



Metodologia para a definição das áreas prioritárias para aplicação de medidas com vista à recuperação do estado “Bom” do meio hídrico superficial e subterrâneo: o caso de estudo da bacia hidrográfica de Melides (litoral Alentejano – Portugal)

Emília Novo¹, Luís Oliveira², João P. Lobo Ferreira³, Maria J. Henriques⁴

1 Geóloga, Dr. Engenharia do Ambiente, Investigadora auxiliar, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, enovo@lnec.pt

2 Mestre em Engenharia do Ambiente, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, lgsoliveira@gmail.com

3 Doutor em Engenharia Civil, Investigador-coordenador e chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, lferreira@lnec.pt

4 Geóloga, Técnica de Experimentação, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, mjhenriques@lnec.pt

Palavras-chave: lagoa costeira, recuperação de massas de água superficiais e subterrâneas, áreas prioritárias, índice de prioridade de intervenção

Tema: Sub-tema 1 – Governança, planeamento e ordenamento das zonas costeiras

Tipo de comunicação: Oral

Resumo: Para uma aplicação otimizada dos recursos com vista a recuperar as massas de água ao estado Bom conforme exigido pela Diretiva da Água da EU, têm de se identificar as áreas que exigem intervenção prioritária. Por vezes esta identificação não é evidente pelo que foi desenvolvida uma metodologia para a sua identificação e delimitação, que se aplicou ao caso de estudo de Melides, e que considera o tipo de fonte poluente, sua distribuição espacial, carga poluente, existência de ligações hidráulicas entre o meio superficial e subterrâneo, no âmbito do projeto PROWATERMAN financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT - PTDC/AAC-AMB/105061/2008).. Neste caso de estudo os meios hídricos a recuperar são a rede hidrográfica e a lagoa costeira de Melides, ambos parcialmente dependentes das águas subterrâneas, sendo afectados pela poluição existente no aquífero. A metodologia desenvolveu-se em duas vertentes – meios superficiais; meio subterrâneo – sendo o seu resultado final um zonamento de áreas prioritárias para aplicação das medidas de intervenção e que no caso de estudo se traduz em dois mapas: (1) áreas prioritárias de intervenção para controlo da poluição entrada no meio hídrico superficial por via superficial e (2) áreas prioritárias de intervenção para controlo da poluição entrada no meio hídrico superficial por via subterrânea. Este zonamento classifica as áreas em termos de prioridade a qual vai de “Prioridade Imediata” a “Prioridade Muito Baixa”. Esta metodologia permitiu definir: áreas para intervenção imediata (envolvente da lagoa e rede hidrográfica na zona vestibular); áreas para intervenção urgente (focadas na redução das cargas poluentes vindas do aquífero e com tempos de percurso inferiores ou iguais a 3 anos); áreas para intervenção secundária; áreas onde é mais viável actuar sobre as zonas de descarga do aquífero que sobre a fonte poluente; áreas que não necessitam de intervenção.

1. INTRODUÇÃO

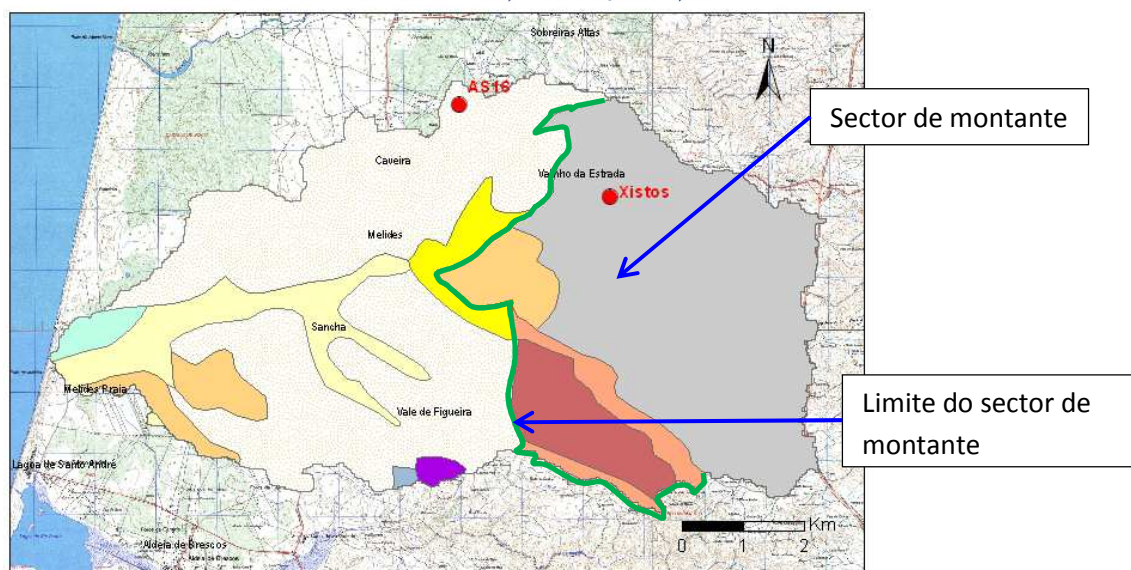
A necessidade da aplicação de medidas destinadas a repor as massas de água no estado “Bom”, nas suas vertentes quantitativas e qualitativas, como resultado da Lei da Água, até mais tardar 2027, com



exceção dos casos em que seja tecnicamente inviável, ou por razões naturais (ex.: características hidrogeológicas específicas, no caso dos aquíferos) leva por um lado a identificar as medidas mais viáveis para alcançar esse objetivo e por outro a definir que áreas deverão ter intervenções prioritárias na aplicação destas medidas de modo a que com o mínimo de recursos se obtenham os melhores resultados. Para a definição das medidas – tema que foi tratado em Novo et al., (2013 a) – é necessário conhecer (1) as condicionantes geológicas e hidrogeológicas para cada massa de águas, (2) o funcionamento hidráulico dos diferentes meios hídricos e eventuais ligações hidráulicas entre estes, (3) a quantificação das diferentes componentes do ciclo hidrológico e os volumes que circulam em cada massa de águas, (4) tipos de fontes poluentes presentes na área a intervencionar, (5) distribuição das fontes poluentes, (6) carga poluente associada a cada fonte, (7) massa de água que cada fonte poluente afeta, (8) importância de cada fonte poluente para a carga poluente em cada massa de água, (9) áreas de transferência da poluição e de fluxos entre massas de água, (10) regimes naturais e/ou antrópicos de remoção atual de poluentes de cada massa de água, (11) identificação de quais fontes afetam cada região de cada massa de águas e qual a proporção da carga total de cada fonte poluente que afeta cada região, (12) volumes de consumos associados a cada atividade económica e fonte poluente, (13) taxas de exploração de cada massa de águas (haverá atividades abastecidas por massas de águas superficiais e atividades abastecidas por águas subterrâneas), (14) avaliação da evolução das pressões qualitativas (fontes poluentes) e quantitativas (consumos) sobre as massas de água em cenários de mudança, sejam estes sócio-económicos, de alterações climáticas ou outros. Uma vez realizada a análise de todos estes elementos e definido o conjunto de medidas a implementar – o que se faz com recurso a uma matriz de decisão (Novo et al. 2013b; Novo e Oliveira, 2013c) – é necessário definir que áreas serão prioritárias para a aplicação destas medidas ou porque o estado de poluição é aí mais gravoso ou porque a intervenção nessas regiões potencia uma mais rápida recuperação das massas de água. Uma metodologia para a identificação e delimitação destas áreas foi desenvolvida no âmbito do estudo PROWATERMAN e é a que seguidamente se apresenta.

2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A região onde a metodologia foi desenvolvida corresponde à bacia hidrográfica de Melides, sita na zona litoral alentejana, Portugal e pertence à Região Hidrográfica 6. No seu troço de montante encontram-se litologias de xistos e grauwagues, considerados basicamente impermeáveis e onde a rede de drenagem tem uma densidade acentuada, face à densidade de jusante; no sector jusante encontram-se terrenos detríticos terciários e quaternários, dominados por arenitos e areias de origem marinha e litoral, por vezes com seixos e com níveis locais intercalados de argilitos ou carbonatados (Fig.1).



Enquadramento litoestratigráfico

Fonte: Henriques e Martins (2012)

- Aluviões - Quaternário
- Dunas - Quaternário
- Formação de Marateca - Pliocénico
- Formação de Esbarradoiro - Miocénico
- Complexo Vulcano-Sedimentar - Jurássico inf.
- Formações de Dagorda, Pereiros e Grés de Silves - Triásico
- Formação Filito-Quartzítica: filitos, siltitos e quartzitos - Devónico sup.
- Xistos, siltitos, tufitos e jaspes (Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa) - Devónico sup.-Carbónico inf.
- Turbiditos (Fm. Mértola) - Carbónico inf.

Fig. 1 – Geologia da bacia de Melides

A área de estudo é constituída, em termos de massas de água, pelo aquífero de Sines, rede hidrográfica de Melides e Lagoa de Melides, que corresponde à zona vestibular da referida rede hidrográfica. Sendo as massas de água a recuperar a rede hidrográfica e especialmente a lagoa, e sendo que o aquífero superficial tem ligação hidráulica com estas duas massas de água, este teve de ser considerado aquando da identificação e estabelecimento das áreas prioritárias para atuação.

O aquífero superficial desenvolve-se nas formações detríticas terciárias e quaternárias. É um aquífero poroso, freático, pouco profundo, com ligações hidráulicas com a rede hidrográfica superficial, descarregando para as linhas de água. De acordo com os balanços hídricos realizados no estudo PROWATERMAN cerca de 26,5% do volume que entra no meio hídrico superficial (ribeiras e lagoa) provém do meio subterrâneo, dos quais cerca de 90% provém das águas subterrâneas da zona arenosa da bacia, dado que as formações xistosas contribuem essencialmente com escoamento superficial direto para a alimentação da rede de drenagem (cf. Oliveira et al., 2012). A importância da contribuição das fontes superficiais e subterrâneas para a alimentação da Lagoa, no sector xistoso e no sector arenoso da bacia, é apresentada na Fig. 2. Os volumes totais de água que alimentam a Lagoa são da ordem de 20 hm³/ano, (total de contribuições superficiais + e subterrâneas).

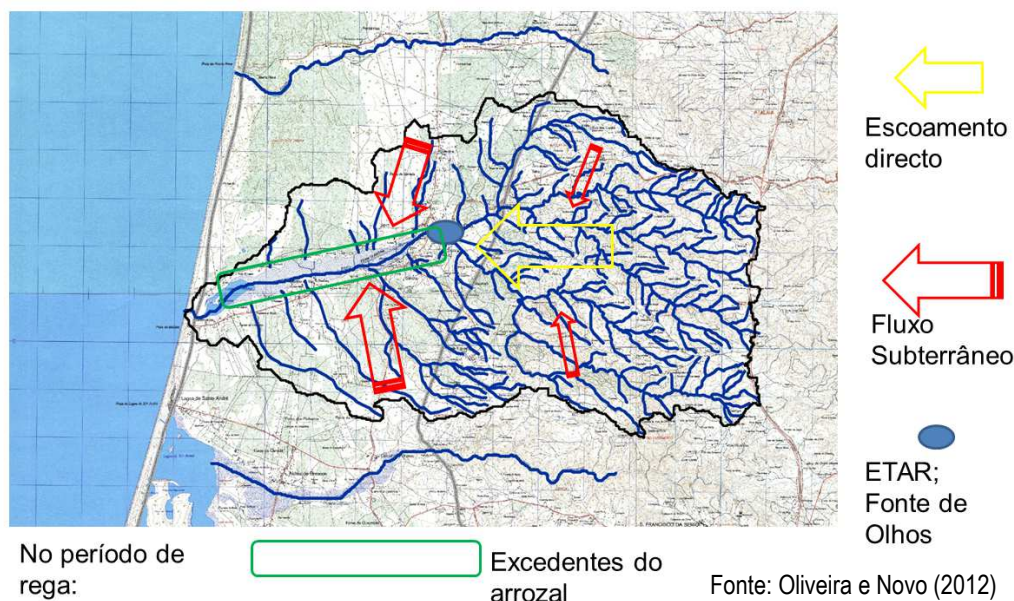


Fig. 2 – Origens da água que alimentam a Lagoa e sua importância relativa

As contribuições de água para a lagoa estão assim distribuídas (Oliveira e Novo, 2012):

- **Origem superficial:** (1) ribeira de Melides e seus afluentes (principal alimentação na área xistosa de montante da bacia; o escoamento superficial na área xistosa constitui cerca de 57% da alimentação da Lagoa de Melides); (2) excedentes das águas de rega, com especial destaque para os arrozais; (3) água das ETARs de Melides e de Vale Figueira; (4) excedentes da Fonte de Olhos (Melides).
- **Origem subterrânea:** (1) água subterrânea que aflui diretamente à lagoa; (2) água subterrânea que aflui à ribeira; (3) recarga por rega das áreas agrícolas.

De acordo com o levantamento efetuado no projeto PROWATERMAN, as fontes de poluição distribuem-se pelas origens (1) agrícola, (2) agropecuária e (3) urbana, estando essencialmente concentradas na zona de jusante (região arenosa) da bacia hidrográfica (Fig. 3). A área das formações xistosas (zona de montante da bacia) é caracterizada por uma muito reduzida ocorrência de fontes de poluição. As fontes de poluição afetam o meio subterrâneo e superficial, algumas afetando sobretudo o meio superficial (ex.: ETAR) e outras afetam sobretudo o meio subterrâneo (ex.: áreas agrícolas). No entanto, como grande parte do volume de água que entra no aquífero retorna ao meio superficial, as fontes poluentes subterrâneas podem ser encaradas como fontes de poluição do meio superficial a mais ou menos médio prazo. Nalguns casos este médio prazo corresponde a períodos algo longos, pelo que os poluentes atualmente infiltrados atingem o meio superficial após 2027, causando dificuldades acrescidas à reposição do bom estado das massas de água. De acordo com a monitorização desenvolvida no estudo PROWATERMAN existem os seguintes pontos com estado de qualidade medíocre (Oliveira et al., 2011; Novo et al., 2013a) e os seguintes pontos em estado mesotrófico (Leitão et al., 2012; Novo et al., 2013a):

- o **Meio subterrâneo** – P3, P9, P10, P15, P23.
- o **Meio superficial** – MSup_13 (devido a compostos fosfatados).
- o **Estado mesotrófico** – MSup_4, MSup_5 e MSup_6.

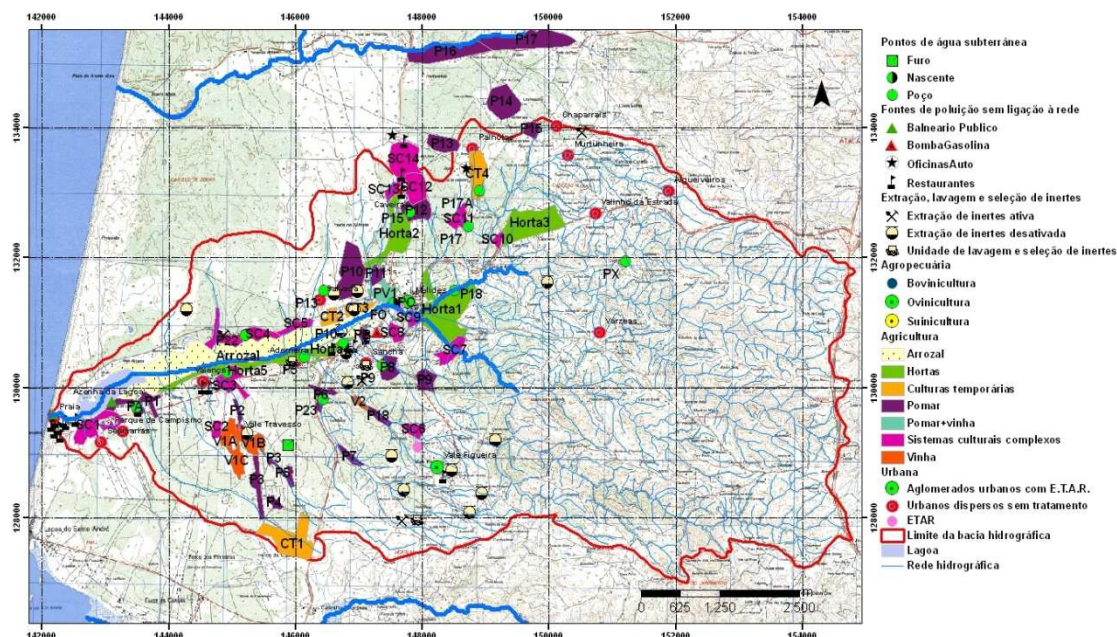


Fig. 3 – Distribuição das fontes poluentes

Definida a situação atual, e também a sua evolução futura em termos de cenários de mudanças, é necessário definir as áreas prioritárias onde se deverá atuar. A metodologia de definição de áreas prioritárias de intervenção com vista à recuperação não apenas destes pontos mas de todo o sistema aquífero e posterior controlo das cargas poluentes é seguidamente apresentada.

3. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A APLICAÇÃO DE MEDIDAS PARA RECUPERAR O ESTADO BOM DAS MASSAS DE ÁGUA

Esta metodologia para a definição de áreas prioritárias de intervenção para a recuperação do estado, e sua posterior manutenção, foi desenvolvida em duas componentes distintas: (1) áreas prioritárias de atuação no meio superficial, (2) áreas prioritárias de atuação no meio subterrâneo. Tal abordagem foi escolhida porque não só o estado dos meios superficiais, na área de estudo, depende do estado do meio subterrâneo mas porque se pretendeu que esta metodologia seja aplicada a um vasto conjunto de situações e meios hídricos. Nos casos em que existe ligação hidráulica entre os dois meios, e estes estejam em estado inferior a Bom, então a definição de áreas de atuação deverá ser realizada para os meios superficial e subterrâneo será realizada a definição; nos casos em que apenas o meio superficial esteja em mau estado e/ou não haja ligação hidráulica com o meio subterrâneo aplica-se a metodologia apenas na sua componente para os meios superficiais; no caso em que seja o aquífero a estar em mau estado e/ou não tenha ligação com o meio superficial, aplica-se a metodologia apenas na sua componente subterrânea. Esta metodologia foi estruturada para ambientes SIG.

3.1. Metodologia de definição das áreas prioritárias de intervenção: componente superficial

A definição das áreas prioritárias de intervenção com vista à recuperação das massas de água superficiais considera diversos tipos de corpos de água superficial, tais como rios, lagos e lagoas, costeiras ou interiores, e realiza-se em função de um conjunto de parâmetros, que são ponderados para



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

se obter um índice final de prioridade de intervenção por cada área na envolvente das massas de água a recuperar. Os parâmetros considerados são os seguintes:

- a) **Distância ao corpo de água** – quanto maior a distância do foco de poluição ao corpo de água superficial, maior a possibilidade de atenuação natural das cargas poluentes, ou por retenção pela vegetação e micro relevos ou pela infiltração das águas de escorrência. Fontes que descarregam diretamente na massa de água constituirão áreas prioritárias de atuação. Zonas progressivamente mais afastadas terão progressivamente menos impacto pelo que a necessidade de atuação será progressivamente menos prioritária. A classificação deste parâmetro é apresentada no Quadro 1 e o respetivo zonamento para a área de estudo é ilustrado na Fig. 4.

Quadro 1 – Classes de distâncias ao corpo de água superficial

Corpo hídrico	Distância ao corpo de água	Índice
Envolvente do corpo lagunar	≤ 50 m	10
	50 – 100 m	9
	101 – 200 m	8
	201 – 300 m	7
	301 – 500 m	6
	> 500 m	4
Margens da linha de água (permanente ou temporária)	≤ 50 m	9
	50 – 100 m	8
	101 – 200 m	5
	201 – 300 m	3
	301 – 500 m	2
	> 500 m	1

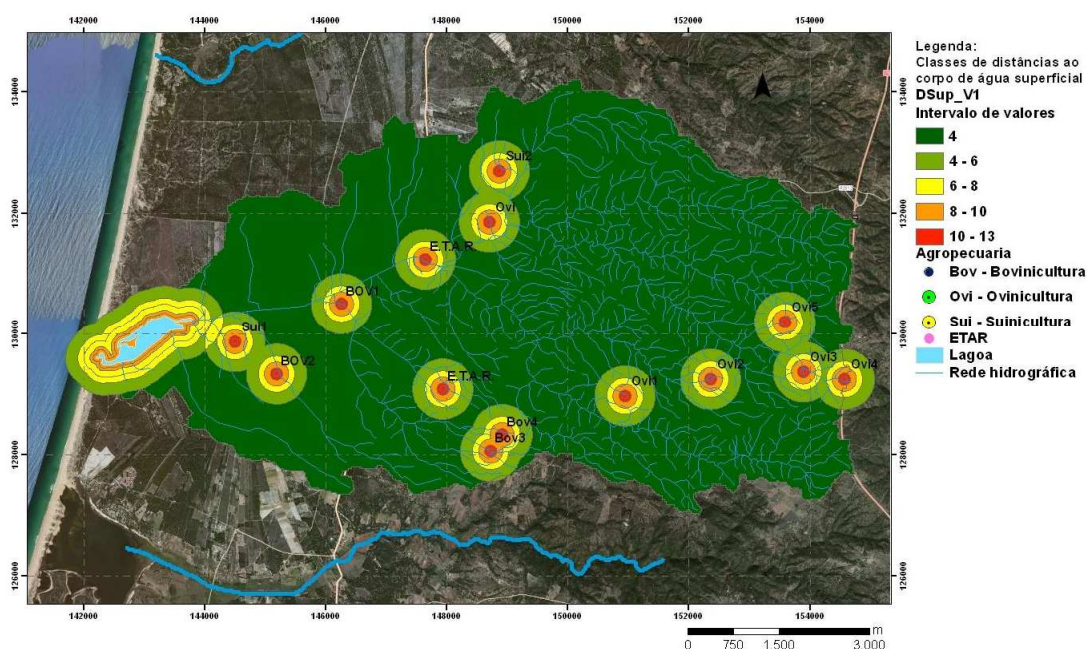


Fig. 4 – Classificação do parâmetro distância ao corpo de água

- b) **Distribuição espacial das fontes poluentes** – serão prioritárias as áreas onde se encontra o maior número de fontes poluentes, e/ou as fontes com maior perigosidade. A classificação deste



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

parâmetro é apresentada no Quadro 2, que na área de estudo tem a distribuição cuja classificação é apresentada na Fig. 5.

Quadro 2 – Classes de distribuição espacial das fontes poluentes

N.º de fontes poluentes	Perigosidade do poluente	Índice
Mais de 10 fontes	Pesticidas e metais pesados + fertilizantes	10
	Fertilizantes (NO_3 , P_2O_5) e/ou coliformes	9
	Poluentes de baixo impacto no ecossistema	8
Entre 5 a 10 fontes	Pesticidas e metais pesados + fertilizantes	7
	Fertilizantes (NO_3 , P_2O_5) e/ou coliformes	6
	Poluentes de baixo impacto no ecossistema	5
Menos de 5 fontes	Pesticidas e metais pesados + fertilizantes	4
	Fertilizantes (NO_3 , P_2O_5) e/ou coliformes	3
	Poluentes de baixo impacto no ecossistema	2
Sem fontes poluentes	Sem poluentes	1

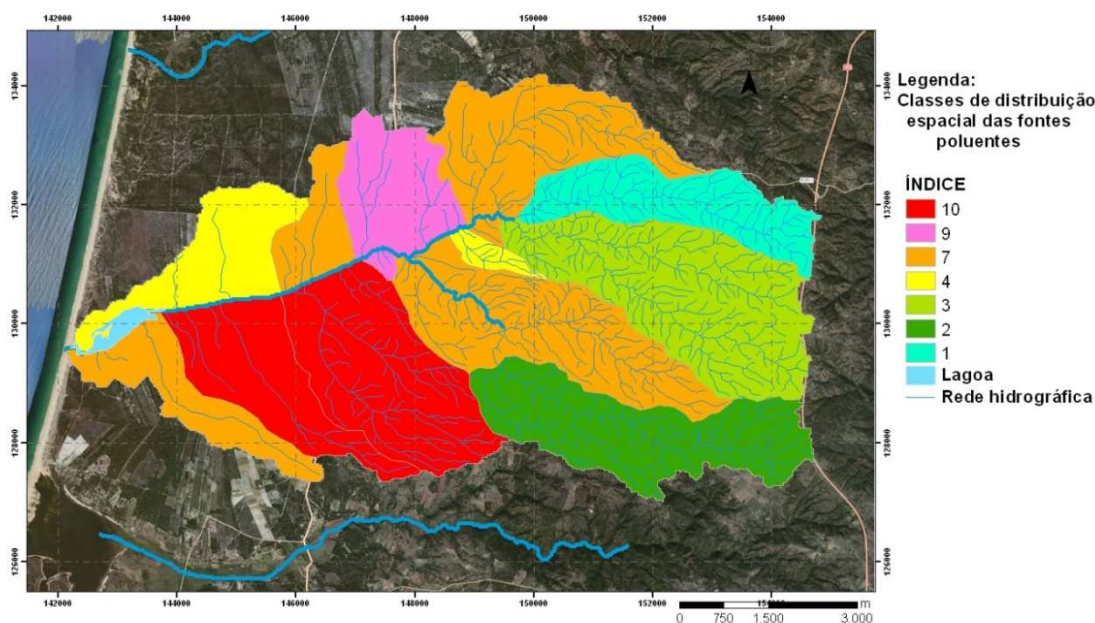


Fig. 5 – Classificação do parâmetro distribuição das fontes poluentes

- c) **Cargas poluentes** – serão prioritárias as áreas associadas a fontes poluentes com maior carga por parcela (fontes agrícolas) ou por instalação (pecuárias, fossas). No Quadro 3 é apresentada a classificação para os nitratos, devendo os limiares das classes serem ajustados consoante o tipo de poluente em análise. O zonamento obtido para a área de estudo apresenta-se na Fig. 6.

Quadro 3 – Classes das cargas poluentes

Tipo de fonte poluente	Carga poluente	Índice
Agricultura	> 500 kg N	8
	200 – 500 kg N	7
	100 – 200 kg N	6
	70 – 100 kg N	5
	40 – 70 kg N	4
	20 – 40 kg N	3



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

	10 – 20 kg N	2
	< 20 kg N	1

Tipo de fonte poluente	Carga poluente	Índice
Pecuária	> 700 kg N	8
	600 – 700 kg N	7
	500 – 600 kg N	6
	400 – 500 kg N	5
	300 – 400 kg N	4
	200 – 300 kg N	3
	100 – 200 kg N	2
	< 100 kg N	1
Urbana	> 500 kg N	8
	200 – 500 kg N	7
	100 – 200 kg N	6
	50 – 100 kg N	4
	20 – 50 kg N	3
	< 20 kg N	1

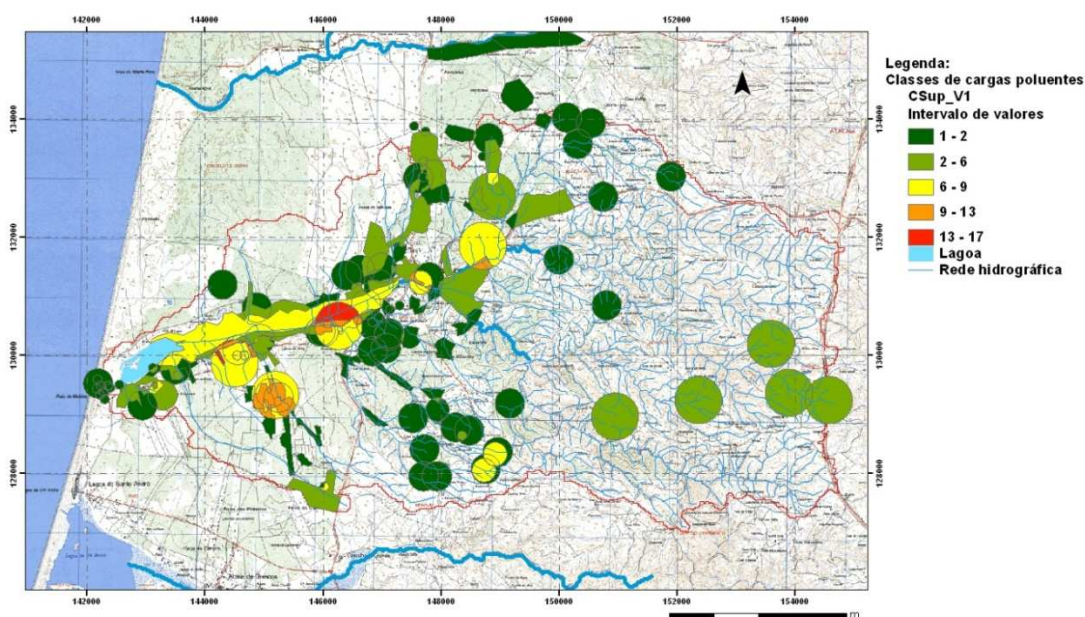


Fig. 6 – Classificação do parâmetro cargas poluentes

- d) **Zonas de descarga para o meio superficial** – todas as zonas de descarga de direta dos campos agrícolas, com especial destaque para aqueles associados a culturas com maiores cargas poluentes, e estruturas de tratamento e/ou armazenamento de resíduos (ETARs, tanques de retenção de escorrências de pecuárias, etc.) definem áreas prioritárias. Áreas de descarga onde ocorra grande carga poluente serão também áreas prioritárias. As zonas de descarga do meio subterrâneo para o superficial têm maior prioridade se as cargas poluentes são maiores e se os tempos de percurso desde a fonte até às zonas de descarga são mais curtos. Ressalve-se



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

o caso especial das zonas associadas a tempos de percurso compreendidos entre 15 e 70 anos, a que se atribuiu um índice relativamente elevado. Tal deve-se a que qualquer intervenção de controlo da poluição na fonte não terá resultados senão depois de 2027 (tais fontes poluentes poderiam ser chamadas de “bombas-relógio” porque o impacto dos poluentes sobre o meio hídrico superficial é algo dilatado no tempo; tal poderá ser um aspeto positivo se se estiver a lidar com poluentes não conservativos mas, se os poluentes forem conservativos, essa vantagem é pouco expressiva). Por esta razão é prioritário atuar sobre estas zonas de descarga – muito mais do que sobre as respetivas fontes poluentes associadas – e deste modo o valor do índice que lhes foi atribuído é médio a alto, dependendo esta última gradação das cargas poluentes que aí sejam descarregadas. Os pesos atribuídos às diferentes categorias deste parâmetro são apresentados no Quadro 4 e o zonamento para a área de estudo apresenta-se na Fig. 7.

Quadro 4 – Classes de zonas de descarga para as águas superficiais

Tipos de zonas de descarga	Tempos de percurso / Localização da fonte		Carga poluente	Índice
Zonas de descarga de escorrências para o meio hídrico superficial	< 1 ano	Margens de corpos lagunares (ex.: lagoa de Melides)	> 40 kg N	10
			20 – 40 kg N	9
			< 20 kg N	8
		Troços de jusante de linhas de água (ex.: sector a jusante da ponte Melides)	> 40 kg N	9
			20 – 40 kg N	8
			< 20 kg N	7
		Troços intermédios das linhas de água (ex.: sector entre ponte e Melides)	> 40 kg N	8
			20 – 40 kg N	7
			< 20 kg N	6
		Troços de montante das linhas de água (ex.: sector a montante Melides até aos xistos)	> 40 kg N	5
			20 – 40 kg N	4
			< 20 kg N	3
		Zonas de cabeceira das linhas de água (ex.: zona dos xistos)	> 40 kg N	4
			20 – 40 kg N	3
			< 20 kg N	2
Zonas de descarga do meio hídrico subterrâneo para o meio hídrico superficial	< 1 ano		> 500 kg N	10
			100 – 500 kg N	9
			50 – 100 kg N	8
			20 – 50 kg N	7
			< 20 kg N	6
	1 – 3 anos		> 300 kg N	9
			100 – 300 kg N	8
			50 – 100 kg N	7
			20 – 50 kg N	6
			< 20 kg N	5
	3 – 15 anos		> 500 kg N	8
			100 – 500 kg N	7
			50 – 100 kg N	6
			20 – 50 kg N	5
			< 20 kg N	4
	15 – 25 anos		> 500 kg N	8
			200 – 500 kg N	7
			150 – 200 kg N	6
			50 – 150 kg N	5
			< 50 kg N	4
Zonas de descarga do meio	25 – 70 anos		> 500 kg N	7



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

hídrico subterrâneo para o meio hídrico superficial		200 – 500 kg N	6
		150 – 200 kg N	5
		50 – 150 kg N	4
		< 50 kg N	3
	> 70 anos	Qualquer carga	2
Zonas de não descarga	Não se aplica	0	1

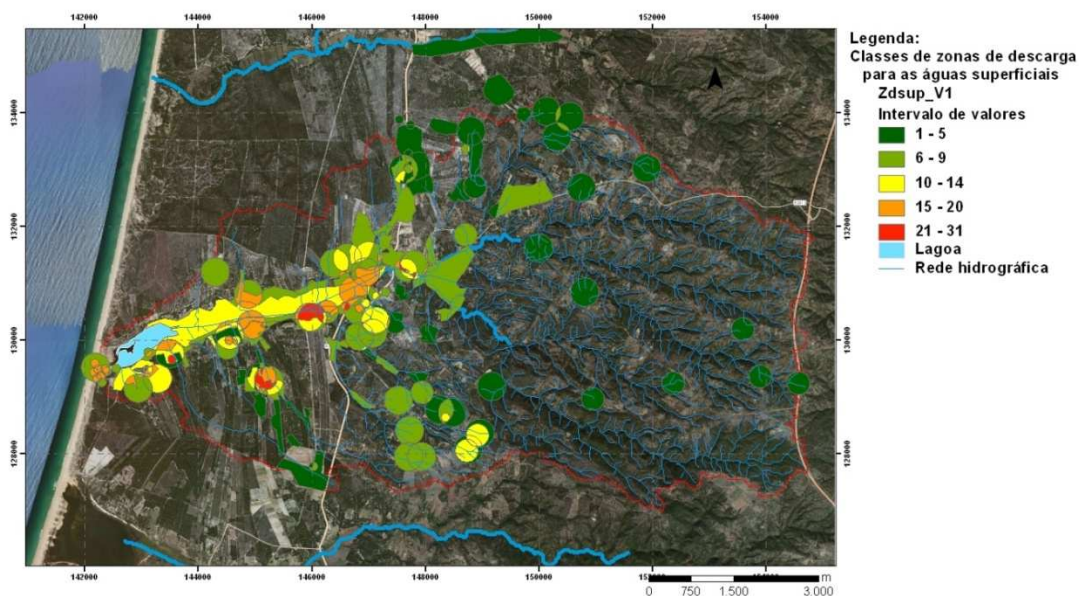


Fig. 7 – Classificação do parâmetro zonas de descarga

Finalmente o Índice de Prioridade de Intervenção, que definirá quais as áreas a exigirem intervenção mais prioritária é calculado pela expressão abaixo sendo as prioridades definidas pelos valores deste índice segundo o expresso no Quadro 5. Para a área de estudo o zonamento obtido de áreas prioritárias para recuperação dos meios hídricos superficiais apresenta-se na Fig. 8.

Quadro 5 – Classificação do índice de prioridade de intervenção no meio hídrico superficial

Valor do índice	Prioridade de intervenção
> 100	Imediata
75 – 100	Urgente
55 – 75	Moderada
37 – 54	Baixa
25 – 36	Muito baixa
8 – 24	Sem necessidade de atuação

$$IP_{Sup} = 3 \times D_{Sup} + 2 \times Nf_{Sup} + 3 \times C_{Sup} + 1 \times Zd_{Sup}$$

Onde:

IP_{Sup} = índice de prioridade de intervenção nas águas superficiais

D_{Sup} = parâmetro da distância ao corpo de água

Nf_{Sup} = parâmetro da distribuição espacial das fontes poluentes



C_{Sup} = parâmetro das cargas poluentes

Zd_{Sup} = parâmetro das zonas de descarga para as águas superficiais

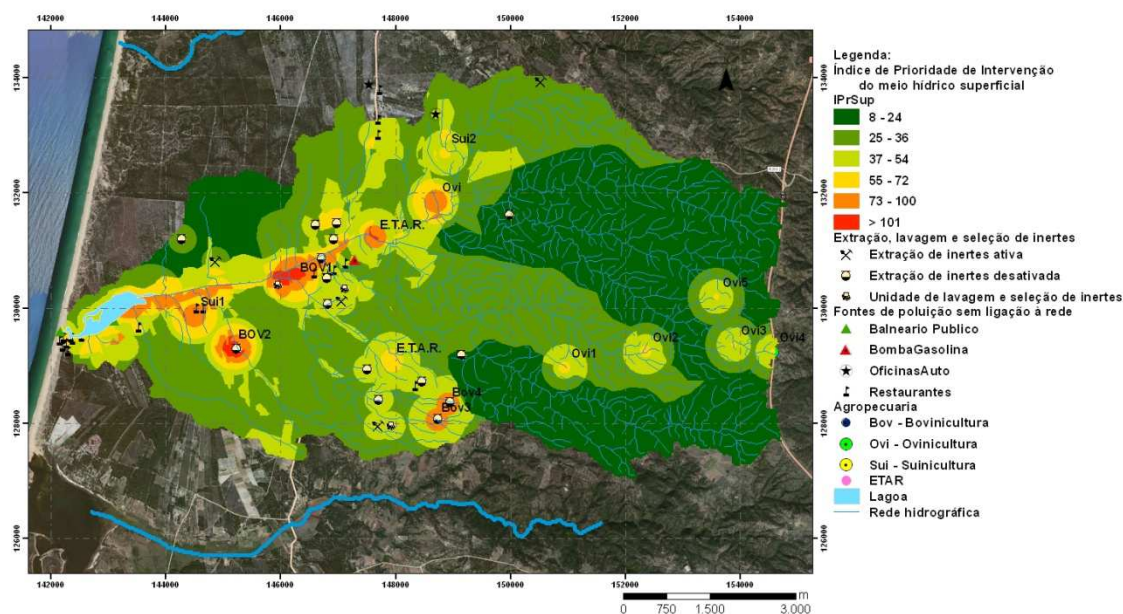


Fig. 8 – Índice de Prioridade de Intervenção no Meio Hídrico Superficial

3.2. Metodologia de definição das áreas prioritárias de intervenção: componente subterrânea

A definição das áreas prioritárias de intervenção com vista à recuperação das massas de água subterrânea ou superficiais com ligações hidráulicas com massas de água subterrâneas considera, nesta fase do seu desenvolvimento, apenas os aquíferos mais superficiais, ignorando situações de eventuais ligações verticais entre aquíferos, situação a ser incluída em desenvolvimentos futuros. Para a definição das áreas prioritárias de atuação considera-se um conjunto de parâmetros, que são ponderados para se obter um índice final de prioridade de intervenção por cada área de terreno sobrejacente a estas massas de água.

- a) **Profundidade ao nível de água** – as zonas onde a massa poluente chega menos atenuada ao meio hídrico subterrâneo correspondem àquelas cujo nível piezométrico é mais superficial, sendo as de maior prioridade de atuação. Este parâmetro representa na realidade a distância da fonte poluente ao corpo de água, em similitude com o que foi considerado para a componente superficial desta metodologia. Adotando o intervalo de profundidades adaptado do parâmetro Profundidade ao Nível de Água da metodologia DRASTIC de Aller et al. (1977), a classificação deste parâmetro é a apresentada no Quadro 6 e o zonamento para a área de estudo na Fig. 9.

Quadro 6 – Classes de profundidades

Profundidade ao nível de água	Índice
< 1,5 m	10
1,5 – 4,5 m	9
4,5 – 9,0 m	7
9,0 – 15,0 m	5
15,0 – 23,0 m	3
23,0 – 30,0 m	2



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

> 30 m	1
--------	---

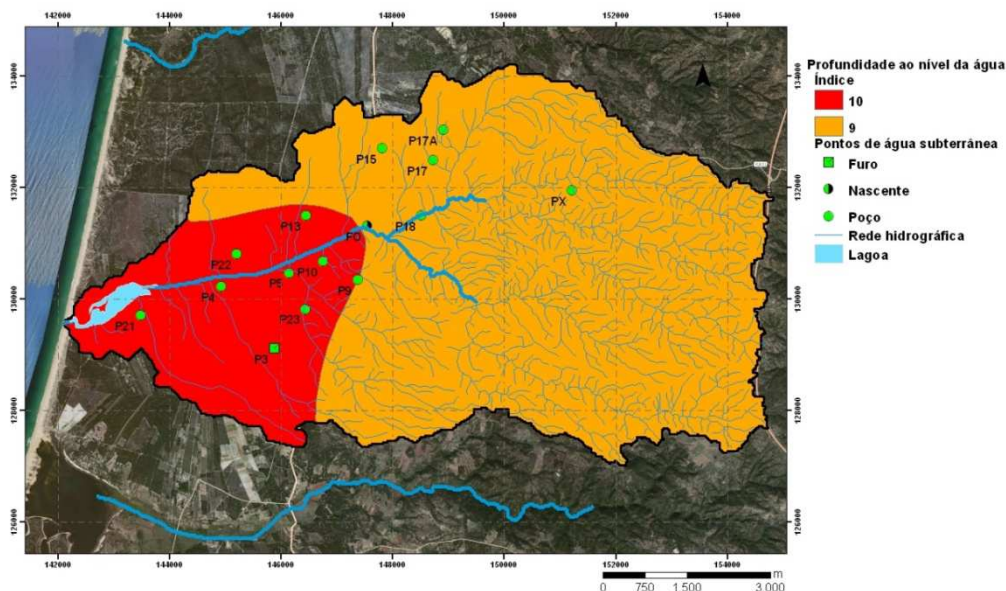


Fig. 9 – Classificação do parâmetro profundidade ao nível de água

- b) **Distribuição espacial das fontes poluentes** – serão prioritárias as áreas onde se encontre o maior número de fontes poluentes, e/ou as fontes com maior perigosidade. Os valores deste parâmetro apresentam-se no Quadro 7 e o zonamento para a área de estudo na Fig. 10.

Quadro 7 – Classes de distribuição espacial das fontes poluentes

N.º de fontes poluentes	Perigosidade do poluente	Índice
Mais de 10 fontes	Pesticidas e metais pesados + fertilizantes	10
	Fertilizantes (NO_3 , P_2O_5) e/ou coliformes	9
	Poluentes de baixo impacto no ecossistema	8
Entre 5 a 10 fontes	Pesticidas e metais pesados + fertilizantes	7
	Fertilizantes (NO_3 , P_2O_5) e/ou coliformes	6
	Poluentes de baixo impacto no ecossistema	5
Menos de 5 fontes	Pesticidas e metais pesados + fertilizantes	4
	Fertilizantes (NO_3 , P_2O_5) e/ou coliformes	3
	Poluentes de baixo impacto no ecossistema	2
Sem fontes poluentes	Sem poluentes	1



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

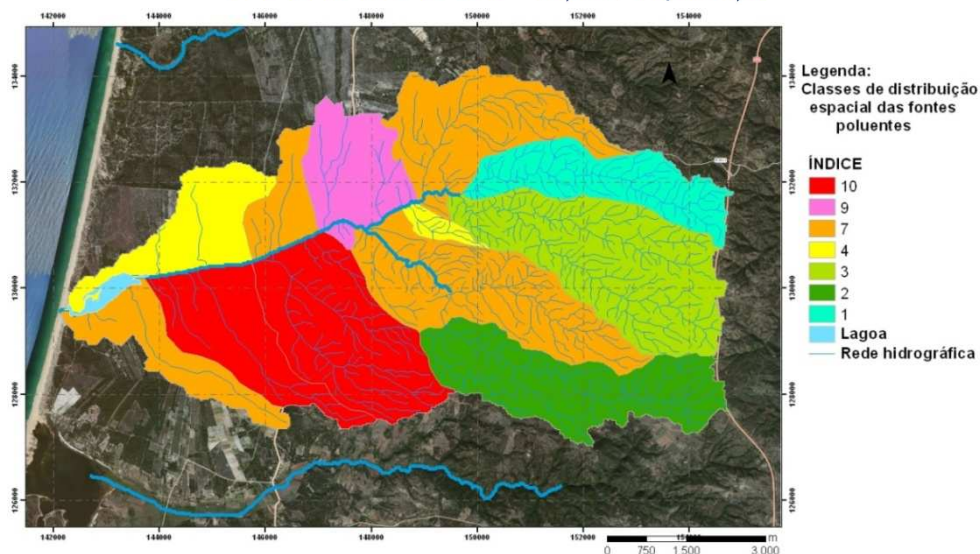


Fig. 10 – Classificação do parâmetro distribuição das fontes poluentes

- c) **Cargas poluentes** – serão prioritárias as áreas com fontes poluentes de maior carga poluente por parcela (fontes agrícolas) ou por instalação (pecuárias, fossas). No Quadro 8 é apresentada a classificação para os nitratos, devendo os limiares das classes serem ajustados consoante o tipo de poluente em análise. O zonamento obtido para a área de estudo apresenta-se na Fig. 11.

Quadro 8 – Classes de distribuição das cargas poluentes

Tipo de fonte poluente	Carga poluente	Índice
Agricultura	> 500 kg N	8
	200 – 500 kg N	7
	100 – 200 kg N	6
	70 – 100 kg N	5
	40 – 70 kg N	4
	20 – 40 kg N	3
	10 – 20 kg N	2
	< 10 kg N	1
Pecuária	> 700 kg N	8
	600 – 700 kg N	7
	500 – 600 kg N	6
	400 – 500 kg N	5
	300 – 400 kg N	4
	200 – 300 kg N	3
	100 – 200 kg N	2
	< 100 kg N	1
Urbana	> 1000 kg N	8
	500 – 1000 kg N	7
	100 – 500 kg N	6
	80 – 100 kg N	5
	60 – 80 kg N	4
	40 – 60 kg N	3
	20 – 40 kg N	2
	< 20 kg N	1

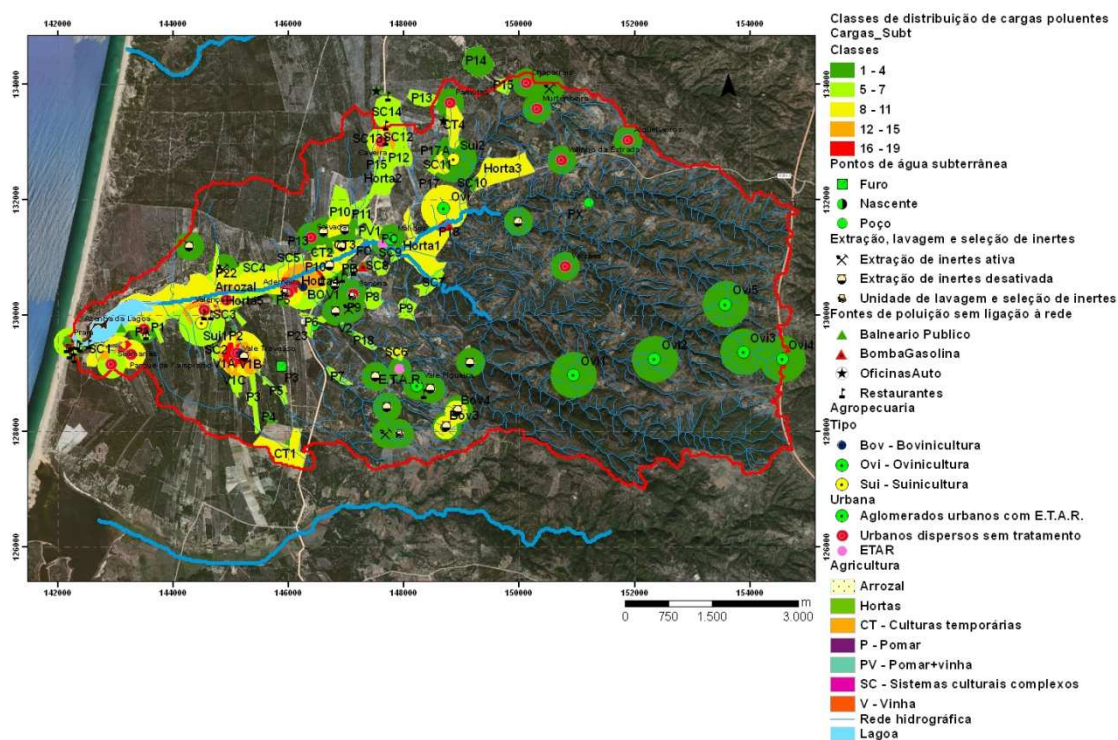


Fig. 11 – Classificação do parâmetro cargas poluentes

- d) **Tempos de percurso** – serão prioritárias as áreas associadas às fontes poluentes cujos tempos de percurso até atingirem zonas sensíveis (ex.: zonas de descarga do aquífero, poços e furos, etc.) seja o mais curto. Os valores atribuídos a este parâmetro constam do Quadro 9 e o respetivo zonamento para a área de estudo apresenta-se na Fig. 12.

Quadro 9 – Classes de tempos de percurso

Tempo de percurso	Índice
< 1 ano	7
1 – 3 anos (horizonte temporal 2015)	6
3 – 15 anos (horizonte temporal 2027)	5
15 – 25 anos	3
25 – 70 anos	2
> 70 anos	1



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

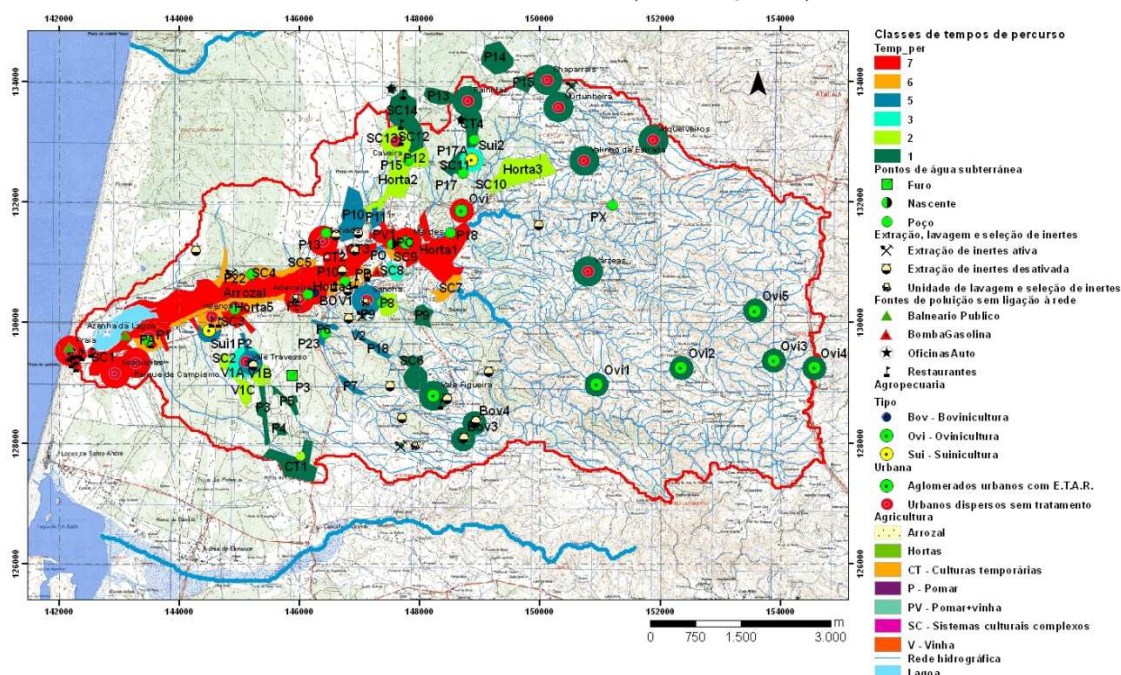


Fig. 12 – Classificação do parâmetro tempos de percurso

- e) **Índice de Facilidade de Infiltração** – serão prioritárias as zonas definidas como de índice de facilidade de infiltração (IFI) mais elevado, dado que nestas zonas o poluente atingirá o aquífero mais rapidamente e de forma menos atenuada. O índice IFI foi desenvolvido por Oliveira e Lobo Ferreira (2002), o qual define espacialmente as zonas mais favoráveis à infiltração, pela análise conjugada de 3 parâmetros, que se apresentam no Quadro 10. Para a área de estudo de Melides o zonamento deste índice é apresentado na Fig. 13.

Quadro 10 – Parâmetros IFI

Parâmetro	Classe	Índice
Tipo de solo	A	10
	B	8
	C	4
	D	1
Declive (%)	< 2	10
	2 – 6	9
	6 – 12	5
	12 – 18	3
	> 18	1

Parâmetro	Classe	Índice
AGUT (mm)	< 50	10
	51 – 100	9
	101 – 150	8
	151 – 200	7
	201 – 250	6
	251 – 300	5
	301 – 350	4



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

	351 – 400	3
	401 – 450	2
	> 450	1

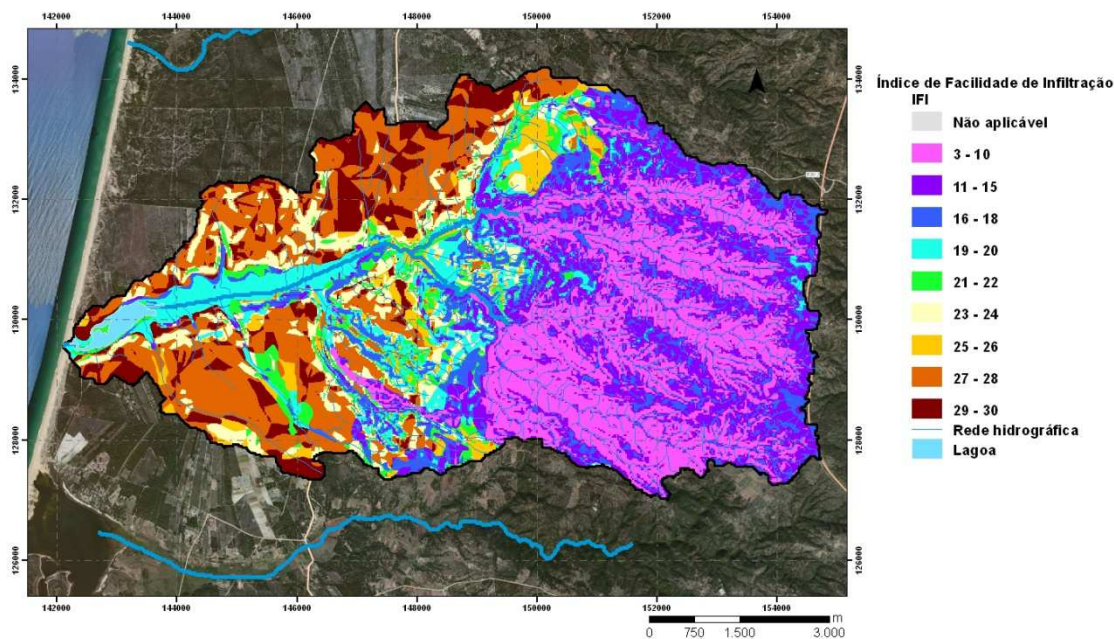


Fig. 13 – Classificação do parâmetro IFI

- f) **Zonas de descarga para o meio superficial** – parâmetro desenvolvido para os casos em que exista descargas dos aquíferos para as massas de água superficiais, condicionando o estado destas. Nestes casos, para recuperar as massas de água superficial, se estas forem o alvo da intervenção, é necessário intervir no aquífero. Assim, todas as zonas de descarga do meio subterrâneo para o superficial serão, à partida, prioritárias, embora o grau de prioridade varie com o tempo de percurso no aquífero e as cargas poluentes das fontes a que estas zonas estão associadas. Este parâmetro foi dividido em classes dependentes das cargas poluentes e tempos de percurso (Até às zonas de descarga) e os respetivos valores apresentam-se no Quadro 11. Os valores mais elevados correspondem às zonas de descarga associadas a fontes com grande carga poluente e curtos tempos de percurso pois são zonas de elevado risco para o meio hídrico superficial; os valores mais baixos atribuíram-se às zonas de não descarga ou de descarga associadas a tempos de percurso superiores a 70 anos. Para as zonas de descarga associadas a tempos de percurso compreendidos entre 25 e 70 anos atribuíram-se valores intermédios dado que nestes casos é mais favorável atuar sobre a área de descarga do que sobre a fonte, para se alcançar rapidamente um melhor estado do meio hídrico superficial. Para a área de estudo o zonamento em função deste parâmetro é apresentado na Fig. 14.

Quadro 11 – Classes de zonas de descarga para as águas superficiais

Tipos de zonas de descarga	Tempos de percurso	Carga poluente	Índice
Zonas de descarga do meio subterrâneo para o superficial	< 1 ano	> 500 kg N	10
		100 – 500 kg N	9
		50 – 100 kg N	8
		20 – 50 kg N	7



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

	1 – 3 anos	< 20 kg N	6
		> 300 kg N	9
		100 – 300 kg N	8
		50 – 100 kg N	7
		20 – 50 kg N	6
	3 – 15 anos	< 20 kg N	5
		> 500 kg N	8
		100 – 500 kg N	7
		50 – 100 kg N	6
		20 – 50 kg N	5
	15 – 25 anos	< 20 kg N	4
		> 500 kg N	6
		200 – 500 kg N	5
		150 – 200 kg N	4
		50 – 150 kg N	3
	25 – 70 anos	< 50 kg N	2
		> 500 kg N	7
		200 – 500 kg N	6
		150 – 200 kg N	5
		50 – 150 kg N	4
	> 70 anos	< 50 kg N	3
		Qualquer carga	2
		Qualquer carga	2
Zonas de não descarga	Não se aplica	0	1

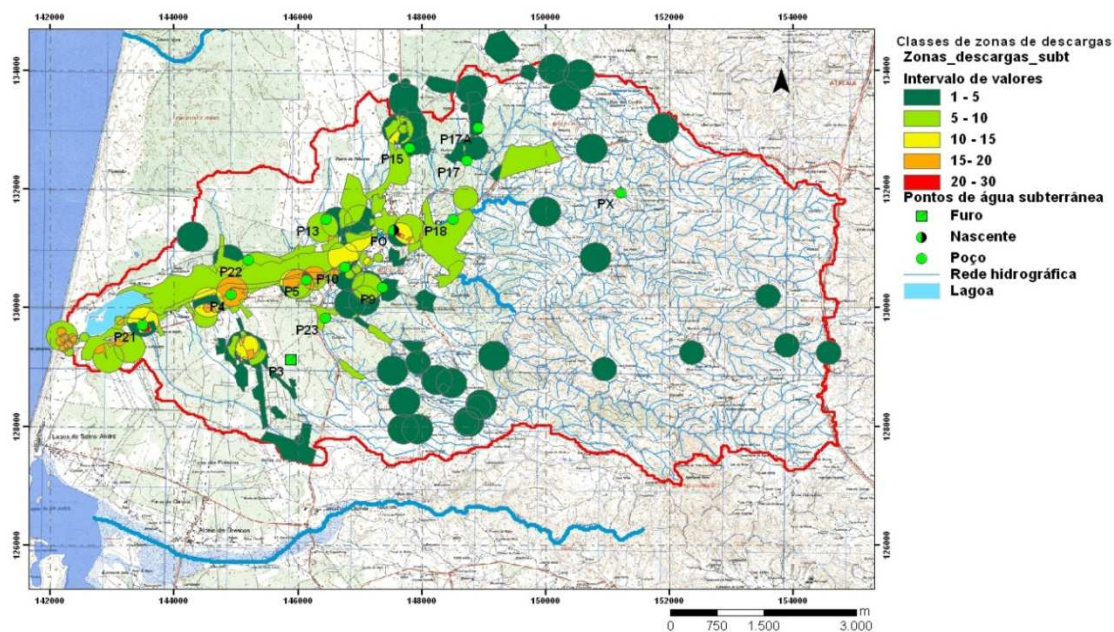


Fig. 14 – Classificação do parâmetro zonas de descarga

Finalmente o Índice de Prioridade de Intervenção, que definirá efetivamente quais as áreas a exigirem intervenção mais prioritária é calculado pela expressão abaixo, sendo as prioridades definidas pelos valores deste índice segundo o expresso no Quadro 12. Para a área de estudo o zonamento obtido de áreas prioritárias para recuperação dos meios hídricos superficiais apresenta-se na Fig. 15.



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

Quadro 12 – Classificação do índice de prioridade de intervenção no meio hídrico subterrâneo

Valor do índice	Prioridade de intervenção
189 – 270	Imediata
149 – 188	Urgente
112 – 148	Moderada
76 – 111	Baixa
24 – 75	Muito baixa

$$IP_{Subt} = 3 \times D_{Subt} + 2 \times Nf_{Subt} + 3 \times C_{Subt} + 3 \times TP_{Subt} + 4 \times IFI + 1 \times Zd_{Subt}$$

Onde:

IP_{Subt} = índice de prioridade de intervenção nas águas subterrâneas

D_{Subt} = parâmetro de profundidade ao nível de água

Nf_{Subt} = parâmetro da distribuição espacial das fontes poluentes

C_{Subt} = parâmetro das cargas poluentes

TP_{Subt} = parâmetro tempos de percurso

IFI = índice IFI

Zd_{Subt} = parâmetro das zonas de descarga para as águas superficiais

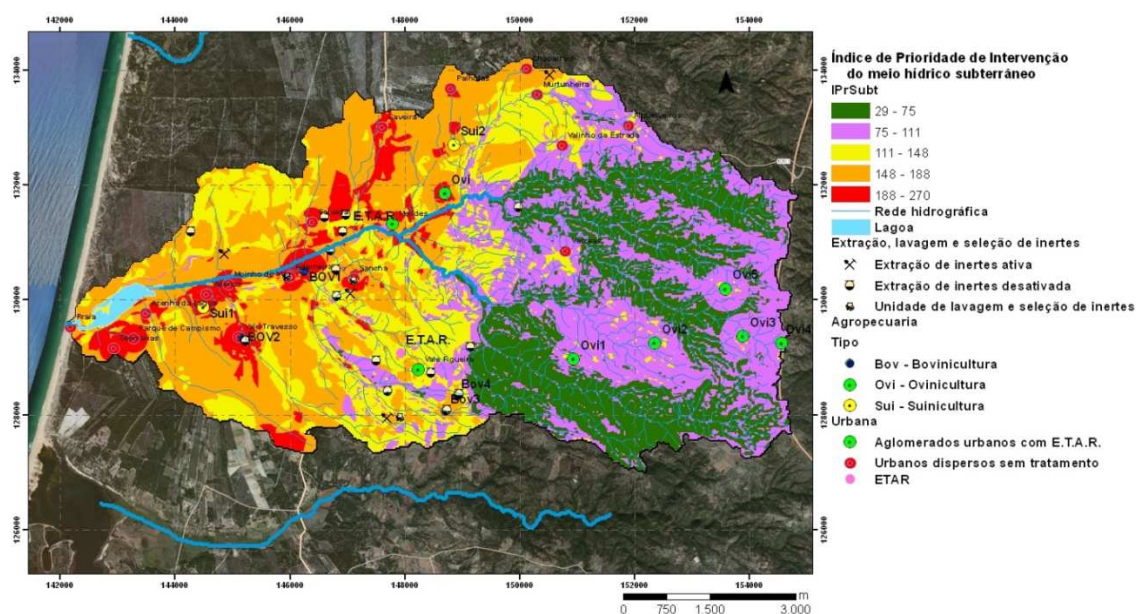


Fig. 15 – Índice de Prioridade de Intervenção no Meio Hídrico Subterrâneo

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES



Esta metodologia foi desenvolvida com vista à identificação e delimitação das áreas prioritárias para intervenção com vista à recuperação das massas de água para o estado Bom, no período mais curto de tempo (antes de 2027) e com a melhor otimização possível dos recursos alocados a essa intervenção. Esta recuperação pode ser necessária quer em massas de água superficiais quer em massas de água subterrâneas sendo por vezes necessário, para melhorar o estado duma massa de água, realizar intervenções nas massas de água que com ela estabelecem ligações hidráulicas, sejam estas superficiais ou subterrâneas.

Com vista à sua aplicação ao maior número possível de casos – os quais podem ser agrupados em (a) recuperação de corpos de águas superficiais, (b) recuperação de corpos de água subterrânea, (c) recuperação de corpos de água superficial e/ou subterrânea em ligação hidráulica entre si – foi esta metodologia desenvolvida em duas componentes independentes: (1) componente superficial, (2) componente subterrânea.

Quando a massa de águas a recuperar é superficial e não possui quaisquer ligações hidráulicas com o meio subterrâneo, aplica-se exclusivamente a componente superficial. Quando a massa de águas a recuperar é subterrânea sem ligações hidráulicas significativas aplica-se exclusivamente a componente subterrânea. Quando a massa de águas a recuperar tem ligações hidráulicas com o meio subterrâneo (no caso da massa a recuperar ser de água superficial) ou superficial (quando a massa de água a recuperar é subterrânea) ambas as componentes da metodologia devem ser usadas.

Cada componente tem o seu Índice de prioridade de intervenção independente: (1) índice de prioridade de intervenção para componente superficial, o qual classifica as áreas envolventes do corpo de água superficial a recuperar em distintos graus de prioridade para intervenção; (2) índice de intervenção para a componente subterrânea, o qual faz uma classificação similar de prioridade para as áreas sitas acima e na envolvente imediata dos limites do aquífero a intervencionar, sendo as áreas limítrofes consideradas apenas quando o aquífero recebe contribuições externas à sua área.

Nesta fase do desenvolvimento da metodologia as situações que podem ser abordadas são:

1. Recuperação de massas de água superficial sofrendo descargas poluentes de origem exclusivamente superficial.
2. Recuperação de massas de água subterrânea sofrendo descargas de poluentes diretamente sobre a sua superfície (sem contribuições a partir de corpos de água superficial).
3. Recuperação de massas de águas superficiais sofrendo descargas poluentes de origem superficial + descargas poluentes providas do meio subterrâneo. O presente caso de estudo (bacia hidrográfica de Melides) inclui-se nesta categoria.

Está atualmente em desenvolvimento a aplicação desta metodologia às seguintes situações de recuperação de massas de águas subterrâneas com ligação hidráulica a outras massas de água, sejam estas superficiais ou subterrâneas:

- (1) Aquíferos em ligação hidráulica por via apenas de descargas subterrâneas (ex.: aquíferos superiores com drenância para aquíferos inferiores ou o caso inverso, como seja o devido a inversão dos potenciais hidráulicos por sobre-exploração do aquífero superior);
- (2) Aquíferos em ligação hidráulica através de corpos de água superficial (ex.: aquíferos que descarregam em ribeiras, as quais por sua vez se infiltram a jusante noutros aquíferos como é por exemplo o caso dos aquíferos Querença-Silves e Albufeira-Ribeira de Quarteira; cf. Monteiro et al., 2007);
- (3) Aquífero que recebe contribuições externas à sua área providas não de outros aquíferos mas de regiões dominadas por escoamento superficial. Nestes casos o escoamento superficial



11º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

direto vindo de montante infiltra-se total ou parcialmente quando atinge os aquíferos em questão (ex.: zonas de cabeceiras das ribeiras algarvias que descem da Serra para o aquífero Querença-Silves).

No que concerne à área de estudo, a metodologia identificou as seguintes áreas para intervenção prioritária: margem sul da Ribeira de Melides, núcleo de Vale Travesso e Vale Travesso-Outeiro, núcleo da Aderneira-Sancha-Palhota, margem norte da ribeira de Melides no sector de Alpendre, Carregueira e Moinho dos Ventos-Vale da Lagoa, núcleo de Melides. Como segunda prioridade de intervenção as áreas da margem norte da ribeira de Melides na zona dos campos de arroz e o núcleo da Saibreira. Foi ainda possível identificar dentro destas zonas as parcelas mais prioritárias:

- Margem sul da Lagoa – Arrozaís, Pomar P1, fossas do Parque de Campismo e Sesmarias.
- Núcleo de Vale Travesso e Vale Travesso-Outeiro – Vinha V1, Pomar P2, Sistema cultural misto SC3 e SC1, fossas de Vale Travesso, Moinho do Vau e Valença, bovinicultura BOV1 e suinicultura SUI1.
- Núcleo de Aderneira-Sancha-Palhota – Arrozaís, Pomar P10, Hortas, bovinicultura BOV2, fossas de Aderneira e Sancha.
- Núcleo de Melides – ETAR (essencialmente medidas de prevenção, e em particular prevenção de acidentes), Sistema cultural misto SC9.
- Margem norte da ribeira de Melides no sector de Alpendre, Carregueira e Moinho dos Ventos-Vale da Lagoa – Arrozaís.
- Áreas de intervenção prioritária de segunda fase: restante margem Norte da lagoa e ribeira de Melides – Arrozaís.
- Áreas de intervenção prioritária de segunda fase: núcleo da Saibreira – parcela PV, e secundariamente a horta CT3.

Destas fontes, considerando as cargas poluentes envolvidas e os tempos de percurso associados são de especial importância as intervenções sobre as fossas do Parque de Campismo e de Sesmarias, a bovinicultura BOV1, arrozaís, pomar P2 e Pomar + Vinha PV1.

AGRADECIMENTOS

O trabalho que se apresenta foi realizado no âmbito do projecto PTDC/AAC-AMB/105061/2008, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, a quem se agradece, e do estudo “Protecção e Gestão Sustentável Qualitativa dos Recursos Hídricos Subterrâneos”, do Plano de Investigação Programada do LNEC, quadriénio 2009/12.

Bibliografia:

- Leitão, T., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P., Vilhena, J., Almeida, A., Tomé, M., Pires, A.M. (2012). *Análise Integrada da Qualidade da Água e dos Ecossistemas na Bacia Hidrográfica da Ribeira de Melides*. Artigo apresentado ao 11.º Congresso da Água – Valorizar a água num contexto de incerteza, Porto, 6 a 8 de Fevereiro, pp. 15.
- Monteiro, J.P., Silva, J.M., Guerreiro, P., Martins, J., Reis, E. (2007). *Modelação de Relações entre Águas Superficiais e Subterrâneas nos Aquíferos do Algarve Central*. Artigo apresentado ao Seminários sobre Águas Subterrâneas, Lisboa, 1 e 2 Março, pp. 8.



Novo, M.E., Oliveira, L., Leitão, T., Oliveira, M.M., Lobo Ferreira, J.P. (2013a). *Metodologia para a Definição de Medidas de Intervenção para a Recuperação do Estado “Bom” do Meio Hídrico Superficial e Subterrâneo: o Caso de Estudo da Bacia Hidrográfica de Melides*. Artigo submetido ao 11º SILUSBA, Maputo, pp. 20 (**in press**).

Novo, M.E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P., Henriques, M.J. (2013b). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Relatório Temático: Estratégias e Medidas de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia de Melides (Quantidade e Qualidade Química e Biológica)*. LNEC, Lisboa, Relatório DHA/NAS, pp. 190 (**in press**).

Novo, M.E., Oliveira, L., (2013c). *Matrizes de Decisão como Ferramenta de Apoio à Selecção de Medidas de Recuperação do estado das Massas de Água*. 15 pp (**in press**).

Oliveira, L., Martins, T., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M., Novo, M.E., Leitão, T. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. 4º Relatório Temático – Contributos para o Desenvolvimento de Medidas para uma Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no Sul de Portugal*. LNEC, Lisboa, Relatório 153/2012-DHA/NAS, pp. 44.

Oliveira, L., Novo, M. E. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o Enquadramento das Medidas de Mitigação em Melides*. LNEC, Lisboa, Relatório 182/2011-DHA/NAS, pp. 35.