

## **ESTRATÉGIAS E MEDIDAS DE PLANEAMENTO REGIONAL PARA A ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA ÁGUA DOCE DAS ZONAS COSTEIRAS**

**Júlio F. Ferreira da Silva, Rui A. R. Ramos**

### **RESUMO**

Os efeitos das alterações climáticas, designadamente a subida do nível médio da superfície do mar e a redução dos valores médios dos caudais escoados superficialmente e nos aquíferos, irão provocar mudanças na quantidade e qualidade da água doce presente nas zonas costeiras. Neste trabalho, indicam-se estratégias e medidas de planeamento regional que poderão ajudar na adaptação e na mitigação daqueles eventuais efeitos nefastos. Preconiza-se que sejam realizados estudos à escala regional que envolvam conjuntamente as diversas origens e as múltiplas disposições da água nos meios hídricos. Tanto as origens como as descargas devem ser devidamente localizadas e controladas. Para preservar a qualidade da água doce poder-se-ão adoptar diversas medidas, desde o incremento da recarga, a adequada definição do número de captações, passando pela utilização racional da água até à determinação de programas operacionais para as extracções de água que, simultaneamente, controlem o fenómeno da intrusão salina.

### **1 INTRODUÇÃO**

Os principais problemas associados à gestão da água nas zonas costeiras têm tendência a agravar-se devido a episódios de variabilidade hidrológica e em consequência das alterações climáticas. Face às projecções avançadas por diversos cientistas para eventuais alterações climáticas (IPCCC, 2007) convém usar o conhecimento existente para, desde já, delinear estratégias e medidas de adaptação e de mitigação. Entretanto, qualquer que seja o valor da subida do nível médio da água do mar, se nada for feito, este fenómeno provocará o avanço para o continente da intrusão marinha e a subsequente redução das reservas de água doce subterrânea. Preconiza-se uma análise à escala regional que envolva as diversas origens, os diversos utilizadores de água e as diversas disposições nos meios hídricos, em especial aquelas que possam ser aproveitadas para incremento da recarga de aquíferos.

Nos aquíferos do litoral e nos estuários existe um equilíbrio dinâmico entre a água doce continental e a água salgada marinha. À subida do nível médio da superfície da água do mar e à redução, em termos de valores médios, da precipitação e do escoamento corresponderá, inevitavelmente, o avanço da água salobra / salgada para zonas antes ocupadas pela água doce. As acções preventivas que evitem a poluição salina revelam-se racionais e economicamente vantajosas, dado que a reabilitação dos sistemas hídricos afectados é um processo dispendioso, complicado e moroso.

Para preservar a qualidade da água doce disponível numa região costeira poder-se-á adoptar diversas medidas, desde a adequada definição do conjunto de origens dos sistemas de abastecimento de água, passando pela definição de políticas e programas operacionais

para a utilização racional da água, pela determinação da quantidade máxima permitida às extracções de água doce, até ao incremento da recarga, etc. Cada um destes procedimentos apresenta características próprias, o que proporciona um leque de eventuais soluções, sendo necessário proceder à selecção dos mais apropriados às características específicas do caso real em análise. A extracção de água salobra poderá ser economicamente interessante, no entanto esta medida deve ser suportada em modelos de gestão que simulem o comportamento do aquífero e regulem as extracções para que a intrusão salina seja mantida sob controlo. As águas pluviais e residuais tratadas poderão ser conduzidas para utilizações que o permitam, no entanto tal medida deverá ser acompanhada pela monitorização dos eventuais efeitos nos aquíferos. Todas as medidas devem ser apoiadas em modelos de simulação dos sistemas hídricos e em modelos de gestão que incluam técnicas matemáticas de procura das melhores soluções.

Os planeadores e engenheiros de recursos hídricos devem examinar cuidadosamente o número de captações necessário, os respectivos locais de implantação e as quantidades a extrair em cada um, para que seja garantida a solicitação de água e maximizado o resultado económico. Estas decisões poderão ser melhor fundamentadas recorrendo a um conjunto de ferramentas de optimização e de simulação que, interligadas, procuram as melhores soluções e antecipam o comportamento dos sistemas hídricos envolvidos.

Recentemente surgiram diversas publicações de estudos sobre os efeitos das alterações climáticas nos sistemas hídricos de regiões costeiras. O modelo desenvolvido por Ranjan *et al.* (2006) simula a redução de disponibilidade de água doce subterrânea em aquíferos costeiros face às alterações climáticas e ao uso do solo. As análises desenvolvidas evidenciam que os resultados do modelo são muito sensíveis a alterações na condutividade hidráulica e na recarga de aquíferos. Scibek *et al.* (2007) usam três cenários climáticos para estimar os impactos futuros das alterações climáticas sobre as águas subterrâneas e suas interacções com águas superficiais no aquífero livre Grand Forks no centro-sul da Colúmbia Britânica, Canada. Ferreira da Silva e Haie (2000) caracterizam diversas medidas para o controlo do fenómeno da intrusão salina. Santos *et al.* (2002 e 2006) reúnem diversos trabalhos sobre as alterações climáticas, incluindo cenários dos seus efeitos nos recursos hídricos de Portugal. Reichard, *et al.* (2005) aplica um modelo de optimização-simulação para o controlo da intrusão marinha no litoral de Los Angeles que inclui duas opções de gestão: o incremento da recarga através da injeção em poços e o recurso a água de superfície para substituir as extracções do aquífero. Em Ferreira da Silva (2006a e b) caracteriza-se de forma teórica o problema da gestão de aquíferos do litoral face às alterações climáticas e aplica-se o modelo de gestão apresentado a um aquífero genérico. Em Ferreira da Silva (2007) preconiza-se o incremento da recarga como medida mitigadora da intrusão marinha face a cenários de alterações climáticas. Ferreira da Silva (2008) apresenta os fundamentos técnicos de políticas para a gestão da água disponível nas zonas costeiras. Ferreira da Silva *et al.* (2009) quantificam os efeitos das alterações climáticas nas águas subterrâneas do litoral de Viana do Castelo - Portugal.

## **2 PRINCIPAIS EFEITOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA GESTÃO DA ÁGUA DAS ZONAS COSTEIRAS**

Os principais efeitos das alterações climáticas nos sistemas hídricos de zonas costeiras relacionam-se com a eventual subida do nível médio da superfície do mar, com redução do valor médio da precipitação e dos escoamentos superficial e subterrâneo, com o agravamento dos fenómenos hidrológicos extremos, com o aumento da temperatura da

água nas origens, com a intrusão salina nos aquíferos do litoral e nos estuários e, subsequentemente, com a redução da qualidade e da disponibilidade da água doce, com o incremento das solicitações e a sua elevada sazonalidade. Estas mudanças constituem um problema que é necessário estudar para que se possa antever o comportamento dos sistemas hídricos e projectar medidas de adaptação e de mitigação.

A água doce disponível nos aquíferos costeiros e nos estuários mantém-se em equilíbrio dinâmico com a água salgada do mar. Os efeitos das mudanças climáticas provocam a alteração dos equilíbrios iniciais, levando a uma nova posição da interface água doce / água salgada. Qualquer que seja o procedimento de controlo da intrusão salina ele implicará custos que têm de ser pagos para que os equilíbrios sejam mantidos e não haja reflexos negativos em termos ambientais e sociais. Nestas circunstâncias, é necessário estabelecer um plano para a utilização regrada da água disponível na região e para tal é indispensável desenvolver estudos para a caracterização dos sistemas hídricos e implementar a sua monitorização para que seja possível acompanhar a evolução das quantidades e da qualidade ao longo do tempo. Na análise das alternativas de gestão é necessário considerar a quantidade disponível em todas as origens, a qualidade da água e a sua evolução no tempo, já que qualquer procedimento que reduza os caudais lançados no mar implica a alteração do balanço de sais e o incremento da salinidade. Esta questão é particularmente importante quando as zonas costeiras são áreas agrícolas.

O planeamento e a gestão dos sistemas hídricos costeiros devem definir um conjunto de regras para o licenciamento de captações e caracterizar os procedimentos para a exploração, para que se mantenha sob controlo a qualidade da água na origem e os equilíbrios naturais.

Os princípios orientadores da gestão racional e otimizada aconselham a utilização da toda a água doce disponível nas zonas costeiras. Uma adequada gestão de recursos hídricos costeiros exige uma política que considere global e integradamente todas as origens e utilizações e suas interacções. Uma gestão quantitativa sustentável dos recursos hídricos sujeitos a fenómenos de salinização, deve garantir a disponibilidade a longo prazo de água doce e garantir que as origens não sejam excessivamente exploradas para impedir alterações irreversíveis no volume e na qualidade e evitar a deterioração dos ecossistemas da região.

O fenómeno da intrusão salina nos aquíferos costeiros apresenta uma evolução lenta e como se processa no subsolo, não havendo redes de monitorização, os seus efeitos só são sentidos quando as captações já estão afectadas. Se os organismos encarregues do planeamento e gestão de recursos hídricos não estiverem atentos à eventualidade da ocorrência da intrusão salina e não forem adoptadas medidas para o acompanhamento e prevenção contra a degradação da qualidade da água, então as acções correctivas e de reabilitação revelar-se-ão difíceis, demoradas, onerosas e responsáveis por grandes transtornos aos diversos utilizadores. Assim, a gestão qualitativa sustentável deve proteger e preservar os aquíferos em situação de risco de poluição salina e adoptar medidas para a melhoria progressiva da qualidade numa perspectiva de longo prazo.

Nas figuras seguintes mostramos as diversas componentes dos sistemas de utilização da água em zonas costeiras e evidenciamos a necessidade da adopção duma perspectiva regional para o aproveitamento da água disponível que contribua para o incremento das zonas de infiltração e de recarga e, subsequentemente, que impeça o avanço da intrusão

salina face à eventual subida do nível médio da superfície do mar e à redução da precipitação em termos médios.

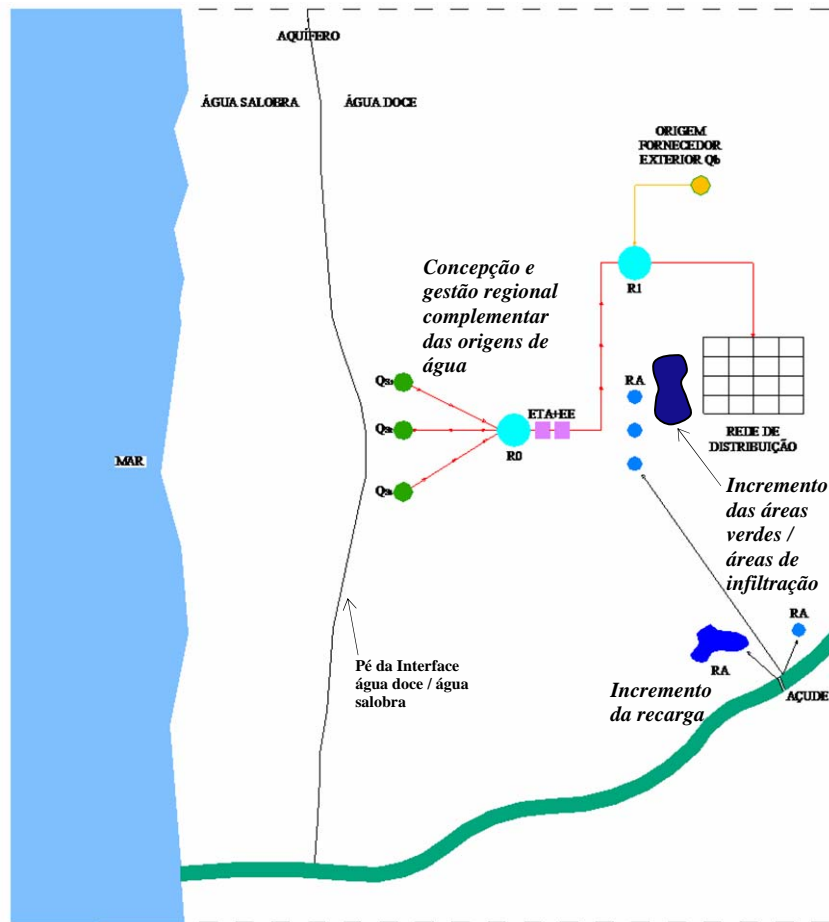


Fig. 1 Esquema de infra-estruturas de gestão da água em regiões costeiras

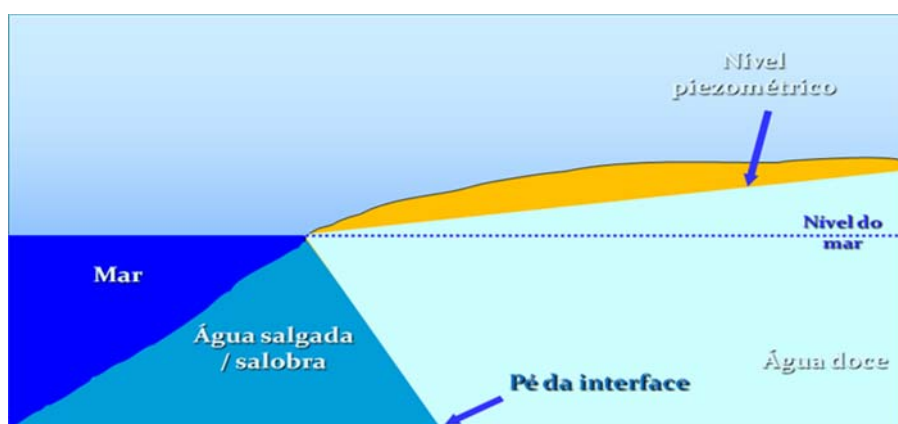


Fig. 2 Corte esquemático de aquífero costeiro

Os principais efeitos das alterações climáticas nos sistemas hídricos de zonas costeiras encontram-se sumarizados na figura seguinte:

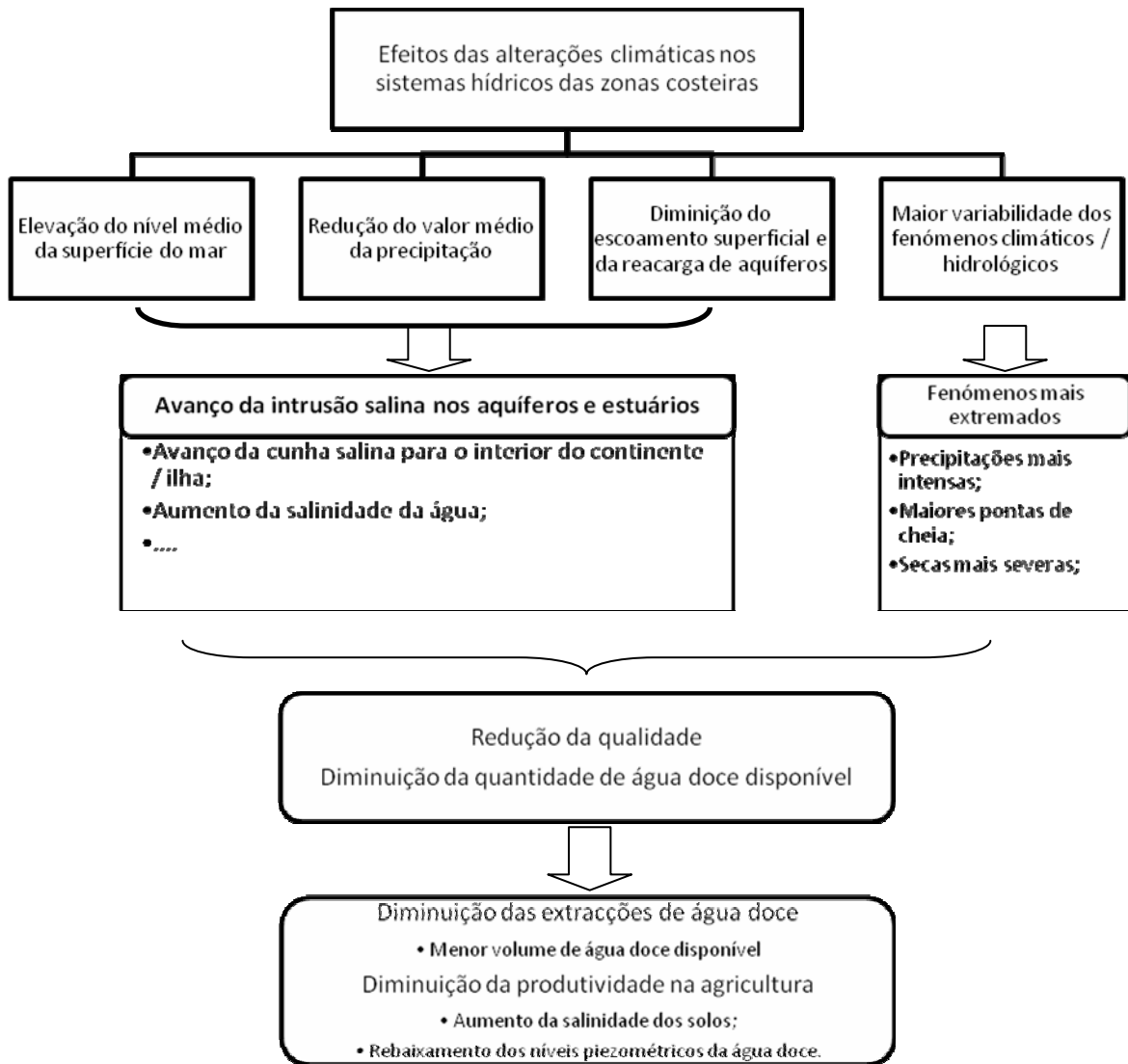


Fig. 3 Efeitos das alterações climáticas na água disponível numa região costeira

Os diversos efeitos das alterações climáticas nos sistemas hídricos de regiões costeiras poderão culminar na diminuição da quantidade de água doce disponível, no aumento da salinidade, ou seja na redução da qualidade o que terá consequências no abastecimento de água e, também, na produtividade da agricultura.

### 3 CONTRIBUTOS PARA ESTRATÉGIAS DE PLANEAMENTO REGIONAL

As políticas para o planeamento e gestão de sistemas hídricos em zonas costeiras eventualmente afectadas pelas alterações climáticas devem ser definidas com uma perspectiva global do sistema e integrando todas as componentes do ciclo de utilização da água. A gestão global à escala regional permitirá mais facilmente a adopção de medidas, tais como o incremento da recarga ou o aproveitamento de águas residuais tratadas, para perpetuar o volume de água doce na região e manter os equilíbrios naturais. Devem ser avaliadas todas as eventuais origens de água doce subterrâneas e de superfície da região e as alternativas de abastecimento através de fornecedores exteriores, que possam responder às diversas utilizações, distinguindo a quantidade e qualidade solicitadas ao longo do

tempo até ao horizonte de análise. A fundamentação das regras para a construção e implantação de captações ou do regime de exploração deve basear-se em estudos que caracterizem a hidrologia e hidrogeologia da região, na aplicação de modelos matemáticos / numéricos de simulação para projectar a evolução dos fenómenos, na utilização de técnicas de optimização que consideram aspectos económicos e as concentrações admissíveis na origem e na avaliação dos impactos ambientais.

Assim, para garantir a utilização sustentável dos sistemas hídricos costeiros é necessário implementar um adequado planeamento e uma exploração racional, preferencialmente optimizada, que tenha em atenção os fenómenos hidrológicos e hidrogeológicos e que considere, também, razões de natureza económica, ambiental e social.

A gestão racional e optimizada dos recursos hídricos em zonas costeiras obriga a que sejam desenvolvidas estratégias integradas, isto é, que sejam tratadas conjuntamente todas as componentes dos diversos sistemas de abastecimento de água, desde as distintas origens (subterrâneas, superficiais, incluindo aproveitamento da água das chuvas) até ao aproveitamento de águas residuais tratadas para a recarga dos aquíferos. Estes planos e subsequentes programas de actuação são especialmente reclamados em zonas sujeitas a penúria sazonal ou a dificuldades derivadas de secas prolongadas.

A definição dos locais de captação de água deve, também, ser uma parcela das políticas integradas do planeamento e gestão do território. O licenciamento de novas urbanizações, estradas e equipamentos sociais deve atender aos efeitos nefastos da impermeabilização no escoamento e na infiltração e a construção de zonas de lazer, como os campos de golfe, não deve degradar a qualidade da água subterrânea.

Hoje em dia, estão disponíveis modelos de gestão que procuram as políticas “óptimas” que satisfaçam os diversos utilizadores nas quantidades solicitadas ou aceitáveis, na qualidade que, no mínimo, respeite as normas em vigor e em adequadas condições técnicas. Na procura do óptimo devem entrar diversos critérios desde a minimização de custos de “produção” até ao controlo da qualidade da água na origem e aos impactos que a utilização da água salobra / salgada e a rejeição da salmoura proveniente do tratamento poderão provocar no ambiente e na agricultura.

Os aspectos ambientais, que até há bem pouco tempo eram frequentemente negligenciados, devem ser cuidadosamente considerados. Um dos aspectos a ter em atenção será a preservação das condições de vida das espécies vegetais e animais dos locais onde se procede ao lançamento da água salobra extraída e da salmoura residual proveniente dos processos de tratamento. As consequências sociais da deterioração da qualidade da água pela intrusão salina deverão ser, também, consideradas nos processos de decisão.

#### **4 MEDIDAS PARA ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

Para preservar a qualidade da água doce existente nas zonas costeiras face aos efeitos das eventuais alterações climáticas poder-se-ão adoptar diversas medidas desde a adequada definição do conjunto de origens dos sistemas de abastecimento de água, designadamente do seu número, da sua localização e da sua complementaridade, passando pela construção de barreiras subterrâneas que impeçam o avanço da água salgada e a descarga de água doce



no mar, até à definição de políticas para controlar a extracção de água doce, bombear água salgada, incrementar a recarga, etc.

O recurso à água captada dos furos abandonados, para usos menos exigentes em termos de qualidade (por exemplo: lavagem de ruas, rega de jardins), liberta outras origens, com água de melhor qualidade, para a distribuição domiciliária. A extracção de água salobra / salgada é um processo alternativo que pode ser interessante se existirem utilizações que admitam elevados teores de sais.

Cada um destes procedimentos apresenta vantagens e inconvenientes, pelo que é necessário o desenvolvimento de estudos específicos para a selecção dos mais apropriados às características específicas de cada caso real concreto.

Estas medidas necessitam de ser devidamente apoiadas em estudos, designadamente:

1. Planos e programas operacionais para a utilização racional da água em especial na agricultura;
2. Planos para incremento da utilização das águas pluviais e residuais tratadas para irrigação;
3. Modelos de simulação dos efeitos do incremento da recarga como medida de controlo e de mitigação da degradação (controlo da intrusão salina);
4. Planos de monitorização dos sistemas hídricos incluindo dos aquíferos e em especial se for incrementada a recarga com águas pluviais ou residuais tratadas;
5. Modelos hidrológicos que simulem o comportamento dos sistemas hídricos (superficiais e subterrâneos) face a fenómenos extremos (ondas de calor, secas, etc.) ou alterações climáticas;
6. Planeamento à escala regional da implantação das captações e dos respectivos regimes de funcionamento;
7. Modelos de gestão optimizada das diversas origens;
8. Modelos multi-critério de apoio à decisão para gestão conjuntiva das diversas origens e utilizadores.

As diversas medidas que poderão ser planeadas e implementadas à escala regional estão esquematizadas na figura seguinte:

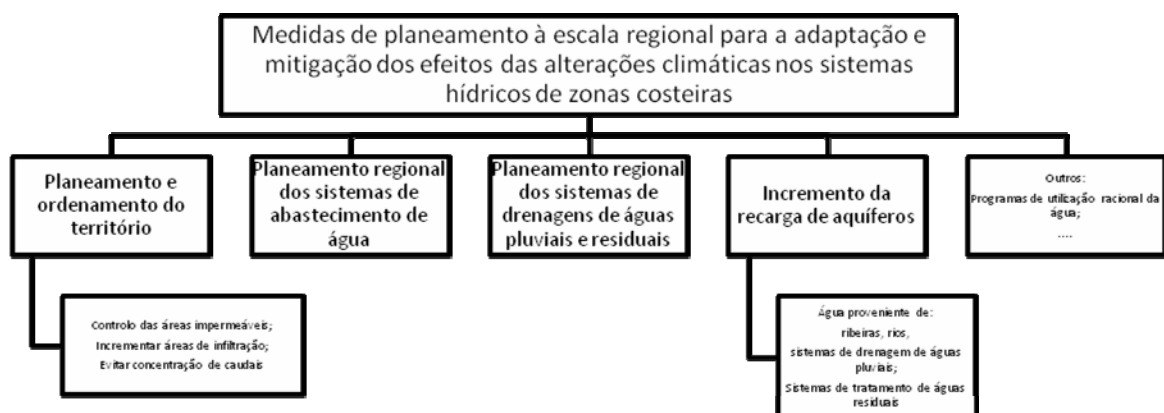


Fig. 4 Políticas regionais para a gestão da água disponível numa região costeira

#### **4.1 Planeamento e ordenamento do território**

São diversas as obras que podem alterar os escoamentos superficiais, a infiltração e, conseqüentemente, o regime de escoamento subterrâneo. Podem ser referidos, a título de exemplo, a excessiva impermeabilização de algumas urbanizações, os sistemas de drenagem de águas pluviais em zonas urbanas e em estradas, as caixas e colectores de águas residuais que admitem infiltrações, as drenagens de túneis, incluindo do metro, as drenagens para escavações e a constituição de aterros ou a drenagem de zonas húmidas como os pântanos, a conquista de terra ao mar, etc.

A crescente ocupação das áreas urbanas costeiras, designadamente por edificações, por estradas, zonas desportivas e de lazer, diminuem a infiltração, conduzem as águas pluviais, concentrando os caudais, para locais próximos do mar, contribuindo para a diminuição do volume de água doce subterrânea e conseqüentemente para o avanço a cunha salina.

Nas áreas costeiras tem-se assistido à construção de diversos campos de golfe que embora possam favorecer a infiltração podem, também, degradar a qualidade da água dos aquíferos.

As áreas verdes e os reservatórios temporários para diminuir os caudais pluviais de ponta poderão contribuir para o incremento da infiltração.

#### **4.2 Planeamento regional dos sistemas de abastecimento de água**

Na concepção dos sistema de abastecimento de água a zonas costeiras dever-se-á considerar o aproveitamento integral de todos recursos hídricos disponíveis. As captações subterrâneas e superficiais deverão ser concebidas e dimensionadas para funcionarem de forma complementar. O abastecimento através de fornecedores com origens externas poderá, também, ser incluído.

Em geral, é fácil captar água nos aquíferos costeiros. Esta origem possuindo água de boa qualidade exige um processo de tratamento simples, o que acarreta custos de “produção” de água potável relativamente reduzidos.

Os sistemas aquíferos devem ser considerados, também, como uma reserva estratégica de água doce, no entanto, para que as captações podem ser activadas em situação de emergência deverão estar continuamente operacionais.

As explorações agrícolas apresentam normalmente baixos rendimentos na utilização da água. A crescente captação de águas doces subterrâneas junto ao mar poderá levar ao avanço da cunha salina e ao aumento da salinização dos solos com os, subsequentes, reflexos negativos na produtividade das culturas.

A procura de origens exteriores a um aquífero potencialmente sujeito à salinização e a subsequente construção de novos sistemas de abastecimento de água tem sido uma das medidas mais adoptadas. São conhecidas diversos empreendimentos que recorreram a origens superficiais, à construção de barragens, de reservas estratégicas de água bruta, de sofisticadas estações de tratamento, de reservatórios de água tratada e de extensos sistemas adutores. Em consequência, tem-se assistido ao abandono das captações de águas subterrâneas existentes. As transferências inter-regionais de grandes quantidades de água



para abastecimento domiciliário ou para irrigação pode causar problemas nos ecossistemas da zona de captação.

### **4.3 Planeamento regional dos sistemas de drenagem e tratamento de águas pluviais e residuais**

Os sistemas de drenagens de águas pluviais de zonas residenciais ou de estradas podem provocar alterações no escoamento superficial e na infiltração, pelo que devem ser concebidos para não diminuírem o volume de água doce dos aquíferos e, conseqüentemente, agravarem a poluição salina.

Os sistemas de drenagem podem ser concebidos para contribuir para o incremento da infiltração. Assim, deverão ser preconizadas bacias de retenção para armazenar a água das chuvadas que posteriormente pode ser utilizada para infiltração. Os locais de rejeição devem ser definidos depois dos estudos hidrológicos e hidrogeológicos indicarem as zonas mais favoráveis.

Na selecção do local de implantação das estações de tratamento deverá entrar, também, como factor de decisão os locais de utilização da água tratada. Esta água poderá ser empregue, por exemplo, na rega de jardins, na irrigação agrícola ou na recarga de aquíferos.

### **4.4 Incremento da recarga**

O incremento da recarga contribui para o aumento do volume de água doce nos aquíferos e conseqüentemente para o controlo da intrusão salina. Algumas medidas podem ser facilmente concretizáveis, por exemplo as técnicas agrícolas que facilitam a infiltração, no entanto outras acções poderão obrigar à realização de obras vultuosas e a custos elevados na operação do sistema de adução de água.

A recarga natural pode ser favorecida por uma apropriada utilização da terra (vegetação natural e selecção das culturas) pelas práticas adequadas de manejo do solo (a orientação dos sulcos do arado e os terraços ou socialcos evitam o enxurro) e pela construção de açudes ou barragens. Todas estas técnicas intensificam a infiltração e evitam a erosão.

Se na bacia hidrográfica existe água disponível, mas esta não apresenta a qualidade adequada a algumas utilizações ou se o caudal não está regularizado, então poderá ser vantajoso implementar a recarga artificial. A recarga poderá ser concebida como uma operação do processo de tratamento da água, por infiltração no solo, e como um meio para estabelecer uma reserva. O armazenamento de água subterrânea poderá apresentar vantagens face aos reservatórios de superfície devido ao elevado custo das barragens e à excessiva evaporação que ocorre nas albufeiras. A recarga artificial não deve ser vista apenas como um processo de reabilitação mas sim como uma componente das políticas racionais para a gestão contínua dos recursos hídricos costeiros. Van Dam (1999) relata que a recarga artificial de aquíferos costeiros foi considerada com uma dupla função: de controlo da interface água doce / água salgada e como uma operação do processo de tratamento da água. Esta medida permite o incremento da extracção de água doce de forma sustentada, o controlo dos níveis piezométricos, inclusive por razões ambientais, a manutenção de uma reserva estratégica de água doce para responder a eventuais emergências e a constituição de uma barreira contra a invasão da água salgada.

Sendo a recarga efectuada com água de qualidade apropriada à posterior utilização e desde que não tenha impactos ambientais nefastos, devidamente comprovados por um acompanhamento adequado, este método pode constituir uma técnica economicamente viável. As medidas de controlo são essenciais para garantir que não será causado qualquer dano irreversível aos sistemas aquíferos ou aos ecossistemas que lhes estão afectos.

Têm surgido algumas reservas e oposição ao emprego da recarga artificial através da infiltração. As objecções relacionam-se com a ocupação de grandes áreas, com os consequentes impactos ambientais provocados pelas alterações do regime da superfície freática e com as modificações na qualidade da água. O sistema de recarga artificial deve ser cuidadosamente concebido para não provocar impactos indesejáveis. A extracção de grandes quantidades de água de um rio pode provocar a intrusão salina no estuário.

#### **4.5 Aproveitamento de águas residuais tratadas**

O aproveitamento das águas residuais tratadas deve ser incrementado em utilizações como a rega agrícola, de jardins ou de campos de golfe, sobretudo em zonas com escassez de água devido, por exemplo, a secas, a problemas de qualidade ou a consumos superiores à recarga natural. A reutilização na agricultura constitui o domínio de aplicação preferencial e pode revelar-se como um benefício, dado que disponibiliza água e ainda nutrientes.

Desde que a rejeição de águas residuais pelas estações de tratamento se processe de acordo com as normas em vigor e com a qualidade necessária à reutilização, esta medida pode contribuir significativamente para a redução da captação de água doce. As estações de tratamento de águas residuais (ETARs) localizadas em regiões sujeitas a penúria deverão desde logo ser concebidas para que as suas rejeições sejam reutilizadas. Na implantação das ETARs deverá entrar também como factor de decisão o local de utilização dos efluentes. Este fornecimento de água residual tratada deverá ser económica e tecnicamente viável e um processo seguro, pelo que deverá possuir um adequado sistema de supervisão para comprovar o seu desempenho e esclarecer sobre a ausência de riscos para a saúde pública e para o meio ambiente. De acordo com Marecos do Monte (1996) o aproveitamento de águas residuais tratadas para rega representa significativos benefícios técnicos, ambientais e sócio-económicos.

### **5 CONCLUSÕES**

Para fazer face aos eventuais efeitos nefastos das alterações climáticas na água doce existente nas zonas costeiras, os princípios elementares de gestão de recursos limitados recomendam o aproveitamento de toda a água disponível na região. O planeamento e a gestão à escala regional é a melhor via para a resolução dos eventuais problemas de forma racional e sustentável. Uma das principais componentes dessa estratégia global relaciona-se com o planeamento regional dos sistemas de abastecimento de água que inclua de forma complementar as diversas origens, ficando assim reforçada a segurança na continuidade do serviço face a fenómenos extremos como ondas de calor ou secas prolongadas. Uma das acções que tem sido implementada em regiões com grandes solicitações de água é o incremento da recarga que pode ser realizado de forma natural (nas áreas verdes e espelhos de água) ou artificial através da injeção de água em furos ou em campos de infiltração com água de superfície ou fazendo o aproveitamento de águas pluviais e residuais tratadas.

O planeamento regional da água disponível deve obrigatoriamente incluir programas para a utilização racional deste bem precioso. Sendo a agricultura responsável pela maioria das utilizações de água, então devem ser incrementadas medidas de boa prática agrícola, em especial as que conduzam à redução do desperdício e à reutilização da água na rega.

Devem ser multiplicados os exemplos de utilização de águas pluviais e residuais tratadas em actividades que o permitam, como a agricultura e a irrigação de campos de golfe. Tal medida deve ser monitorizada e modelada para que seja evitada a degradação da qualidade da água nos aquíferos.

Sendo, em geral, reduzido o custo de “produção” de água para abastecimento a partir das origens implantadas em aquíferos do litoral, então é racional a manutenção do maior número de captações, com o funcionamento definido por modelos de optimização-simulação que determinam as quantidades máximas a extrair, mantendo sob controlo a qualidade da água.

Devem ser procuradas origens alternativas, designadamente a extracção de água salobra, no entanto devem ser realizados estudos técnicos e económicos que garantam a viabilidade destas soluções e o controlo da qualidade da água, bem como a preservação dos equilíbrios ambientais. O tratamento de água salobra / salgada poderá ser a única forma de garantir o abastecimento domiciliário de água, por exemplo em ilhas, no entanto com o avanço da tecnologia é possível considerar esta medida como uma alternativa na análise económica.

As entidades de gestão à escala regional dos sistemas de abastecimento de água devem dispor de planos de contingência e de emergência para fazer face a fenómenos cada vez mais frequentes como as ondas de calor, as secas prologadas ou as alterações climáticas. Tais planos devem apoiar-se em estudos técnicos que conduzam a um modelo de gestão (composto por modelos de simulação dos sistemas hídricos e técnicas de optimização) que ajude no apoio à decisão.

Os efeitos das alterações climáticas nos sistemas hídricos costeiros poderão ser atenuados desde que antecipadamente seja usado o conhecimento existente para percebermos melhor os fenómenos naturais e alinhavarmos estratégias e medidas que possam ajudar na adaptação e na mitigação dos eventuais novos problemas ambientais.

## 5 REFERÊNCIAS

Custódio, Emilio (1994). Relaciones agua dulce-agua salada en las regiones costeras, in **Hidrologia Subterranea**, Sección 13, 1994;

Ferreira da Silva, Júlio F. e Haie, Naim (2000). Planeamento e Gestão Global de Recursos Hídricos Costeiros - Estratégias para a Prevenção e Controlo da Intrusão Salina, **5º Congresso da Água**, Lisboa, 25-29 Setembro 2000;

Ferreira da Silva, Júlio F. (2003). Gestão optimizada à escala regional de sistemas aquíferos potencialmente sujeitos à intrusão salina - Um modelo global para o uso sustentável da água em regiões costeira, Dissertação de doutoramento em Engenharia Civil - Hidráulica, Universidade do Minho, 2003;

Ferreira da Silva, Júlio F. e Ribeiro, Luís T. (2006a). Efeitos das alterações climáticas e da subida do nível do mar nos aquíferos costeiros, **8.º Congresso da Água**. Lx, Março 2006;

Ferreira da Silva, Júlio F., (2006b). Gestão otimizada da água doce disponível nas zonas costeiras face às alterações climáticas, **5.º Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da água**, Faro, 4-8 Dezembro;

Ferreira da Silva, Júlio F. (2007). Análise estocástico-determinística do incremento da recarga como medida mitigadora dos efeitos das alterações climáticas nos aquíferos costeiros. **IV Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**. Madeira. Funchal. 17 a 19 de Outubro;

Ferreira da Silva, Júlio F. (2008). Fundamentação técnica de políticas alternativas para a gestão da água disponível nas zonas costeiras. **9.º Congresso da água**, APRH, Estoril, 2 a 4 de Abril de 2008;

Ferreira da Silva, Júlio F., Lima, A. Silva e Moreira, J. G. (2009). Efeitos das alterações climáticas nas águas subterrâneas do litoral de Viana do Castelo. **1.º Seminário sobre Gestão de Bacias Hidrográficas – As bacias hidrográficas do Norte e as perspectivas futuras de gestão**. pp 85-94. FEUP, Porto, 6-7 Maio 2009 ISBN: 978-972-99991-8-5;

IPCC AR4 (2007). IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat at WMO, Geneva, Switzerland;

Marecos do Monte, M.<sup>a</sup> H. F. (1996). Contributo para a Utilização de Águas Residuais Tratadas para Irrigação em Portugal, Tese de doutoramento, ed. LNEC, Lisboa, 1996;

Ranjan, S. Priyantha, Kazama, So e Sawamoto, Masaki. (2006). Effects of climate and land use changes on groundwater resources in coastal aquifers, **Journal of Environmental Management** 80, pp 25–35;

Reichard, Eric G. e Johnson, Theodore A. (2005) Assessment of Regional Management Strategies for Controlling Seawater Intrusion. **J. Water Resour. Plng. and Mgmt.** Volume 131, Issue 4, pp. 280-291, July/August 2005;

Santos, F. D., Forbes, K. e Moita, R. (2002). Climate change in Portugal scenarios, impacts and adaptation measures – **SIAM project**, Gradiva, Fundação Caloute Gulbenkian, FCT;

Santos, F. D. e Miranda, P. (2006). Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - **Projecto SIAM II**. Gradiva, Lisboa, 2006;

Scibek, Jacek, Allen, Diana M., Cannon, Alex J. e Whitfield, Paul H. (2007). Groundwater–surface water interaction under scenarios of climate change using a high-resolution transient groundwater model. **Journal of Hydrology**. Volume 333, Issues 2-4, 15 February 2007, pp 165-181;

Van Dam, J. C. (1999). Exploitation, Restoration and Management, Capítulo 4 in **Seawater Intrusion in Coastal Aquifers - Concepts, Methods and Practices** ed. J. Bear e outros, 1999, pp 73-125.