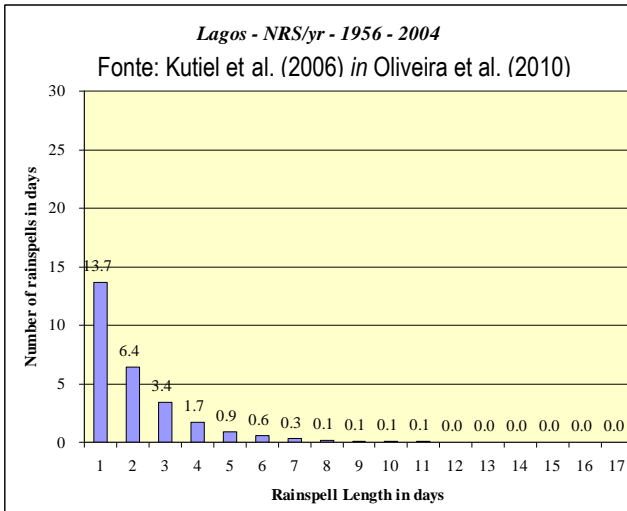


Figura 4-35 – Valores de NRS para Lagos

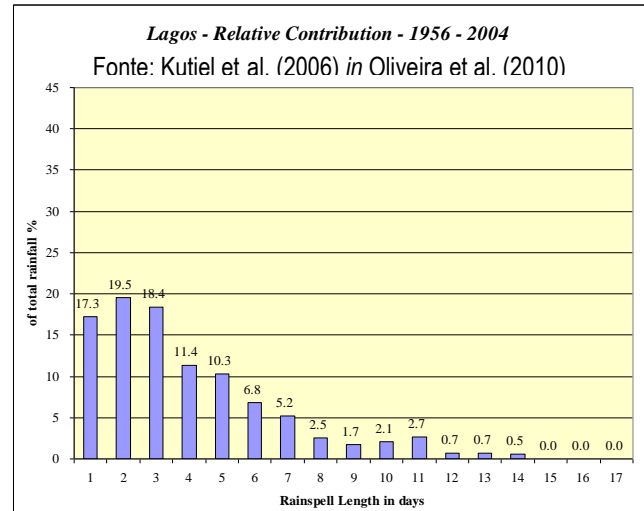


Figura 4-36 – Valores de RC para Lagos

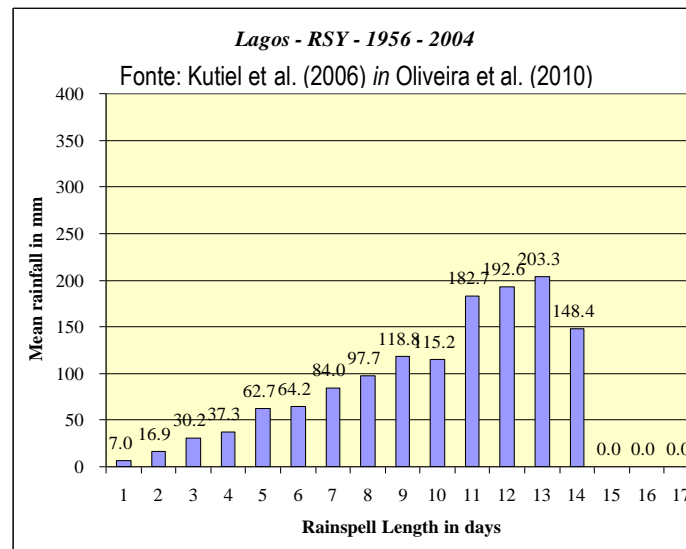


Figura 4-37 – Valores de RSY para Lagos

Ao analisarem os períodos de seca e a **distribuição dos períodos de seca (DSD;** Figura 4-38), isto é, o tempo que decorreu desde o último evento de precipitação, para um determinado limiar de precipitação, e diferentes probabilidades, Kutiel et al. (2009) verificaram que, para Lagos, o evento de seca mais longo tinha 179 dias, sendo o valor mediano de 90 dias. A distribuição dos eventos de seca é apresentada na Figura 38. As alterações à extensão da época de precipitação (RSL) para o período de 1959 a 2004, para Lagos, são apresentadas na Figura 4-39.

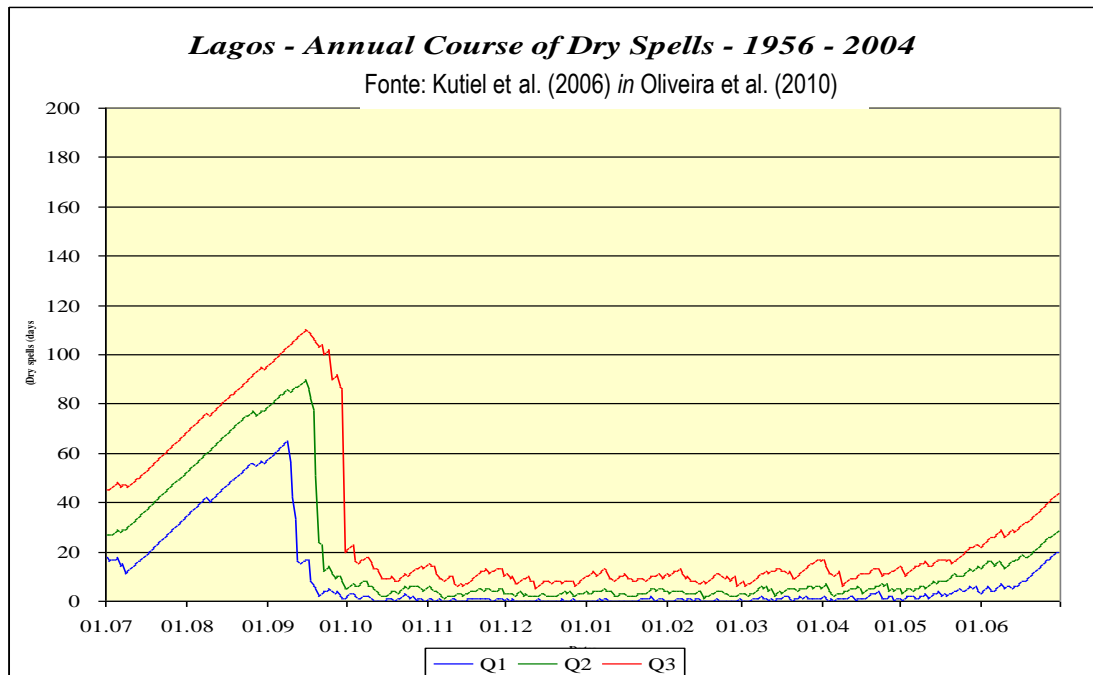


Figura 4-38 – Distribuição dos Períodos de Sequia para Lagos

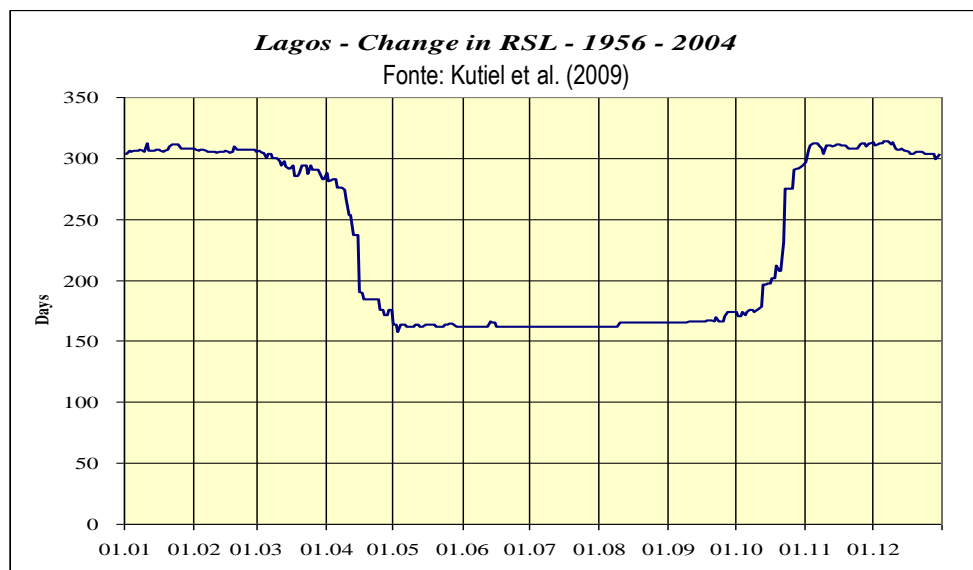


Figura 4-39 – Alterações à Extensão da Época de Precipitação em Lagos

Kutiel et al. (2009) definiram e analisaram os **Regimes de Precipitação mais Expectáveis (MERR)** e as **Incertezas dos Regimes de Precipitação (RRU)**, tendo estes autores encontrado tendências significativas nas séries temporais que, na região de Lagos, se traduzem por um decréscimo linear do **Número de Eventos de Precipitação de Duração Específica (NRS)** desde 1956 (Figura 4-40) para um limiar de precipitação de 1,0 mm.

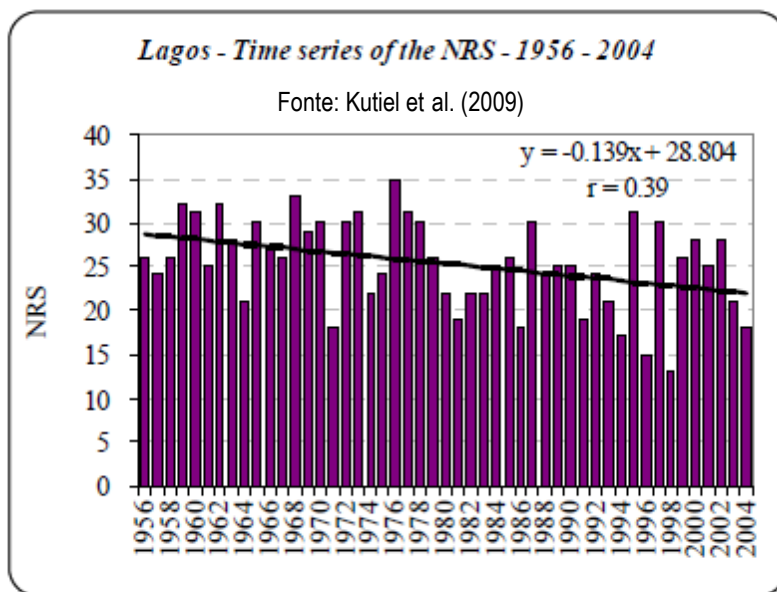


Figura 4-40 – Tendência de Evolução Temporal do Número de Eventos de Precipitação para Lagos

A **Análise de Clusters** (Figura 4-41) para os parâmetros RSL, DAP e TOTAL foi realizada por Kutiel et al. (2009), de modo a identificar e as ocorrências anuais de acumulações de precipitação, considerando a quantidade, altura de ocorrência e extensão de cada *cluster*. Verificou-se que o Cluster 1 (azul = mediana de todos os parâmetros) tem a maior probabilidade de ocorrência de 1 vez a cada 2 anos; o Cluster 2 (vermelho = mediana do parâmetro TOTAL, mediana da extensão da época de precipitação e DAP precoce) tem probabilidade de ocorrência de 1 vez em cada 5 anos; o Cluster 3 (verde = mediana de TOTAL, RSL médio e DAP tardia) tem probabilidade de ocorrência de 1 vez em cada 10 anos; o Cluster 4 (laranja = TOTAL de ano seco, RSL e DAP tardia) tem probabilidade de ocorrência de 1 vez em cada 12 anos; uma vez em cada 8 anos, o regime de precipitação não corresponde a nenhum destes clusters. A análise da incerteza destes parâmetros e clusters, realizada por estes autores, tem a distribuição apresentada na Figura 4-42.

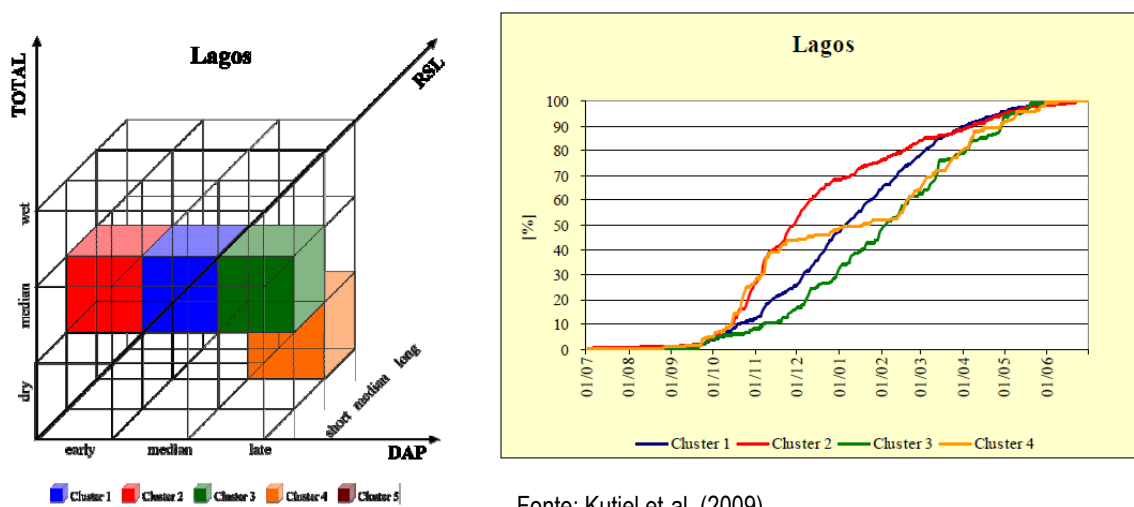
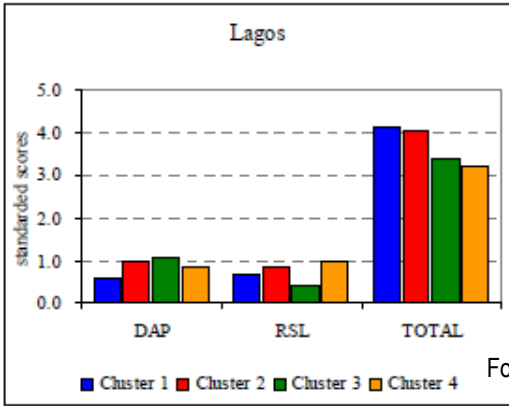


Figura 4-41 – Análise de Clusters para Lagos



Fonte: Kutiel et al. (2009)

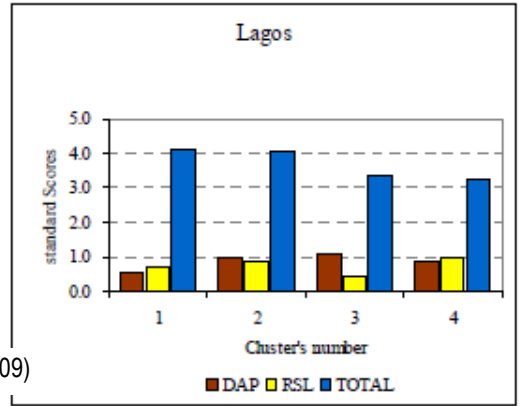


Figura 4-42 – Incertezas dos Parâmetros dos Regimes de Precipitação e Clusters para Lagos



## 5 | Conclusões e Bases para o Futuro

Com o presente estudo procurou-se realizar a expansão da **metodologia de vulnerabilidade de aquíferos insulares às alterações climáticas** (Novo e Lobo Ferreira, 2008) para os aquíferos continentais e costeiros, nos vários meios aquíferos existentes: porosos, fraturados e cársicos. O trabalho desenvolvido permitiu alargar a aplicação do Índice de Vulnerabilidade à Subida do Nível do Mar com recurso ao índice GALDIT para aquíferos litorais continentais mas revelou a necessidade de estudos futuros que integrem a componente de alteração da linha de costa no controlo da interface água doce/água salgada. Realizaram-se avanços no desenvolvimento do Índice Antrópico desta metodologia na questão do parâmetro stress hídrico (relacionado com os volumes de consumos) mas os aspetos relativos à qualidade necessitam ainda de desenvolvimento. Os aspetos de variação da recarga que se prendem com as questões do coberto vegetal e, em última análise, com as condições climáticas e pedológicas locais, não puderam ainda ser suficientemente desenvolvidos. Contudo, progrediu-se no sentido de criar uma Metodologia de Vulnerabilidade às Alterações Climáticas dos Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas, tendo-se em simultâneo criado metodologias, ainda que nalguns casos a necessitar de investigação posterior, para avaliação da alteração dos consumos e cargas poluentes em cenários de alterações climáticas.

Com efeito, durante este Programa de Investigação Programada desenvolveu-se uma metodologia de avaliação do impacto das alterações climáticas nos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS), baseada na modelação matemática, em que um dos dados de entrada são os resultados da recarga calculada através da aplicação do modelo BALSEQ\_MOD a séries de precipitação modificadas em função das condições previstas pelos cenários climáticos. Esta modelação considera, assim, as características intrínsecas do aquífero e as novas condições hidrológicas, analisando as interações que se estabelecem entre o meio hídrico superficial e subterrâneo. Esta metodologia pode, assim, tornar-se na base para um **método de avaliação da vulnerabilidade dos EDAS às alterações climáticas**. Este aspeto reveste-se de particular importância dado estes ecossistemas não só serem habitat de uma grande diversidade biológica, e por isso serem objeto de diversos estatutos de proteção na União Europeia, como por serem, com muita frequência, ecossistemas sensíveis, de reduzida área de implantação e sujeitos a diversas pressões antrópicas. Destacam-se entre estes ecossistemas os Charcos Temporários Mediterrânicos, muitos deles EDAS, que por todos os condicionalismos antrópicos, climáticos, etc., são especialmente vulneráveis, razão que, acrescida da sua singularidade e riqueza ecológica, os faz estarem inscritos no Anexo I da Directiva Habitats (CEE, 1992) como habitats prioritários em termos de conservação (habitat 3170), exigindo em conformidade que sejam classificados como Zonas Especiais de Conservação (cf. <http://www.charcoscomvida.org/charcos/o-que-e-um-charco>). Esta metodologia deverá ainda ser melhorada na continuação dos estudos, nomeadamente incorporando os elementos de funcionamento do meio hídrico superficial, com especial destaque para a interface com os meios subterrâneos (ex.: definição mais precisa da condutância de leitos de rio e lagoas e

volumes de águas infiltradas ou descarregadas nesses meios). Deverão, igualmente, ser definidos de forma mais precisa os regimes de variação dos níveis piezométricos e as condições que influenciam estas variações, e o modo como tais variações se traduzem pela alteração no volume de água que é cedido/recebido pelo meio subterrâneo para o superficial, bem como a forma como isto condiciona o funcionamento dos charcos temporários, lagoas, etc.

Foram desenvolvidas as primeiras abordagens com vista à criação de uma **metodologia de previsão dos consumos** e consequentes **impactos quantitativos sobre os recursos hídricos** em cenários de alterações climáticas, englobando cenários sócio-económicos. É necessário contudo bastante trabalho nesta matéria, nomeadamente no que se refere ao conhecimento da alteração dos consumos em água para as diferentes espécies agrícolas (ex.: espécies C4 versus C3), quais as novas culturas/variedades agrícolas que poderão vir a substituir as culturas atuais e suas necessidades hídricas, que projeções de alteração das áreas agrícolas por tipo de cultura para a realidade ibérica e para as projeções climáticas apontadas para este território, as possíveis alterações dos calendários agrícolas e técnicas de cultivo como forma de adaptação às alterações climáticas e respetivos impactos nos consumos de água e mesmo na alteração dos solos e suas características de permeabilidade, assim como o impacto destas mudanças sobre o escoamento superficial e erosão dos solos. Este conjunto de aspetos, muito importante para definir não apenas a alteração dos consumos agrícolas e das consequentes pressões quantitativas sobre o recurso hídrico, relaciona-se ainda com outras questões importantes como a recarga de aquíferos e a erosão. Para o desenvolvimento do conhecimento nesta matéria é necessária a criação de parcerias com especialistas em agronomia, erosão, sócio-economia e outros. É necessário também realizar estudos similares no que se refere aos consumos de água pelos seres humanos para as condições de alteração climática previstas pelos diversos modelos. Este tipo de estudos exige parcerias com especialistas de saúde humana e sociologia, entre outros. É necessário realizar o mesmo tipo de estudo no que se refere aos consumos animais para diferentes tipos de gado e de estabulamento para as condições do território português e para os diferentes cenários climáticos, assim como estudos que definam que espécies e/ou raças de gado terão melhores capacidades adaptativas nas novas condições climáticas, que espécies poderão ser substituídas e por quais, e suas necessidades hídricas para os diferentes tipos de estabulamento. Estes estudos requerem parcerias com especialistas em pecuária e saúde animal.

Foram desenvolvidas as primeiras abordagens com vista à criação de uma **metodologia de avaliação dos impactos das alterações climáticas na qualidade dos recursos hídricos**. É necessário ainda bastante trabalho nesta temática devido aos diversos aspetos que estão interrelacionados e mal conhecidos na realidade mediterrânica. Assim, a alteração dos regimes hidrológicos espetável para a zona mediterrânica indicia uma redução dos períodos húmidos e um aumento da intensidade das cheias. O aumento da intensidade das cheias assim como da concentração de precipitação em eventos mais concentrados induzirá um aumento da erosão e do

arraste de solos e de poluentes (ex.: nutrientes e pesticidas) para o meio hídrico<sup>2</sup>. Ao mesmo tempo, períodos mais prolongados e frequentes de secas podem induzir condições, ao nível dos solos para a formação de incrustações, em especial em áreas de regadio com águas de pior qualidade, podendo levar a um aumento da salinização e alterando as condições de permeabilidade dos solos; isto terá efeitos em termos de recarga de aquíferos e da qualidade das águas que os recarregam por um lado e em termos de vulnerabilidade dos solos à erosão por outro. Um outro aspeto que será modificado pela ocorrência de maiores períodos de sequia é a diminuição do volume das zonas húmidas, que são muitas vezes recetores das cargas poluentes das massas de água de montante, e que por esta razão verão a sua resiliência face às cargas poluentes ser alterada, como sugerem os resultados atrás apresentados relativamente à lagoa de Melides. Um último aspeto relacionado com a recarga associa-se à agricultura: por um lado a introdução provável de novas culturas e novas técnicas de cultivo irá alterar as atuais cargas poluentes introduzidas no solo e mobilizáveis tanto para a recarga como para o escoamento superficial; por outro lado a espetável aparição de novas pragas alterará o espectro poluente fitossanitário associado às diferentes culturas colocando diferentes problemas de qualidade. Para uma análise e compreensão coerente destes variados aspetos, que condicionarão a qualidade dos recursos hídricos nas suas componentes superficiais e subterrâneas, serão necessárias parcerias com especialistas em agronomia e processos pedológicos.

Além dos aspetos atrás citados é necessário ainda compreender como o coberto vegetal natural se modificará sob cenários de alterações climáticas. A alteração do coberto vegetal modificará o volume de evapotranspiração, assim como os balanços de água no solos e em consequência a água que poderá ser cedida para a rede hidrográfica por escoamento sub-superficial ou que pode ser cedida para a recarga dos aquíferos, a mobilização de compostos dissolvidos ao longo de diferentes horizontes do solo em função da profundidade e funcionamento radicular. A alteração da vegetação condiciona ainda a vulnerabilidade dos terrenos à erosão e consequentemente impacta a qualidade dos meios hídricos superficiais; por seu lado a erosão e a posterior sedimentação destes materiais no fundo dos cursos de água (ou nas planícies de inundação durante as épocas de cheia) irá alterar a capacidade de infiltração dos solos que recebem estes sedimentos e as condições de permeabilidade dos sedimentos do leito dos cursos de água, modificando as eventuais ligações hidráulicas entre o meio hídrico superficial e subterrâneo que se estabeleçam nesses sectores. Aspetos similares podem ocorrer em consequência das alterações das áreas agrícolas, tipos de espécies cultivadas e técnicas de cultivo. Estes aspetos são ainda muito mal conhecidos, pelo menos na área da bacia mediterrânica, e em especial na Península Ibérica mas condicionam a vulnerabilidade do meio hídrico subterrâneo – e também dos EDAS – às alterações climáticas. Para um estudo conveniente destes aspetos é necessário parcerias com especialistas em agronomia, processos pedológicos, paleoambientes e paleoclimas entre outros.

---

2 Também induzirá alterações nos volumes de água disponíveis para a recarga, como se pôde verificar nos resultados atrás apresentados para as áreas de estudo de Monforte-Alter do Chão, Torres Vedras, Melides e Querença-Silves.

Relativamente à avaliação da vulnerabilidade de aquíferos – e também de EDAS – costeiros e embora a metodologia GALDIT já tenha sido aplicada para uma avaliação desta vulnerabilidade dos aquíferos é necessário ainda estudar aspetos relacionados com o recuo da linha de costa e seus impactos na evolução da intrusão salina para diferentes tipos de aquíferos, assim como a avaliação, para diferentes aquíferos e condicionantes hidrogeológicas do efeito da simples variação local do nível do mar sobre esta mesma intrusão salina. Relativamente às questões relacionadas com as condicionantes hidrogeológicas foi já realizada uma primeira fase de modelação matemática num aquífero costeiro da Tunísia. É necessário agora estender as tarefas de modelação matemática a outras situações hidrogeológicas e analisar em detalhe os resultados das modelações já realizadas. Por outro lado a análise dos efeitos da subida do nível do mar e alteração dos processos erosivos litorais em função desta subida com a sua dupla contribuição para a intrusão salina – alteração da geometria da interface água doce/salgada e recuo do litoral levando à ocupação de antigas zonas emersas pelo oceano – necessita ainda de estudo e para tal serão necessárias parcerias com especialistas em processos morfodinâmicos do litoral. Outros aspetos, estes já relacionados com o funcionamento de EDAS costeiros (ex.: lagoa de Melides) prendem-se com a importância da alteração ao seu funcionamento ecológico pela subida do nível do mar e eventual domínio progressivo da influência marinha nestes ecossistemas podendo mesmo transformá-los em ambientes claramente marinhos (ex.: por transgressão marinha). Ao mesmo tempo o avanço expectável da intrusão marinha poderá alterar as relações que se tenham estabelecido entre estes ecossistemas e as águas subterrâneas de que dependem, parcial ou integralmente.

A análise da estrutura das séries de precipitação, usando as metodologias que foram apresentadas e desenvolvidas pela Universidade de Haifa no GABARDINE, é de grande importância para uma avaliação fundamentada das previsões de alteração das várias componentes hídricas. Exige no entanto especialistas neste tipo de análise de dados meteorológicos.

Do trabalho realizado durante este Programa de Investigação Programada revelou-se a necessidade de uma remodelação pormenorizada da atual Metodologia de Vulnerabilidade dos Aquíferos Insulares às Alterações Climáticas, de modo a poder ser adequadamente transposta para aplicação a qualquer aquífero continental. É especialmente necessário compreender, e integrar nessa metodologia, de que modo os processos de evolução do litoral associados às alterações locais do nível do mar afetam a suscetibilidade à intrusão marinha, devendo o novo Índice consistir num alargamento do índice GALDIT de modo a englobar estes processos. Atualmente o índice GALDIT considera apenas a alteração do nível de água do mar como “vetor” da evolução da intrusão salina, não considerando por exemplo aspetos como erosão e conseqüente recuo da linha de costa ou o processo de transgressão marinha. Outro aspeto de grande importância é o das relações que se estabelecem entre o meio hídrico superficial e subterrâneo e como estas relações poderão ser afetadas em condições de alteração climática, condicionando os volumes de água que possam circular entre os dois meios (ex.: recarga de aquíferos a partir de massas de água superficiais ou descargas de aquíferos para zonas húmidas e cursos de água) ou mesmo o transporte de poluentes (cf. projeções de variação da transferência de poluentes em cenários climáticos na zona de Melides in Novo et al., 2013c); ambos os aspetos necessitam de investigação posterior. Entre os parâmetros desta metodologia

relacionados com a qualidade será necessária uma reformulação que leve à inclusão dos aspetos relacionados com a vulnerabilidade face ao transporte de poluentes pelos eventos de cheia (cf. Civita e de Maio, 1998) ou aos processos de mobilização de sais na zona não saturada durante os eventos prolongados de seca.

Em conclusão considera-se necessário prosseguir a investigação nas questões da alteração do coberto vegetal natural e culturas agrícolas e consequentes impactos nos consumos de água, regulação dos processos de transferência de água no solo para os aquíferos, escoamento superficial e recarga; estes processos, assim como a alteração do coberto vegetal, prendem-se também com um outro importante aspeto que é o da erosão (que pode nalguns casos estender-se até ao litoral). É também necessário prosseguir a investigação nas questões de evolução da interface água doce/água salgada e de que modo esta pode ser afetada pelos processos do litoral, desencadeados ou agravados pela subida do nível do mar. É também necessário compreender de que forma as alterações climáticas poderão afetar as necessidades hídricas – e em consequência os consumos e as pressões sobre o meio hídrico – de animais, pessoas e plantas, e, em especial, de que forma as alterações do coberto vegetal afetam os volumes de água disponíveis para consumo. Considera-se pertinente a possibilidade de realizar estudos experimentais para definir quais os parâmetros físicos do meio hídrico subterrâneo que mais condicionam a resposta dos solos e dos aquíferos às alterações climáticas, tanto na sua vertente quantitativa (escoamento superficial, recarga) como qualitativa.

Do desenvolvimento dos trabalhos neste Plano de Investigação Programada emergiu o campo de investigação da vulnerabilidade dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS) às alterações climáticas, assunto com carácter de urgência dado que estes ecossistemas são por via de regra de reduzida dimensão e muito vulneráveis, em particular na área mediterrânica que é a que sofrerá o maior número de impactos, e mais graves, das alterações climáticas (cf. EEA, 2013).

É ainda uma área importante de interesse o estudo do impacto das alterações climáticas nos ciclos de fogos e consequentes alterações no coberto vegetal e ciclo hidrológico, em especial nos países mediterrânicos, dado serem os mais afetados por este problema, e que se prende não apenas com a quantidade e qualidade dos recursos hídricos mas também com outros problemas como a erosão de solos e o aumento da vulnerabilidade a *flash floods*. Em cenários de alterações climáticas, prespetiva-se, para a região mediterrânica, um aumento da frequência e intensidade dos fogos. Os fogos alteram o coberto vegetal e a sua capacidade de travar a erosão, por um lado, e por outro alteram a estrutura do solo afetando a permeabilidade deste, pelo que a recarga de aquíferos sofre dois impactos: o devido à remoção do coberto vegetal e consequente alteração no escoamento superficial e evapotranspiração e o devido à redução da permeabilidade dos solos, que irá afetar o volume de água infiltrado. Ao mesmo tempo a remoção das camadas superiores dos solos nos eventos seguintes de precipitação, além de potenciar cheias súbitas (*flash floods*) irá reduzir a camada de percolação das águas, reduzindo o filtro natural aos poluentes que, deste modo, e até beneficiando de certas alterações na estrutura do solo, poderão mais facilmente atingir os aquíferos e, deste modo, agravar a qualidade das águas (cf. Lobo Ferreira et al., 2009; Laranjeira e Leitão, 2008).

## 6 | Publicações Realizadas

### 6.1 Planos de Bacia Hidrográfica

1. Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M. M., Martins, T.A., Novo, M.E., Oliveira, L.S., Leitão, T. E., Henriques, M.J. (2012). *Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos. Modelação do Sistema Aquífero de Torres Vedras e Análise dos Impactos das Alterações Climáticas nos Ecossistemas Dependentes das Águas Subterrâneas (EDAS)*. Relatório 289/2012-DHA/NAS. LNEC, Lisboa, Maio de 2012, pp. 113.
2. Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M., Martins, T.A., Novo, M.E., Oliveira, L.S., Leitão, T. E., Henriques, M.J. (2012). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos. Modelação do Sistema Aquífero de Monforte – Alter do Chão e Análise dos Impactos das Alterações Climáticas nos Ecossistemas Dependentes das Águas Subterrâneas (EDAS)*. Relatório 288/2012-DHA/NAS. LNEC, Lisboa, Maio de 2012, pp. 116.
3. Lobo Ferreira, J.P., Leitão, T.A., Oliveira, M.M. (2012). *A Água Subterrânea nos Actuais Planos Hidrológicos de Bacia: Metodologias Inovadoras, Diagnóstico, Objetivos e Medidas dos Planos de Gestão de Regiões Hidrográficas Portuguesas, com Especial realce para o PGRH Tejo e o PBH Oeste*. Comunicação apresentada ao 11º Congresso da Água “Valorizar a Água num Contexto de Incerteza”, Porto, 6 a 8 Fevereiro de 2012, pp. 5.
4. Novo, M.E., Oliveira M.M., J.P. (2012). *Modificações das Taxas de Exploração em cenários de Alterações Climáticas: Sistema Aquífero de Torres Vedras*, pp. 10 (in **press/revisão**).
5. Oliveira, M.M., Novo, M.E., Oliveira, L.G., Ferreira, J.P. (2012). *Estudo do Impacto das Alterações Climáticas na Recarga do Sistema Aquífero de Torres Vedras*. Comunicação apresentada ao 11º Congresso da Água “Valorizar a Água num Contexto de Incerteza”, Porto, 6 a 8 Fevereiro de 2012, pp. 15.

### 6.2 Projecto PROWATERMAN

1. Oliveira, L.G., Novo, M.E., Terceiro, P., Lobo-Ferreira, J.P. (2010). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana – PROWATERMAN. Segundo relatório temático – Recarga artificial de aquíferos e vulnerabilidade das águas subterrâneas às alterações climáticas*. Relatório 288/2010-NAS, 100 pp.
2. Novo, M.E., Oliveira, L. (2012). *Análise e Fundamentação de Propostas de Linhas-Guia de Atuação*. Workshop PROWATERMAN “Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana: Uma Abordagem Integrada e Participativa na Definição de Estratégias Inovadoras e Prospetivas de Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sul de Portugal”, organizado pelo LNEC e com participação da Universidade Atlântica, Universidade do Algarve, Universidade de Évora e Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Évora e Faro, 29 e 30 Novembro de 2012.

3. Novo, M.E., Oliveira, L. (2012). *Desenvolvimentos para a Fundamentação e Proposta de Medidas – Algarve*. Workshop PROWATERMAN “Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana: Uma Abordagem Integrada e Participativa na Definição de Estratégias Inovadoras e Prospetivas de Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sul de Portugal”, organizado pelo LNEC e com participação da Universidade Atlântica, Universidade do Algarve, Universidade de Évora e Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Évora e Faro, 29 e 30 Novembro de 2012.
4. Oliveira, L.G., Martins, T.A., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M. M., Novo, M.E. Leitão, T.L. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana – Projeto PROWATERMAN. Quarto Relatório Temático – Contributos para o Desenvolvimento de Medidas para uma Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no Sul de Portugal*. Relatório 153/2012-DHA/NAS, 44 pp.
5. Oliveira, M.M., Novo, M.E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2012). *Balanço Hídrico das Bacias Hidrográficas de Melides (Alentejo) e do Arade (Algarve) em Cenários Atuais e Futuros de Alterações Climáticas*. Workshop PROWATERMAN “Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana: Uma Abordagem Integrada e Participativa na Definição de Estratégias Inovadoras e Prospetivas de Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sul de Portugal”, organizado pelo LNEC e com participação da Universidade Atlântica, Universidade do Algarve, Universidade de Évora e Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Évora e Faro, 29 e 30 Novembro de 2012.
6. Novo, M.E., Oliveira, L.S., Henriques, M.J. (2013). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana – PROWATERMAN. Estratégias e Medidas de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia de Melides em Cenários Sócio-Económicos e de Alterações Climáticas*. LNEC, Lisboa, Relatório 128/2013-DHA/NAS, 278 pp.
7. Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L., Martins. T. (2013). *Impacto das Alterações Climáticas em Ecossistemas Costeiros Dependentes de Águas Subterrâneas. Caso de Estudo: Melides*. Artigo apresentado à 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 a 8 Novembro 2013, Aveiro, Universidade de Aveiro, 15 pp.
8. Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L. (2013). *Utilização de Cenários de Mudança para a Previsão da Evolução das Pressões e do Estado das Massas de Água Subterrânea e EDAS. Caso de Estudo: Melides. Parte II. Cenários de Alterações Climáticas*. Artigo apresentado à 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 a 8 Novembro 2013, Aveiro, Universidade de Aveiro, pp. 19.
9. Novo, M.E., Oliveira, L.S. (2013). *Desenvolvimento de Matrizes de Decisão para Apoio à Selecção de Medidas de Recuperação do Estado das Massas de Água*. Artigo apresentado ao VIII Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento, pp. 10
10. Novo, M.E., Oliveira, L.S., Henriques, M.J. (2013). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana – PROWATERMAN. Relatório Temático – Medidas de mitigação e priorização da atuação*. LNEC, Lisboa, Relatório 79/2013-NAS, 70 pp.

11. Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L. (2013). *Impacto das Alterações Climáticas no Aquífero Querença-Silves e Bacia de Odelouca*. Artigo aceite para apresentação oral ao XII Congresso da Água, Lisboa, 12 pp.
12. Novo M.E., Oliveira, L.G. (2013). *Análise do Risco de Seca no Aquífero Querença-Silves*. Artigo aceite para apresentação oral ao XII Congresso da Água, Lisboa, 15 pp.
13. Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L. (2013). *Utilização de Cenários de Mudança para a Previsão da Evolução das Pressões e do Estado das Massas de Água Subterrânea e EDAS Caso de Estudo: Melides*. Cenários de Alterações Climáticas. Artigo aceite para apresentação oral ao XII Congresso da Água, Lisboa, 13 pp.
14. Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L., Martins, T. (2013). *Impacto das Alterações Climáticas em Ecossistemas Costeiros Dependentes de Águas Subterrâneas. Caso de Estudo: Melides*. Artigo aceite para apresentação oral ao XII Congresso da Água, Lisboa, 13 pp.

### 6.3 Projecto CIAS

1. Filho J.L.A., Lobo Ferreira, J.P., Caldo, M.K., Montenegro, S.M., Carvalho, A.M., Baldé, I., Adão, A. (2010). *Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS): Brasil, Portugal, Angola e Guiné-Bissau*. Poster apresentado ao XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas / XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 31 de Agosto a 03 de Setembro de 2010, São Luís, Maranhão, Brasil.
2. Terceiro, P., Lobo-Ferreira, J.P. (2010). *Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS)*. Relatório Científico da Componente LNEC do Ano 2010. Relatório 286/2010-NAS, 23 pp.
3. Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, L., Terceiro, P., Baldé, I. (2011). *Avaliação da Vulnerabilidade à Intrusão Marinha da Zona de Influência de Maré da Guiné Bissau*. 8.º Seminário sobre Águas Subterrâneas organizado pela APRH, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 10 a 11 de Março de 2011, 4 pp.
4. do Ó, A., Lobo Ferreira J.P., Leitão, T.E., Moral, L. (2011). *Variabilidade Climática e Resposta às Secas no Sudoeste Ibérico – A Bacia Internacional do Guadiana*. In C. Oliveira Galvão (ed.): Recursos Hídricos para a Convivência com o Semiárido: Avanços e Desafios (2011), 30 pp.

### 6.4 Projecto GABARDINE

1. Kutiel, H., Paz, S., Reiser, H., Aviad, Y. (2009). *Deliverable D22: Time Series Generator – Operational Manual*. Laboratory of Climatology, Department of Geography & Environmental Studies, University of Haifa.
2. Kutiel, H., Paz, S., Reiser, H. (2009). *Deliverable D225: WP 2 – Final Report: Activities during the period November 2007-April 2009*. Laboratory of Climatology, Department of Geography & Environmental Studies, University of Haifa.



## 6.5 Projecto Tunísia

1. Terceiro, A., Oliveira, L.G.S., Lobo Ferreira, J.P., Miguel, G., Gaaloul, N., Rocha, E. (2010). *Modelação matemática em aquíferos costeiros. Aplicação a dois casos de estudo em países africanos: Angola e Tunísia*. 10.º Congresso da Água, Hotel Pestana Alvor Praia, Algarve, 15 pp.
2. Toacă, D. (2012). *Saltwater Intrusion Modelling: Research of Surface-water / Ground-water Flow and Salinity in Korba Aquifer, Tunisia*. Post-Doctoral Research Project, Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Faculty of Hydrotechnical Engineering, Geodesy and Environmental Engineering, Department of Hydroamelioration and Environment Protection / Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 40 pp.

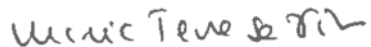
## 6.6 Temática Geral

1. Leitão, T.E., Lobo Ferreira, J.P. (2009). *Alterações Climáticas e a Qualidade das Águas Subterrâneas*. 7.º Seminário sobre Águas Subterrâneas. 5 a 6 de Março de 2009, Lisboa, Resumo de 1 pp.
2. Novo, M.E., Lobo Ferreira, J.P. (2009). *Alterações Climáticas e Águas Subterrâneas*. 7.º Seminário sobre Águas Subterrâneas. 5 a 6 de Março de 2009, Lisboa, Resumo de 1 pp.
3. Novo, M.E. (2009). *Alterações Climáticas e seus Impactos nos Recursos Hídricos Subterrâneos em Ilhas de Pequena Dimensão (Caso de Estudo: Açores - Ilha Terceira)*. Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Universidade dos Açores / LNEC, Teses e Programas de Investigação TPI 60, 318 pp.
4. Lobo Ferreira, J.P., Leitão, T.E., Martins, T., Oliveira M.M., Monteiro, J.P., Novo, M.E. (2013). *Variabilidade Climática, Recursos Hídricos Subterrâneos e Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas*. 9º Seminário de Águas Subterrâneas, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências, Monte da Caparica, 7 e 8 de Março de 2013, resumo alargado, 4. pp.

Lisboa, LNEC, Fevereiro de 2014

VISTOS

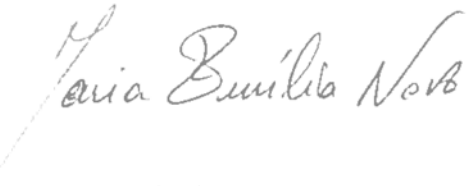
A Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e de  
Estruturas Hidráulicas

  
Maria Teresa Viseu

A Diretora do Departamento de Hidráulica e  
Ambiente

  
Rafaela de Saldanha Matos

AUTORIA



Maria Emília Novo  
Investigadora Auxiliar



João Paulo C. de Lobo Ferreira  
Investigador-Coordenador

## Referências Bibliográficas

- [1] <http://www.co2science.org/subject/b/summaries/biodivc3vsc4.php> – consultado em Março de 2013.
- [2] <http://www.charcoscomvida.org/charcos/o-que-e-um-charco>: Charcos com Vida – consultado em Maio de 2013.
- [3] AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE – **Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe. An indicator-based report**. EEA Report n.º 12/2012, Copenhaga, Dinamarca, EEA, 2013, pp. 300.
- [4] AZINHAGA, P. – **Elaboration de la Politique Régionale de l'Eau pour l'Afrique Occidentale. Rapport Guinée – Bissau**. Abuja, Nigeria, Unité de Coordination des Ressources en Eau, Communauté Economique des Etats de L'Afrique de L'Ouest., 2007
- [5] CEE (1992) – **Directiva 92/43/CEE do Conselho de 21 de Maio de 1992 Relativa à Preservação dos Habitats Naturais e da Fauna e da Flora Selvagens**. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 206, 35º Ano, 22 Julho de 1992, Bruxelas, União Europeia, 1992, 7-49 pp. In: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:PT:PDF> – consultado em Maio de 2013.
- [6] CHACHADI, A.G., LOBO FERREIRA, J.P. – **Sea Water Intrusion Vulnerability Mapping of Aquifers Using the GALDIT Method**. In COASTIN: A Coastal Policy Research Newsletter, Number 4, March 2001. New Delhi, India, TERI, 2001, pp. 7-9.
- [7] CHACHADI, A.G., LOBO FERREIRA, J.P. – **Sea Water Intrusion Vulnerability Using GALDIT Method: Part 2 – GALDIT Indicators Description**. In Lobo Ferreira, J.P; Vieira, J. (eds.), Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability, IAHS Publication 310, IAHS Red Books, IAHS, London, 2007, ISBN 978-1-901502-88-6, pp. 172-180.
- [8] CIVITA, M.V., DE MAIO, M. – **Mapping Groundwater Vulnerability in Areas Impacted by Flash Flood Disasters**. 13th ESRI European User Conference, ESRI, 1998. In: <http://www.esri.com/library/userconf/europroc98/proc/idp51.html> - consultado em Setembro de 2009.
- [9] FILHO, J.L.A., LOBO FERREIRA, J.P., CALDO, M.K., MONTENEGRO, S.M., CARVALHO, A.M., BALDÉ, I., ADÃO, A. – **Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS): Brasil, Portugal, Angola e Guiné-Bissau**. Poster apresentado ao XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas/XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 31 de Agosto a 03 de Setembro de 2010, São Luís, Maranhão, ABRH, Brasil, 2010.
- [10] EEA – **Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012. An Indicator-Based Report**. European Environment Agency, Copenhaga, Dinamarca, EEA Report No 12/2012, Copenhaga, EEA, 2013, ISSN 1725-9177, pp. 300.
- [11] GAALOUL, N. – **A Modelling Study of Seawater Intrusion in Cap Bon Plain Case Study: Grombalia Aquifer and Oriental Coast Aquifer (Cap Bon in the North of Tunisia)**. Apresentação no âmbito do de Cooperação Portugal-Tunísia, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009.
- [12] KUTIEL, H., PAZ, S., REISER, H., WITTENBERG, L. – **WP 2 – Rainfall Uncertainty Model**. Laboratory of Climatology, Department of Geography & Environmental Studies, University of Haifa. PowerPoint, 45 slides. WP-02 Gabardine Meeting #3, 5-9 Novembro, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [13] KUTIEL, H., PAZ, S., REISER, H. – **Deliverable D225: WP 2 – Final Report: Activities During the Period November 2007-April 2009**. Laboratory of Climatology, Department of Geography & Environmental Studies, University of Haifa, Haifa, Israel, 2009.
- [14] LECCA, I.G., KHLAIFI, J., TARHOUNI, J.C. PANICONI – **Modeling Seawater Intrusion in the Korba Aquifer (Tunisia)**. In Proceedings of the XII International Conference on Computational Methods in Water Resources, June 15-19, Crete, Grécia, 1998.
- [15] LARANJEIRA, I., LEITÃO, T.E. – **Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos: Análise do Impacte dos Fogos Florestais na**

- Qualidade Química das Águas Superficiais e Subterrâneas das Áreas de Estudo da Região Centro, 3º Relatório de Progresso.** Relatório 63/2008-NAS, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2008, pp. 84.
- [16] LOBO FERREIRA, J.P. – **Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS). Relatório Científico e Financeiro Referente ao Ano de 2009.** Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009, pp. 25.
- [17] LOBO FERREIRA, J.P., NOVO, M.E., OLIVEIRA, M.M., LARANJEIRA, I., LEITÃO, T.E., HENRIQUES, M.J.A., MARTINHO, N., QUINTA-NOVOA, L., FERNANDEZ, P., TOJEIRA, R., ROQUE, N., MESTRE, S., DIAS, S., LOPES, M.H., PARALTA, E., FREIRE, M., GALHETAS, M., GOMES, S., MATOS, C. – **Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos: Relatório Final de Execução Material.** Relatório 351/2009-NAS, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009, pp. 555.
- [18] LOBO FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, L., TERCEIRO, P., BALDÉ, I. – **Avaliação da Vulnerabilidade à Intrusão Marinha da Zona de Influência de Maré da Guiné Bissau.** 8.º Seminário sobre Águas Subterrâneas, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 10 a 11 de Março de 2011, Lisboa, APRH, 2011, 4 pp.
- [19] LOBO FERREIRA, J.P., MONTEIRO, J.P., OLIVEIRA, M.M., MARTINS, T., NOVO, M.E., OLIVEIRA, L.G.S., LEITÃO, T.E., HENRIQUES, M.J.A. – **Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica do Tejo. Modelação do Sistema Aquífero de Monforte-Alter do Chão e Análise dos Impactos das Alterações Climáticas nos Ecossistemas Dependentes das Águas Subterrâneas (EDAS).** Relatório LNEC 288/2012-DHA/NAS, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2012a, pp. 115.
- [20] LOBO FERREIRA, J.P., MONTEIRO, J.P., OLIVEIRA, M.M., MARTINS, T., NOVO, M., OLIVEIRA, L.G.S., LEITÃO, T.E., HENRIQUES, M.J.A. (2012b) – **Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste. Modelação do Sistema Aquífero de Torres Vedras e Análise dos Impactos das Alterações Climáticas nos Ecossistemas Dependentes das Águas Subterrâneas (EDAS).** Relatório LNEC 289/2012-DHA/NAS, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2012b, pp. 113.
- [21] LOBO FERREIRA, J.P., LEITÃO, T.E., MARTINS, T., OLIVEIRA, M.M., MONTEIRO, J.P., NOVO, M.E. – **Variabilidade Climática, Recursos Hídricos Subterrâneos e Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas.** 9º Seminário de Águas Subterrâneas, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências, Monte da Caparica, 7 e 8 de Março de 2013, resumo alargado, APRH, Lisboa, 2013, 4. pp.
- [22] LOURENÇO, N., MACHADO, C.R., PIRES, A., VILHENA, J., RODRIGUES, L., NORBERTO, S., ALMEIDA, A., TOMÉ, M., ESTEVES, L. – **PROWATERMAN – Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana. Uma Abordagem Integrada e Participativa na Definição de Estratégias Inovadoras e Prospectivas de Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sul de Portugal.** Actividades da Equipa de Investigação da Universidade Atlântica. LNEC, Lisboa, 23 de Abril, Power Point, 18 slides, Universidade Atlântica, Barcarena, 2012.
- [23] MIGUEL, G.L. – **Caracterización Hidrogeológica y Ambiental de Luanda y su Alrededores (Angola).** Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales, Alcalá de Henares, Espanha, Universidade de Alcalá, 2006.
- [24] NOVO, M.E., LOBO FERREIRA, J.P. – **Alterações Climáticas e seus Impactos em Recursos Hídricos Subterrâneos de Zonas Insulares – Metodologias de Vulnerabilidade às Alterações Climáticas.** Comunicação apresentada ao CLIMA2008 – 1º Congresso Nacional das Alterações Climáticas, Aveiro, 29 e 30 de Setembro de 2008, Associação Portuguesa de Engenheiros Ambientais (APEA), 2008, pp. 11.
- [25] NOVO, M.E., OLIVEIRA, M.M., J.P. – **Modificações das Taxas de Exploração em Cenários de Alterações Climáticas: Sistema Aquífero de Torres Vedras,** pp. 10 (*in press/revisão*).
- [26] NOVO, M.E., OLIVEIRA, L. – **Desenvolvimentos para a Fundamentação e Proposta de Medidas – Algarve.** Workshop PROWATERMAN “Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana: Uma Abordagem Integrada e Participativa na Definição de Estratégias Inovadoras e Prospectivas de Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sul de Portugal”,

- organizado pelo LNEC e com participação da Universidade Atlântica, Universidade do Algarve, Universidade de Évora e Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Évora e Faro, 29 e 30 Novembro de 2012, Power Point, 22 slides, LNEC, 2012a.
- [27] NOVO, M.E., OLIVEIRA, M.M., OLIVEIRA, L., MARTINS, T. – **Impacto das Alterações Climáticas em Ecossistemas Costeiros Dependentes de Águas Subterrâneas. Caso de Estudo: Melides**. Artigo apresentado na 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 a 8 Novembro 2013, Aveiro, Universidade de Aveiro, Associação Portuguesa de Engenheiros Ambientais (APEA), 2013a, 15 pp.
- [28] NOVO, M.E., OLIVEIRA, M.M., OLIVEIRA, L. – **Impacto das Alterações Climáticas no Aquífero Querença-Silves e Bacia de Odelouca**. Artigo aceite para apresentação oral ao XII Congresso da Água, Lisboa, APRH, 2013a, 12 pp.
- [29] NOVO, M.E., OLIVEIRA, L.S., HENRIQUES, M.J. – **Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana – PROWATERMAN. Estratégias e Medidas de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia de Melides em Cenários Sócio-Económicos e de Alterações Climáticas**. Relatório 128/2013-DHA/NAS, Lisboa, LNEC, 2013c, 2013d, 278 pp.
- [30] NOVO, M.E., OLIVEIRA, L.S., HENRIQUES, M.J. – **Água, Ecossistemas Aquáticos e Atividade Humana – PROWATERMAN. Sexto Relatório Temático – Medidas de Mitigação e Priorização da Actuação**. Relatório 79/2013-DHA/NAS, Lisboa, LNEC, 2013d, 70 pp.
- [31] NOVO, M.E., OLIVEIRA, M.M., OLIVEIRA, L.S. – **Utilização de Cenários de Mudança para a Previsão da Evolução das Pressões e do Estado das Massas de Água Subterrânea e EDAS. Caso de Estudo: Melides. Parte II. Cenários de Alterações Climáticas**. Artigo apresentado na 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 a 8 Novembro 2013, Aveiro, Universidade de Aveiro, Associação Portuguesa de Engenheiros Ambientais (APEA), 2013e, pp. 19.
- [32] NOVO, M.E., OLIVEIRA, L. – **Avaliação das Cargas Poluentes e seu Impacto na Lagoa de Melides**. Artigo apresentado na 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 a 8 Novembro 2013, Aveiro, Universidade de Aveiro, 21 pp. Resumo alargado apresentado no 9º Seminário de Águas Subterrâneas, Monte da Caparica, Universidade Nova de Lisboa, 7 e 8 Março 2013, APRH, 2013, pp. 1.
- [33] OLIVEIRA, L., NOVO, M. E., TERCEIRO, P., LOBO FERREIRA, J.P. – **Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – PROWATERMAN. Segundo Relatório Temático – Recarga Artificial de Aquíferos e Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas às Alterações Climáticas**. Relatório 288/2010-DHA/NAS, Lisboa, LNEC, 2010, pp. 100.
- [34] OLIVEIRA, L., NOVO, M. E., OLIVEIRA, L., LOBO FERREIRA, J.P. – **Estudo do Impacto das Alterações Climáticas na Recarga do Sistema Aquífero de Torres Vedras**. Comunicação apresentada ao 11º Congresso da Água “Valorizar a Água num Contexto de Incerteza”, Porto, 6 a 8 Fevereiro de 2012, APRH, 2012, pp. 15.
- [35] OLIVEIRA, L., MARTINS, T., LOBO FERREIRA, J.P., OLIVEIRA, M.M., NOVO, M.E., LEITÃO, T.E. – **Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projeto PROWATERMAN. Quarto Relatório Temático – Contributos para o Desenvolvimento de Medidas para uma Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no Sul de Portugal**. Relatório 153/2012-DHA/NAS, Lisboa, LNEC, 2012a, pp. 44.
- [36] OLIVEIRA, L., NOVO, M. E., LOBO FERREIRA, J.P. – **Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projeto PROWATERMAN. Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o Desenvolvimento de Medidas de Mitigação em Melides**. Relatório 182/2011-DHA/NAS, Lisboa, LNEC, 2012b, pp. 35.
- [37] OLIVEIRA, L., NOVO, M. E. – **Análise do Risco de Seca no Aquífero Querença-Silves**, Artigo aceite para apresentação oral ao XII Congresso da Água, Lisboa, APRH, 2013, 15 pp.
- [38] ROUNSEVELL, M.D.A., REGINSTER, I., ARAÚJO, M.B., CARTER, T.R., DENDONCKER, N., EWERT, F., HOUSE, J.I., KANKAAPÄÄ, S., LEEMANS, R., METZGER, M.J., SCHMIT, C., SMITH, P., TUCK, G., – **A Coherent Set of Future Land Use Change Scenarios for**

- Europe.** Agricultural Ecosystems & Environment, Vol. 114, ELSEVIER, 2006, ISSN: 0167-8809, pp. 57-68.
- [39] TERCEIRO, P., LOBO FERREIRA, J.P. – **Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS). Relatório Científico da Componente LNEC do Ano 2010.** Relatório 286/2010-NAS, Lisboa, LNEC, 2010a, 23 pp.
- [40] TERCEIRO, P., OLIVEIRA, L.S., LOBO FERREIRA, J.P., MIGUEL, G.L., GAALOUL, N., ROCHA, E.J. – **Modelação Matemática em Aquíferos Costeiros, Aplicação a Dois Casos de Estudo em Países Africanos: Angola e Tunísia.** Comunicação apresentada ao 10.º Congresso da Água – Marcas d'Água Algarve, 21 a 24 de Março de 2010, Algarve, APRH, 2010b, 15 pp.
- [41] TOACÁ, D. – **Saltwater Intrusion Modelling: Research of Surface-water / Ground-water Flow and Salinity in Korba Aquifer, Tunisia.** Post-Doctoral Research Project, Faculty of Hydrotechnical Engineering, Geodesy and Environmental Engineering, Department of Hydroamelioration and Environment Protection, Gheorghe Asachi Technical University of Iasi/Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Iasi, Roménia, Lisboa, LNEC, 2012, 40 pp.

