

# PLANEAMENTO E GESTÃO GLOBAL DE RECURSOS HÍDRICOS COSTEIROS

## Estratégias para a Prevenção e Controlo da Intrusão Salina

Júlio F. FERREIRA da SILVA

*Assistente do Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*

Naim HAIE

*Prof. Associado do Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*

### RESUMO

Em muitas zonas costeiras existem dificuldades na obtenção de água, no entanto os aquíferos lançam continuamente no mar grandes caudais de água doce. A extracção desregrada de água doce dos aquíferos, em quantidades superiores à recarga, cria condições para o avanço da intrusão salina. Neste trabalho apresentamos um conjunto de medidas que poderão integrar uma estratégia global para a prevenção e controlo da poluição salina em aquíferos. Concebemos estas acções como tarefas do planeamento e gestão de recursos hídricos costeiros.

As acções preventivas que evitem a poluição salina revelam-se racionais e economicamente vantajosas, dado que a reabilitação dos aquíferos afectados é um processo dispendioso, complicado e moroso.

Defendemos que os planos para a construção de captações e os programas de gestão devem ser concebidos à escala da região. Esta perspectiva global permite a inclusão dos diversos factores que condicionam o volume e a qualidade da água doce nos aquíferos. O aproveitamento da água doce que seria descarregada no mar pode ser realizado através da construção de captações devidamente concebidas e da sua adequada implantação. O aumento de volume de água doce nos aquíferos consegue-se adoptando regras que controlem a extracção, planeando correctamente os locais de descarga dos sistemas de drenagens e tratamento de águas pluviais e residuais, promovendo políticas para a utilização racional da água, incrementando a recarga com água de superfície ou águas residuais tratadas e implementando medidas que façam diminuir o volume de água salgada / salobra no aquífero, como a extracção dessa água, o seu tratamento e posterior utilização.

**Palavras-chave:** Planeamento e gestão de recursos hídricos, Intrusão salina, Optimização da Exploração de aquíferos.

## 1 - INTRODUÇÃO

A definição mais simples de intrusão salina descreve este fenómeno como a introdução de água salgada num sistema aquífero. Os aquíferos costeiros possuem em equilíbrio dinâmico a água salgada do mar e a água doce continental. A água doce pode deixar o aquífero por descarga através de afloramento ou pela extracção mecânica. Este equilíbrio é função do caudal de água doce que escoo para o mar. Se as quantidades de água doce extraídas nas captações forem superiores à recarga, então está criada uma situação de desequilíbrio que vai provocar a penetração da água salgada para o interior, progredindo de forma lenta mas contínua, atingindo progressivamente as captações mais afastadas do mar. Se os furos e poços forem implantados sobre as massas de água salgada pode produzir-se subidas de sais com a forma característica de cone.

As alterações climáticas poderão provocar a subida do nível do mar, situação que provocará intrusão salina e conseqüentemente a degradação da qualidade da água nas regiões costeiras.

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

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 os aquíferos não sejam excessivamente explorados para impedir alterações irreversíveis no volume e na qualidade e evitar a deterioração dos ecossistemas da região.

O fenómeno da intrusão salina 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, 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.

A exploração dos aquíferos costeiros é um problema que deve ser considerado no âmbito do planeamento e gestão de recursos hídricos à escala regional, onde devem ser considerados todos os factores que condicionam o volume e qualidade da água doce subterrânea. As políticas para o planeamento e gestão de recursos hídricos em zonas eventualmente afectadas pela intrusão salina devem ser definidas com uma perspectiva global do sistema e integrando todas as componentes do ciclo de utilização da água. 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 do fenómeno, na utilização de técnicas de optimização que consideram aspectos económicos e as concentrações admissíveis na origem e na avaliação dos impactos ambientais. 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 no aquífero e manter os equilíbrios naturais.

## **2 - PRINCÍPIOS BASE DA EXPLORAÇÃO DE AQUÍFEROS SUJEITOS À INTRUSÃO SALINA**

A poluição salina nos aquíferos pode ter diversas origens, entre as quais se encontram a intrusão marinha e a mistura com águas salgadas fósseis. A extracção da água doce que confronta com massas de água salobra / salgada deve ser precedida pela adopção de um conjunto de procedimentos por forma a que as captações não sejam afectadas pela intrusão salina. Estas medidas prévias relacionam-se com um adequado planeamento das captações e com a definição de um regime de exploração dos aquíferos que seja racional e sustentável.

Um aquífero costeiro sem exploração lança no mar grandes quantidades de água doce. A esta situação corresponde um equilíbrio natural entre a água doce continental e a água salgada do mar. Qualquer obra realizada com o objectivo de captar aquelas águas doces provoca a alteração das condições 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.

Como ao aumento da extracção de água doce subterrânea de aquíferos onde esteja, também, presente a água salgada, corresponde o avanço da cunha salina ou do cone salino sob as captações, então é necessário estabelecer um plano para a utilização regrada do aquífero e para tal é indispensável desenvolver estudos para a caracterização do aquífero e implementar a sua monitorização para que seja possível acompanhar a evolução do teor de sais ao longo do tempo. Na análise das alternativas de gestão é necessário considerar a quantidade disponível, 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 a água para recarga resulta de águas residuais tratadas ou provém de áreas agrícolas.

## **3 - PLANEAMENTO E GESTÃO GLOBAL DE RECURSOS HÍDRICOS COSTEIROS**

Para garantir a utilização sustentável de um aquífero costeiro é necessário implementar um adequado planeamento e uma exploração racional, preferencialmente optimizada, que tenha em atenção os processos hidrogeológicos e que considere, também, razões de natureza económica, ambiental e social.

A exploração de água doce em aquíferos costeiros deve ser considerada como uma componente da gestão global dos recursos hídricos. Os aquíferos costeiros são sistemas em equilíbrio dinâmico, isto é estão intrinsecamente dependentes dos regimes de exploração e de recarga, por natureza variáveis, e como tal devem ser analisados numa perspectiva integral. 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.

O melhor procedimento para se evitar os efeitos nefastos da salinização, envolve o conhecimento da situação actual, pelo que é conveniente recorrer à monitorização, e implica o emprego de metodologias de estudo que incluem ferramentas matemáticas / numéricas para projectar a evolução do fenómeno, conforme preconizado em FERREIRA da SILVA *et al.* (2000). Será, assim, possível detectar atempadamente os sinais de degradação da qualidade e actuar sobre as causas, entre as quais estarão previsivelmente a incorrecta implantação das captações e a exploração excessiva e desregada.

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

Da aplicação de modelos de gestão devem resultar as políticas "ótimas" 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 do processo de tratamento. As consequências sociais da deterioração da qualidade da água pela intrusão salina deverão ser, também, consideradas nos processos de decisão.

O controlo da qualidade da água num aquífero costeiro pode obrigar à imposição de limites para a extracção de água doce. As ferramentas de gestão, associados a modelos de simulação, podem introduzir como restrições as concentrações no aquífero, as cotas dos níveis piezométricos da água doce, os caudais máximos a extrair, etc. por forma a que seja possível definir uma política de desenvolvimento sustentável que respeite os equilíbrios naturais.

#### **4 - COMPONENTES DA ESTRATÉGIA GLOBAL PARA O CONTROLO DA INTRUSÃO SALINA**

Para definir correctamente a melhor estratégia para a exploração ou a reabilitação de aquíferos afectados pela salinização, será necessário caracterizar convenientemente as metas do projecto, designadamente será imprescindível o perfeito conhecimento: dos objectivos a atingir pela reabilitação em termos de caudais de extracção sustentáveis, da possibilidade legal de redistribuir as captações, do volume de água doce que deve estar permanentemente presente no aquífero, da política de reserva para emergências e para fazer face a flutuações da recarga e da extracção.

Para preservar a qualidade da água subterrânea ou reabilitar os aquíferos já sujeitos à intrusão salina poder-se-á 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 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. 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 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 estudo.

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

As obras de engenharia que requerem drenagens ou extracções de água quebram o equilíbrio água doce / água salgada e podem provocar o avanço da cunha salina ou a formação de cones salinos. São diversas as obras que podem alterar os escoamentos superficiais, a infiltração e consequentemente o regime de escoamento subterrâneo. Podem ser referidos a título de exemplo 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 impermeabilização das áreas urbanas costeiras e a ocupação de grandes áreas 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 consequentemente 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.

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

Na concepção dos sistemas 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.

Os sistemas aquíferos devem ser considerados também como uma reserva estratégica de água doce. Esta origem possuindo água de boa qualidade exige um processo de tratamento simples, o que acarreta custos de "produção" de água potável relativamente reduzidos. O planeamento regional dos sistemas de abastecimento de água permite a definição de medidas que previnam a intrusão salina.

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.

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 aos subseqüentes reflexos negativos na produtividade das culturas.

A localização de poços ou furos de grande caudal junto ao mar poderia ser tentadora. Em princípio, quanto mais próximas estiverem as captações dos utilizadores menores serão os investimentos em adutoras e mais reduzidos os custos de exploração. No entanto, é indispensável pensar no investimento com um horizonte distante, o que obriga à realização de estudos de planeamento onde são indispensáveis as simulações da evolução da intrusão marinha. Estes cuidados são indispensáveis já que a espessura de água doce na linha de costa é reduzida. Uma alternativa racional para a recolha da água doce que seria lançada no mar, seria através de colectores costeiros ou de numerosos poços de pequeno caudal.

A implantação de furos e poços em locais mais afastados do mar é mais segura dado que, devido à cunha salina, a altura de água doce no aquífero aumenta e reduz-se o risco de extracção de água salobra. No entanto, o afastamento das captações para o interior provoca uma diminuição da capacidade de reserva subterrânea.

As alternativas colocam-se entre um estratagema preocupado apenas com a extracção fácil e como tal imediatista e de horizonte curto, já que o risco de salinização aumentará progressivamente com o tempo, ou entre uma estratégia global devidamente planeada que assegure o controlo permanente da qualidade da água no aquífero e consequentemente do "produto" distribuído.

A procura de origens exteriores ao aquífero 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 beber ou para irrigação pode causar problemas nos ecossistemas na 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 nos aquíferos e consequentemente agravarem a poluição salina. De facto, estes sistemas recolhem as águas pluviais conduzem-nas através dos colectores e descarregam-nas de forma concentrada em locais afastados e até próximos do mar, inviabilizando a infiltração para os aquíferos.

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

Na selecção do local de implantação das estações de tratamento deverá entrar 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.

Um dos efeitos da deposição de águas sem tratamento será a impermeabilização do leito de rios por colmatação, sobretudo em locais onde a montante sejam rejeitadas águas turvas ou sejam lançadas águas provenientes de explorações de minas ou de pedreiras. Esta impermeabilização poderá ter reflexos importantes na intrusão salina já que os cursos de água contribuem decisivamente para a recarga dos aquíferos.

### **4.4 - Programas para a utilização racional da água**

As principais medidas que podem ser implementadas visando a utilização racional da água e consequentemente a redução da extracção de água doce dos aquíferos são:

1. Redução de perdas, por exemplo evitando o transbordo de reservatórios, incrementando a vigilância sobre fugas e a manutenção das condutas para prevenir as rupturas;
2. Redução dos desperdícios na agricultura - implementação de boas práticas agrícolas;
3. Redução das utilizações, sobretudo pelos grandes consumidores - diminuir a rejeição de água na industria, incrementando o tratamento e posterior reutilização.

As zonas costeiras têm, habitualmente, elevada ocupação sazonal. São diversas as regiões do litoral com grande ocupação turística nos meses de férias, período em que o número de veraneantes pode triplicar ou quadruplicar a população residente. Nas regiões de intensa ocupação turística existem diversas actividades relacionadas com o lazer, como os parques aquáticos, as piscinas, os campos de golfe, que implicam grandes utilizações de água. Neste período sazonal os aquíferos são intensamente solicitados, o que pode agravar a intrusão salina dado que é no verão que a recarga é menor.

Uma forma de controlar as utilizações de água poderá ser a implementação de um regime tarifário sazonal e mesmo com distinção horárias de preços, conforme é praticado nos sistemas de distribuição de energia eléctrica.

Os programas para a utilização racional da água poderão incluir diversas acções como campanhas de informação junto do público em geral, mas sobretudo voltadas para os grandes utilizadores, como as unidades agrícolas e industriais. Será importante realçar a necessidade de poupar e, no caso da industria reutilizar a água, para que sejam evitadas situações de penúria, onde poderá ser imperioso a adopção de normas restritivas como a proibição de regas de jardins, lavagens de carros, etc.

#### **4.5 - Concepção das captações**

A extracção dos mananciais de água doce de um aquífero costeiro pode fazer-se recorrendo a captações de pequena profundidade e de pequeno caudal junto ao mar e a perfurações mais afastadas da linha de costa. Estas captações devem em conjunto reter os caudais que seriam lançados no mar e ser concebidas e dimensionadas para manterem a intrusão salina além de limites admissíveis.

A instalação de colectores paralelamente e junto ao mar permite a intersecção de grandes quantidades de água que seriam vertidas para o mar. Em alternativa poder-se-á recorrer a numerosas captações de pequena profundidade e pequeno caudal. Este tipo de captações permite o aumento das reservas no aquífero e consequentemente a segurança na continuidade do abastecimento. Na concepção e dimensionamento destas captações deve ser precavida a ascensão de sais, já que a água salgada fica imediatamente por baixo. A eventual degradação da qualidade provoca a perda de flexibilidade e de fiabilidade do serviço de abastecimento. Adoptando estas soluções o aquífero não suporta sobreexplorações temporais, especialmente em épocas secas, sem que o inerente processo de salinização provoque efeitos de difícil recuperação.

A análise da situação actual e o recurso a ferramentas de simulação e de optimização poderá ditar o abandono de algumas captações ou a sua redistribuição. Esta segunda hipótese pode ser recomendável para os sistemas aquíferos já sujeitos à intrusão salina motivada pela excessiva concentração das bombagens ou pela implantação demasiado próxima do mar. Este processo, de acordo com CUSTÓDIO (1994) apresenta os seguintes inconvenientes:

1. O abandono de captações e a construção de novos sistemas de abastecimento de água é um processo que implica investimentos elevados;
2. Os processos legais poderão ser complicados e demorados;
3. Pode não ser possível reduzir as descargas de água doce no mar.

#### **4.6 - Controlo da extracção de água doce**

Se a exploração for superior à recarga, então estão criadas as condições para a salinização da água progredir. Uma acção imediata poderá ser a diminuição dos caudais de extracção até que a interface regrida para a posição desejada. O regime de exploração deve ser controlado para que os limites da interface sejam respeitados. A redução da captação de água doce pode ser um motivo para que sejam implementados programas para a redução da procura ou para a utilização racional da água. Este procedimento tem como inconvenientes:

1. Perde-se para o mar a água doce indispensável para manter a posição definida para a interface;
2. O retrocesso da interface é lento o que pode obrigar a uma redução brusca da extracção;
3. Esta acção implica soluções alternativas para os sistemas de abastecimentos de água o que pode implicar custos elevados e demoras na implementação;
4. Não é fácil o processo legal para implementar um plano de diminuição das extracções.

#### **4.7 - Extracção e utilização de água salobra / salgada**

A água salobra ou salgada dos aquíferos costeiros ou das margens de estuários pode ser removida facilmente por bombagem, no entanto se a extracção for realizada exclusivamente como medida de controlo da intrusão salina, o empreendimento terá que contabilizar integralmente o custo do investimento e as despesas com a energia eléctrica, o que pode tornar o projecto inviável. Esta medida pode justificar-se em situações de intrusão salina já existente ou em locais onde seja necessário manter o escoamento de água para o mar para manter o balanço de sais na água doce.

A extracção da água salgada, eventualmente para utilizações onde sejam toleráveis os elevados teores de sais (exemplo: lavagem de ruas, rega de algumas culturas, arrefecimento), cria condições para o recuo da intrusão salina e para a viabilização económica.

O aproveitamento de água salobra / salgada pode implicar um custo adicional, já que obriga à aplicação de materiais mais resistentes nos equipamentos dos sistemas de abastecimento. A utilização da água salobra na agricultura tem tido sucesso, sobretudo em zonas semi-áridas como Israel ou o sul de Espanha. Estão disponíveis no mercado diversos sistemas que utilizam a rega gota a gota e um adequado controlo automatizado para regular as quantidades e a qualidade da água.

Em algumas zonas costeiras apesar da cunha salina ter atingido captações, estas continuaram em serviço, mas agora a água extraída é utilizada para outros fins.

No entanto, este procedimento apresenta as seguintes desvantagens:

1. Construindo de raiz a barreira de extracção isto implica um investimento elevado. Os encargos de exploração são também elevados;
2. A água extraída deve ser lançada em local onde não provoque impactos negativos, eventualmente no mar, o que poderá exigir um sistema de transporte, o que encarece a solução;
3. Perde-se sempre água doce que é bombeada simultaneamente com a água salgada.

#### **4.8 - Tratamento de água salobra / salgada**

A água salobra ou salgada só pode ser utilizada directamente em poucas actividades, obrigando a maioria das utilizações a um tratamento prévio. Este problema pode ser tecnicamente resolvido adoptando um qualquer dos processos existentes para a remoção de sais, entre os quais se encontra a osmose inversa. No entanto, qualquer que seja a tecnologia empregue, do tratamento resulta a concentração dos sais. As águas residuais, incluindo a salmoura, deverão merecer adequada atenção para não provocar qualquer impacto negativo no meio receptor. Caso possam ser lançadas no mar ou em estuário, poderão implicar custos adicionais com o sistema de transporte. Poderão, também, ser objecto de tratamento específico, incluindo utilizando plantas adaptadas a estes meios.

O tratamento de água salobra / água é por vezes a única forma de implementar um serviço de distribuição domiciliária de água, conforme acontece em algumas ilhas, por exemplo em Porto Santo. A obtenção de água "potável" a partir de uma origem com elevadas concentrações de sais implicam um acréscimo de encargos. No entanto, as tecnologias disponíveis para o tratamento de água salobra / salgada têm evoluído muito nos últimos anos, sobretudo as que recorrem a membranas, pelo que estão a disponibilizar água potável a preços não proibitivos. Em FERREIRA da SILVA (1998) caracteriza-se os custos de investimento e de operação de uma estação dessalinizadora por osmose inversa.

A alternativa imediatista ao tratamento de água é a corrida pela captação em camadas mais profundas, o que leva à realização de investimento para a execução dos furos e ao dispêndio de verbas acrescidas na exploração. São conhecidos relatos de casos em que a extracção desregulada conduziu ao aumento da poluição por má execução dos furos, ao porem camadas já afectadas em contacto com água de boa qualidade. Outras descrições revelam que foram explorados até à exaustão reservatórios subterrâneos profundos.

#### **4.9 - Incremento da recarga**

O incremento da recarga contribui para o aumento do volume de água doce nos aquíferos e consequentemente 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 socalcos 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.

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. Esta medida permite o incremento da extracção de água doce de forma sustentada, o controlo da superfície freática e 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.

A recarga de aquíferos freáticos pode realizar-se por infiltração usando canais, campos de recarga, etc. paralelos à linha de costa, ao passo que as águas subterrâneas confinadas só permitem a recarga através da injeção. A recarga pode ser permanente ou estabelecer-se numa base temporal limitada, por exemplo em zonas sujeitas a grandes variações sazonais na procura de água.

A água para recarga pode ter como origem as linhas de água, os sistemas de águas pluviais ou o aproveitamento de águas residuais com o grau de tratamento conveniente. Os aquíferos beneficiam em termos quantitativos, no entanto há que ter alguns cuidados com a qualidade da água, dado que por vezes estes sistemas de drenagem apresentam elevadas concentrações de poluentes, derivados da lavagem de ruas e das ligações clandestinas de águas residuais domésticas. Podem ser construídos alguns dispositivos de tratamento e implementadas algumas medidas para obviar estes eventuais problemas. Uma acção imediata será rejeitar as águas das primeiras chuvadas.

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 por forma a não provocar impactos indesejáveis. A extracção de grandes quantidades de água de um rio pode provocar a intrusão salina no estuário.

A recarga através da injeção de água em furos diminui com o tempo de operação, obrigando a frequentes operações de restabelecimento. É frequente que o nível da água nos poços seja superior ao terreno pelo que é indispensável uma adequada impermeabilização a fim de evitar as fugas para o exterior, o que podem provocar danos em construções vizinhas.

Os principais obstáculos à implementação da recarga são:

1. Exigindo a construção de poços ou furos o preço pode ser elevado;
2. É necessária água em quantidade suficiente, com a qualidade adequada e barata;
3. Os poços exigem limpezas frequentes para que seja mantida a capacidade de injeção;
4. A realização de campos ou de canais de infiltração pode ser difícil em zonas povoadas por ausência de áreas disponíveis ou pelo preço dos terrenos;
5. Não se consegue reduzir a descarga de água doce no mar;
6. O sistema de transporte da água para injeção pode apresentar um custo elevado.

As principais vantagens deste procedimento relacionam-se com a ausência de grandes limitações à extracção e com o aproveitamento de toda a capacidade de armazenamento do aquífero.

#### **4.10 - 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, bem como para recarga de aquíferos, 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.

#### **4.11 - Construção de barreiras subterrâneas**

Existem zonas costeiras que apresentam uma camada semipermeável que protege naturalmente os aquíferos contra a intrusão marinha. Se for possível a realização de uma barreira impermeável poder-se-á impedir a descarga da água doce no mar e evitar a penetração da cunha salina. Estas barreiras poderão ser realizadas com o emprego de pranchas estaca, camada de argila, injeção de cimento ou de substâncias betuminosas.

As principais desvantagens desta medida são:

1. Os custos de construção poderão ser elevados;
2. Em zonas sujeitas a movimentos do terreno ou sísmicos implicam custos de manutenção elevados;
3. O aumento da pressão da água salgada poderá afectar a barreira;
4. Só poderá ser efectiva em aquíferos de pequena profundidade.

Devido aos elevados investimentos as barreiras só poderão ser realizadas em zonas carênciadas, onde a água tenha um preço elevado. Embora seja fácil para a engenharia a caracterização em projecto destas obras, não são conhecidos relatos da sua concretização.

#### **4.12 - Construção de açudes e barragens**

A construção de açudes em locais apropriados, definidos pelos estudos hidrogeológicos, pode contribuir para o controlo da intrusão salina, dado que a acumulação de água facilita a infiltração. Os aproveitamentos hidroeléctricos, localizados junto de grandes centros consumidores do litoral, poderão contribuir para controlar a salinização a montante, no entanto só não agravarão o problema a jusante se o regime de descargas for definido para atender também a este aspecto. Infelizmente este aspecto não mereceu no passado a importância devida, pelo que hoje constatamos diversos casos onde com a construção de barragens contribuiu fortemente para a alteração significativa de habitats, levando muitas vezes à redução brusca, ou mesmo ao desaparecimento, de algumas espécies vegetais e animais.

## 5- DESCRIÇÃO DE MEDIDAS IMPLEMENTADAS PARA O CONTROLO DA INTRUSÃO SALINA

Depois de realizarmos o levantamento da situação actual da intrusão salina em Portugal, registado em FERREIRA DA SILVA (2000), e de consultarmos alguns técnicos especializados na execução de captações, não identificamos qualquer obra executada em Portugal com o propósito específico de limitar o avanço da água salgada. O comportamento comum caracteriza-se pelo abandono dos furos afectados e pela execução de novos em local mais afastado do mar. Não é conhecido qualquer programa específico concretizado para a reabilitação de aquíferos afectados pela poluição salina.

O aumento da salinização em alguns estuários provocou a degradação da qualidade da água captada no sub-leito de alguns rios. São exemplos disto as captações de Zebreiros que os S.M.A.S. do Porto possuem no rio Douro. Com a constituição da albufeira de Crestuma / Lever os drenos de captação foram afectados de tal modo que as entidades responsáveis decidiram construir de emergência a montante da barragem novos poços e respectivos sistemas adutores. Outra origem que foi afectada pelos problemas de salinização foi a captação do Marachão que serve Esposende. As captações de sub-leito são vulneráveis à poluição salina e não havendo qualquer remoção de sais no processo de tratamento a qualidade da água distribuída degradava-se de imediato. A resolução tradicional deste problema teve sempre uma perspectiva parcial e não regional. A solução mais frequente foi a construção de novas captações localizadas a montante das barragens e de extensos sistemas de transporte de água. As barragens foram construídas e o seu regime de descargas definido de tal forma que permite o avanço da salinização nos estuários e nos aquíferos adjacentes.

Um caso evidente de progressão da salinização ocorre em Portimão. Os documentos e elementos estatísticos dos SERVIÇOS MUNICIPALIZADOS DE PORTIMÃO (1999) relativos aos seus furos, indicam que a intrusão tem progressivamente avançado para o interior, agravando-se em especial nos períodos de seca. Este organismo chegou a desenvolver estudos para a implementação de recarga artificial através da injeção de água em furos. No entanto, estes trabalhos acabariam por não ser executados dado que as redes de distribuição deste concelho seriam abastecidas pelo sistema adutor do barlavento algarvio, com origem numa captação de superfície.

Na região do Algarve a concretização das obras relacionadas com os dois sistemas regionais de abastecimento de água público, pode levar a uma alteração na exploração das águas subterrâneas e eventualmente a um recuo da intrusão marinha.

A elaboração dos Planos de Bacia constitui uma excelente oportunidade para a caracterização dos aquíferos afectados pela poluição salina. O INSTITUTO DA ÁGUA (1998) no "Guia Para a Elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica", concretamente no item "3.5. Protecção contra as situações hidrológicas extremas" regista que: "De forma idêntica serão identificadas as situações hidrogeológicas extremas, incluindo a sobre-exploração dos aquíferos, a intrusão salina, a salinização das águas subterrâneas e a contaminação, e serão definidos os objectivos a alcançar, devidamente fundamentados."

A UNIÃO EUROPEIA (1998) estabelece que: "Os Estados-membros: (...) 3. Identificarão as massas de águas subterrâneas em que, em consequência da captação de água subterrânea, possam ocorrer intrusões salinas ou outras, e garantirão que sejam fornecidos pontos de monitorização suficientes para detectar a taxa de intrusão salina ou outra na massa de água subterrânea."

A recarga artificial é uma prática comum em alguns países da Europa. A Comissão da UNIÃO EUROPEIA (1993) decidiu apoiar a realização de diversas obras na planície de Argos que incluem "a construção de estações de bombagem, condutas em pressão e canais para a adução de água, bem como de reservatórios de restituição, com o objectivo de recarregar os lençóis freáticos".

No resto do mundo existem diversas obras onde foi adoptada a recarga artificial para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis e controlo da intrusão salina. São diversas e antigas as obras realizadas nos Estados Unidos da América, por exemplo na costa oeste nos aquíferos que

servem a Califórnia IZBICKI (1996). Existe mesmo um departamento oficial que disponibiliza na internet um formulário para a instrução de um processo para o estudo e a realização das eventuais obras para a implementação de barreiras hidráulicas de bombagem.

VAN DAM (1999) refere que esta medida tem sido bem sucedida na Holanda e em Israel.

No Brasil o Projecto "Água boa" tem implementado a instalação de dessalinizadoras para melhorar o abastecimento de água a populações carênciadas do nordeste.

## **6 - CONCLUSÕES**

A extracção desregada de água doce em aquíferos costeiros, para responder às crescentes utilizações, designadamente na agricultura, têm levado a corridas por perfurações cada vez mais profundas às quais correspondem maiores investimentos, elevados custos de exploração e inevitáveis prejuízos ambientais.

A reabilitação de aquíferos que foram afectados pela presença excessiva de sais é um processo dispendioso, habitualmente complicado e moroso. As acções preventivas que evitem a poluição salina, para além de racionais, revelam-se economicamente vantajosas.

O planeamento global de recursos hídricos, que considere as águas subterrâneas como uma das suas componentes, é a melhor via para a resolução racional dos actuais problemas e para que outros sejam evitados, designadamente de ordem ambiental e social. Assim, a prevenção e a resolução dos problemas derivados da poluição salina deverão ser tratados no domínio do planeamento e gestão dos recursos hídricos, numa escala regional e com uma perspectiva global que inclua os diversos factores que condicionam as quantidades e qualidades da água necessárias para as distintas utilizações.

Uma das principais componente dessa estratégia global relaciona-se com o planeamento regional dos sistema de abastecimento de água e dos sistemas de drenagem e tratamento de águas pluviais e residuais, designadamente para a definição dos locais mais aconselháveis para a implantação das captações, das estações de tratamento de águas residuais e dos locais de rejeição, eventualmente para reutilização ou recarga de aquíferos. Hoje, mais do que nunca, qualquer plano deve obrigatoriamente incluir programas para a utilização racional da água. Poderão ser implementadas regras de exploração que permitam o controlo da extracção e conseqüentemente do volume de água doce no aquífero. A diminuição do volume de água salgada no aquífero e o subsequente recuso da interface poderá ser conseguido através da extracção de água salgada. 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. Uma das acções que tem sido implementada em regiões com utilizações superiores à recarga natural será proceder a recarga artificial através da injeção de água ou de campos de infiltração com água de superfície ou fazendo o aproveitamento de águas residuais tratadas. A realização de obras específicas como a construção de barreiras subterrâneas, embora conceptualmente admissíveis, não têm sido implementadas devido à dificuldade de concretização e aos elevados custos envolvidos.

Neste trabalho ficam caracterizadas as principais componentes de uma estratégia global para o planeamento racional e a gestão sustentável dos recursos hídricos de regiões sujeitas à intrusão salina.

A resolução dos problemas resultantes da salinização dos sistemas aquíferos deve ser encontrada no âmbito do planeamento e gestão dos recursos hídricos da região, já que as águas subterrâneas interagem dinamicamente, em termos quantitativos e qualitativos, com as águas de superfície.

Assim, a construção de captações e a gestão dos sistemas aquíferos afectado pela intrusão salina deverão recorrer a ferramentas de optimização que permitam uma análise de sensibilidade ao efeito das diversas medidas e a definição do regime de exploração que garanta as solicitações respeitando os limites físicos, a qualidade na origem e o equilíbrio ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] CUSTÓDIO, Emilio - "*Relaciones agua dulce-agua salada en las regiones costeras*", in Hidrologia Subterranea, Sección 13, 1994;
- [2] FERREIRA DA SILVA, Júlio, Naim Haie e J. Pereira Vieira, "Modelos de Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água com Origem em Aquíferos sujeitos à Contaminação Salina", VIII Encontro Nacional de Saneamento Básico, 27-30 Outubro 1998, Barcelos, pp. 151-163;
- [3] FERREIRA DA SILVA, Júlio, Naim Haie e J. Pereira Vieira, "Custos instantâneos de "Produção" de Água Potável - Enfoque nos sistemas com origens afectadas pela intrusão salina", IV SILUSBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Coimbra, 24-26 Maio 1999;
- [4] FERREIRA DA SILVA, Júlio, Naim Haie e, "PLANEAMENTO E GESTÃO DE CAPTAÇÕES SUJEITAS À INTRUSÃO SALINA: Uma perspectiva global para a definição de perímetros de protecção.", 5.º Congresso da Água, Lisboa, 2000;
- [5] INSTITUTO DA ÁGUA - "Guia Para a Elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica", in <http://snirh.inag.pt/snirh/plano/guia/parte53.html>, última actualização julho/1998;
- [6] IZBICKI, John A. - "Seawater Intrusion in a Coastal California Aquifer", U.S. Geological Survey, in <http://water.wr.usgs.gov/fact/b07/strat.html>, 1996;
- [7] MARECOS DO MONTE, M.<sup>a</sup> H. F. - " Contributo para a Utilização de Águas Residuais Tratadas para Irrigação em Portugal", Tese de doutoramento, ed. LNEC, Lisboa, 1996;
- [8] SERVIÇOS MUNICIPALIZADOS DE PORTIMÃO - Elementos estatísticos e documentação diversa, 1999;
- [9] UNIÃO EUROPEIA Comissão - "Decisão da Comissão de 27 de Outubro de 1993 relativa à concessão de uma contribuição do instrumento financeiro de coesão para um projecto relativo à protecção contra a salinização dos lençóis freáticos da planície de Argos, na Grécia", *Jornal oficial no. L118 de 07/05/1994*, in [http://europa.eu.int/eur-lex/pt/lif/dat/1994/pt\\_394D0223.html](http://europa.eu.int/eur-lex/pt/lif/dat/1994/pt_394D0223.html)
- [10] UNIÃO EUROPEIA - "Proposta alterada de directiva do Conselho que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água" Documento 598PC0076, in [http://europa.eu.int/eur-lex/pt/com/dat/1998/pt\\_598PC0076.html](http://europa.eu.int/eur-lex/pt/com/dat/1998/pt_598PC0076.html), Comissão 17/Fevereiro de 1998;
- [11] VAN DAM, J. C. - "*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.

## AGRADECIMENTOS

Desde já registámos o nosso agradecimento aos diversos estudiosos de águas subterrâneas e concretamente de intrusão salina, com quem temos contactado. Entendemos como preciosas as suas ajudas, desde as informações recolhidas em conversas, até aos conselhos e à cedência de diverso material de investigação. Agradecemos aos Serviços Municipalizados de Água de Portimão na pessoa do seu Director-Delegado Eng.º João Rosa a amabilidade com que nos receberam e a cedência de diverso material relacionado com as suas captações.

Os autores registam o apoio dado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia ao Centro de Engenharia Civil da Universidade do Minho.