

O INCREMENTO DA RECARGA EM AQUÍFEROS COSTEIROS COMO SISTEMA DE CONTROLO DOS EFEITOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E DA SUBIDA DO NÍVEL DO MAR

Júlio F. FERREIRA DA SILVA

Doutor em Engenharia Civil – Hidráulica Professor Auxiliar do Departamento de Eng.ª Civil da Universidade do Minho,

Azurém 4800-058 Guimarães, Portugal

253510200, juliofs@civil.uminho.pt

Resumo

Neste trabalho apresentam-se ferramentas de gestão (optimização e simulação) que permitem antecipar os efeitos de eventuais cenários das alterações climáticas e da projectada subida do nível do mar nos aquíferos costeiros. O incremento da recarga através da utilização da água disponível na região, com a qualidade que obedeça às normas e recomendações, constitui um sistema de controlo dos eventuais efeitos nefastos do avanço para o continente da água salgada marinha. Faz-se uma análise quantitativa dos efeitos do incremento da recarga nas extracções. Calcula-se o acréscimo na extracção em função das quantidades disponíveis para recarga. Determinam-se, também, as quantidades necessárias da recarga, de modo a que sejam mantidas as extracções iniciais e garantida determinada distância de segurança em relação a um ponto de controlo. Conclui-se que o incremento da recarga contribui para a utilização controlada e sustentável da água subterrânea e, consequentemente, para a gestão racional dos recursos hídricos disponíveis nas regiões costeiras.

Palavras-chave: Alterações climáticas. Subida do nível do mar. Controlo da intrusão salina. Gestão integrada de águas subterrâneas e águas superficiais. Optimização da exploração de aquíferos.

1. Introdução

Neste trabalho apresenta-se o incremento da recarga em aquíferos costeiros como um sistema de controlo da intrusão salina marinha motivada pelas alterações climáticas, designadamente pela subida do nível do mar. A recarga natural dos aquíferos acompanha de perto as tendências da precipitação. O aumento do nível do mar e a redução do escoamento natural provocarão, inevitavelmente, o avanço da cunha salina marinha. Este fenómeno poderá ser eventualmente contrariado adoptando um conjunto de medidas entre as quais figura o incremento da recarga. A utilização de água que inevitavelmente escoaria para o mar, sem qualquer aproveitamento, para o incremento da recarga, constitui uma medida de gestão conjuntiva dos recursos hídricos disponíveis nas zonas do litoral. O objectivo será usar a água disponível para mitigar os efeitos da projectada subida do nível do mar nos aquíferos costeiros. O uso de uma parcela da água superficial disponível na região ou das águas pluviais ou residuais devidamente tratadas para incrementar a recarga constitui um verdadeiro sistema que limita o avanço da água salgada e, subseqüentemente, contribui para o aumento das extracções.

A qualidade da água para o incremento da recarga deve obedecer a um adequado controlo. O incremento da recarga pode, inclusive, ser a operação final de afinamento dum processo de tratamento da água ou uma forma eficaz de a armazenar, em especial nas zonas sujeitas a forte evaporação, como é o caso do sul da Península Ibérica. Recomendações para a utilização da recarga e normas de qualidade estão disponíveis em diversos organismos internacionais como a UNESCO, a EPA - Agência Norte-americana do Ambiente, a Organização Mundial de Saúde, etc. Assim, neste estudo faz-se a análise quantitativa dos efeitos do incremento da recarga na gestão de aquíferos do litoral.

O incremento da recarga deverá ser realizado se acarretar vantagens técnicas, ambientais e económicas ou, pelo menos, se não agravar significativamente os custos de exploração. No entanto, a implementação dum sistema que incrementa a recarga disponibiliza aos gestores dos sistemas de captação um verdadeiro sistema de controlo da intrusão marinha.

Nos itens seguintes descrever-se-ão os modelos de simulação do fenómeno intrusão salina, faz-se a caracterização geral do sistema aquífero objecto dos estudos, determinam-se as extracções máximas admissíveis face a determinada quantidade de água disponível para recarga e mostra-se o resultado nas extracções do incremento da recarga no controlo da intrusão salina face aos cenários de subida do nível do mar. Comparam-se os resultados com os relativos à situação inicial, ou seja, sem sistema de incremento da recarga. Determinam-se, também, as quantidades necessárias para a recarga, de modo a que sejam mantidas as extracções iniciais. Finalmente, far-se-á a análise de resultados e apresentadas as respectivas conclusões.

2. Identificação do problema e metodologia de resolução

O problema da concepção e da gestão optimizadas de sistemas de captação e de abastecimento de água a partir de aquíferos potencialmente sujeitos à intrusão salina consiste em determinar os melhores locais de implantação e as respectivas extracções que satisfaçam as solicitações dos utilizadores, mantendo, no entanto, o controlo sob o fenómeno da intrusão salina. O problema que pretende resolve-se aqui consiste em determinar de forma quantitativa as consequências do incremento da recarga como medida para minimizar os efeitos da projectada subida do nível do mar, ou seja, pretende calcular-se o efeito na quantidade máxima que é possível extrair se for possível incrementar a quantidade de água que se infiltra ou injecta no aquífero. De igual modo, pode determinar-se a quantidade necessária para a recarga de forma a manter a quantidade extraída.

Dada a incerteza associada à projecção das alterações climáticas e da, subsequente, quantidade de água disponível para incrementar a recarga, então o estudo realizado teve como propósito cobrir um leque de eventuais cenários, pelo que o modelo de gestão, ou de optimização-simulação, é chamado a encontrar as extracções máximas para cada eventual local de implantação de um conjunto de captações, para cada valor do nível do mar, para cada cenário do escoamento natural e para cada distância de segurança. Assim, as sucessivas execuções do modelo de gestão varrem os valores compreendidos nos intervalos:

$$x_{s,\min} \leq x_s \leq x_{s,\max} \quad (1)$$

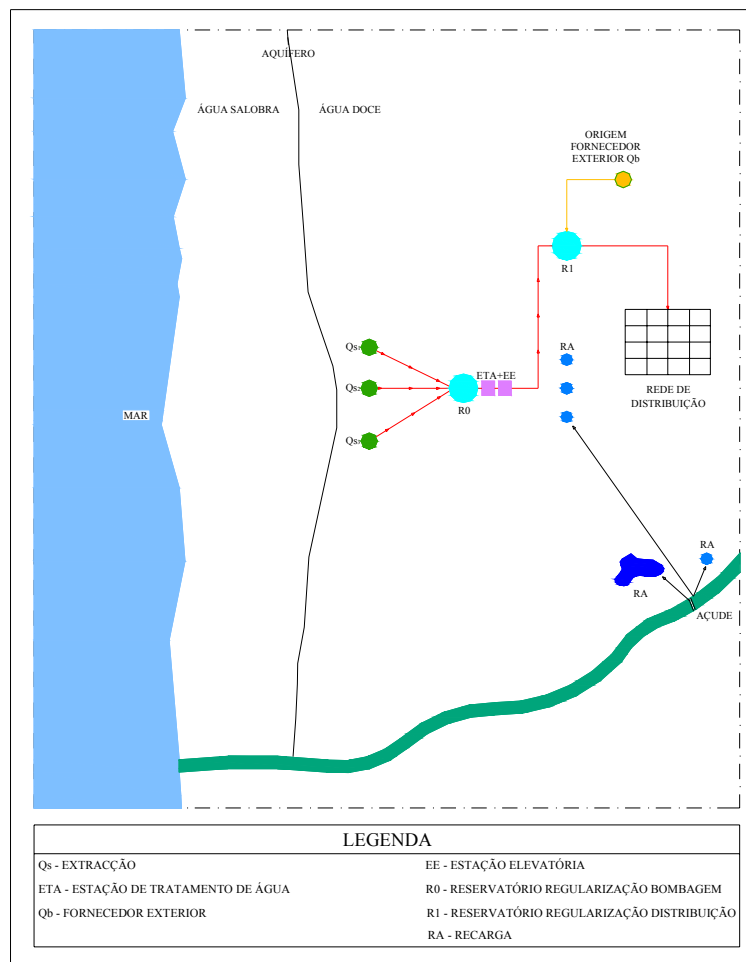
$$B_{\min} \leq B \leq B_{\max} \quad (2)$$

$$ds_{\min} \leq ds \leq ds_{\max} \quad (3)$$

em que: x_s , $x_{s,\min}$ e $x_{s,\max}$ o local de implantação de cada captação subterrânea medido em relação à linha de costa e os respectivos limites; B e B_{\min} e B_{\max} a altura entre o nível do mar e a base do aquífero e os respectivos limites; ds - distância de segurança.

Na figura seguinte estão esquematizados os sistemas de captação, de abastecimento de água e de controlo da intrusão salina numa zona costeira.

Figura 1. Esquema de sistema de abastecimento de água e de incremento da recarga numa região costeira



3. Modelo de gestão de aquíferos sujeitos à intrusão salina

O adequado planeamento e gestão dos sistemas de captação e de controlo da intrusão marinha em aquíferos costeiros exigem a utilização conjunta de técnicas de optimização e de modelos de simulação do comportamento dos sistemas hídricos das regiões costeiras. A decisão sobre a implementação dum sistema de incremento da recarga que funcione como uma componente dum sistema de controlo da intrusão salina e, subsequentemente, da qualidade da água, deve ser devidamente fundamentada sob os pontos de vista técnico e económico. São diversas as técnicas de optimização que podem ser moldadas para determinarem as melhores políticas de implantação das captações, os regimes de extracção de água doce e as quantidades a infiltrar ou injectar para incremento da recarga. Os modelos de simulação do escoamento subterrâneo, como os defendidos por STRACK (1989) e BAKKER (2002), antecipam o comportamento do aquífero face às alternativas geradas pela ferramenta de optimização. Em FERREIRA DA SILVA (2003) e FERREIRA DA SILVA (2005) defende-se uma metodologia que associa métodos de optimização e modelos de simulação da intrusão marinha em cascata num grau de complexidade crescente.

Aplicando as equações diferenciais do escoamento subterrâneo em meios porosos a cada lado da interface água doce / água salgada, então o escoamento num aquífero costeiro pode ser definido por:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[(K_{xx})_d \frac{\partial h_d}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(K_{yy})_d \frac{\partial h_d}{\partial y} \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[(K_{zz})_d \frac{\partial h_d}{\partial z} \right] + Q_d = S_d \frac{\partial h_d}{\partial t} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[(K_{xx})_s \frac{\partial h_s}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(K_{yy})_s \frac{\partial h_s}{\partial y} \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[(K_{zz})_s \frac{\partial h_s}{\partial z} \right] + Q_s = S_s \frac{\partial h_s}{\partial t} \quad (5)$$

Em que: x, y - coordenadas, d água doce; s a água salgada; h - altura piezométrica, Q - caudal extraído ou injectado, S - coeficiente de armazenamento, t - tempo.

A resolução da equação diferencial que caracteriza o escoamento pode realizar-se por via analítica, nalguns casos, e mais genericamente por via numérica. Defende-se que o estudo de sistemas complexos e de grande dimensão deve iniciar-se com o recurso a modelos conceptuais simples para numa segunda fase ser usado um modelo numérico, necessariamente mais refinado.

Strack (1976 e 1989) desenvolveu uma solução exacta para caracterizar o escoamento em aquíferos costeiros com uma linha de costa recta, diversas captações localizadas a x_i do mar e o respectivo caudal Q_i . O potencial é definido, usando o método das imagens, por:

$$\phi = \frac{q}{K} x + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi K} \text{LN} \left[\frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{(x+x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right] \quad (6)$$

onde: q - escoamento específico; K - condutividade hidráulica; Q_i - extracção / Injecção; (x_i, y_i) coordenadas do local de extracção / injecção; n - número de locais extracção / injecção.

4. Aplicações

Os sistemas de captação e de controlo da intrusão objecto dos estudos estão esquematizados na figura 1. Admitir-se-á que as três captações subterrâneas serão implantadas num aquífero com condutividade hidráulica de 100 m/dia e escoamento específico actual de 0,6 m³/m.dia. Considerando que a altura actual da superfície do mar está catorze metros acima da base do aquífero ($B=14,0$ m), então não havendo qualquer extracção o pé da interface localiza-se a 418,54 m da linha de costa. Admitindo sucessivos valores para a distância de segurança, desde a distância mínima de 100 m, depois 200 m até 800 m, as captações poderão ser implantadas, respectivamente, a partir dos 520 m, 620 m, etc. As captações distam entre si 1000 m. O sistema de recarga pode ser composto por trincheiras de infiltração que incrementariam o escoamento específico na zona e/ou por um conjunto de três poços de injecção que estará implantado a 500 m dos locais de captação. Iniciam-se os estudos admitindo que no máximo ficará disponível para o incremento da recarga 50 m³/dia por furo, ou seja, 0,6 L/s, valor relativamente pequeno.

Nesta investigação admitiram-se diversos cenários para a subida do nível do mar, pelo que foram realizados sucessivos cálculos para incrementos deste parâmetro (Δh) de 0,05 m ($B_i=14,00, 14,05, \dots, 15$ m). Admite-se, também, como cenário uma redução máxima do escoamento natural em 30% se a subida do nível do mar for de 1,0 m, então a relação entre o caudal por metro linear e a variação do nível do mar será a quantificada por:

$$q = 0,60 - 0,18\Delta h \quad (7)$$

em que: Δh a variação do nível do mar.

4.1. Extracções máximas numa barreira de três captações versus local de implantação com aumento do nível do mar e incremento da recarga por injeção

O problema que pretende resolver-se neste item consiste em determinar qual será a extracção máxima numa barreira de três captações para que seja assegurado o controlo da intrusão salina quando existe um sistema de incremento da recarga, por injeção em furos situados a 500 m das captações, onde é possível injectar $QR_i = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$ ($100 \text{ m}^3/\text{dia}$) em cada um dos três poços.

4.1.1. Formulação matemática do problema

A formulação matemática do problema envolve a definição da função objectivo e das restrições. O objectivo é matematicamente representado pela maximização das extracções:

$$\max Z = \sum_{s=1}^{N_s} Q_s \quad (8)$$

sendo: Q_s - A extracção em cada captação s ; N_s - Número total de captações.

O controlo da intrusão salina no aquífero será realizado impondo um valor máximo para a distância entre do “pé” da interface e os pontos de controlo.

$$(x_{pe})_s \leq (x_{pc})_s - (ds)_s \quad \forall s, \quad s=1,2,\dots,N_{pc} \quad (9)$$

em que: $(x_{pe})_s$ - distância do pé da interface à linha de costa; x_{pc} - distância do ponto de controlo à linha de costa; ds - distância segurança admissível entre a interface e o ponto de controlo; N_{pc} - número de pontos de controlo.

As outras restrições são relativas aos limites de extracção de cada captação, às quantidades disponíveis para o incremento da recarga e às cotas piezométricas mínimas:

$$Q_{i,\min} \leq Q_i \leq Q_{i,\max} \quad i = 1, \dots, N_s \quad (10)$$

$$h_s \geq h_0 \quad s = 1, \dots, N_s \quad (11)$$

$$Q_{r,\min} \leq Q_r \leq Q_{r,\max} \quad r = 1, \dots, N_r \quad (12)$$

em que: $Q_{i,\min}$ e $Q_{i,\max}$ os limites de extracção em cada origem; N_s - Número de origens subterrâneas; h_s a cota piezométrica na captação s ; h_0 a cota piezométrica mínima admissível, $Q_{r,\min}$ e $Q_{r,\max}$ os limites de recarga em cada furo; N_r - Número de locais de recarga.

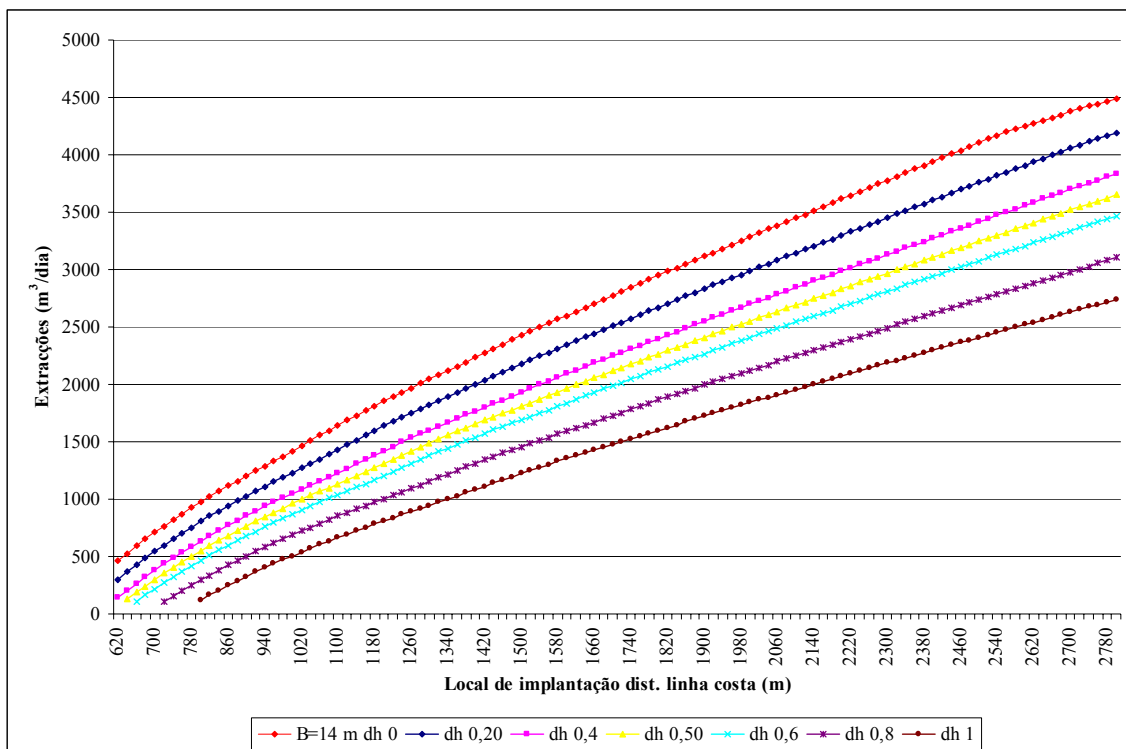
Os resultados do modelo de optimização-simulação indicam que a melhor política de gestão consiste em injectar a quantidade máxima disponível. As melhores políticas de extracção para o conjunto das três captações quando é possível injectar $50 \text{ m}^3/\text{dia}$ em cada furo distanciado da respectiva captação em 500 m, em função da subida do nível do mar são as registadas no quadro seguinte e representada na figura que se lhe segue:

Quadro 1. Extracção total máxima em 3 captações vs local de implantação e subida do nível do mar com $QR_i = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$

Local (m)	Subida do nível do mar (m)						
	$B=14 \text{ m } \Delta h=0$	$\Delta h 0,20$	$\Delta h 0,4$	$\Delta h 0,50$	$\Delta h 0,6$	$\Delta h 0,8$	$\Delta h 1$
620	462,46	302,97	142,86				
640	527,49	367,04	205,96	125,19			

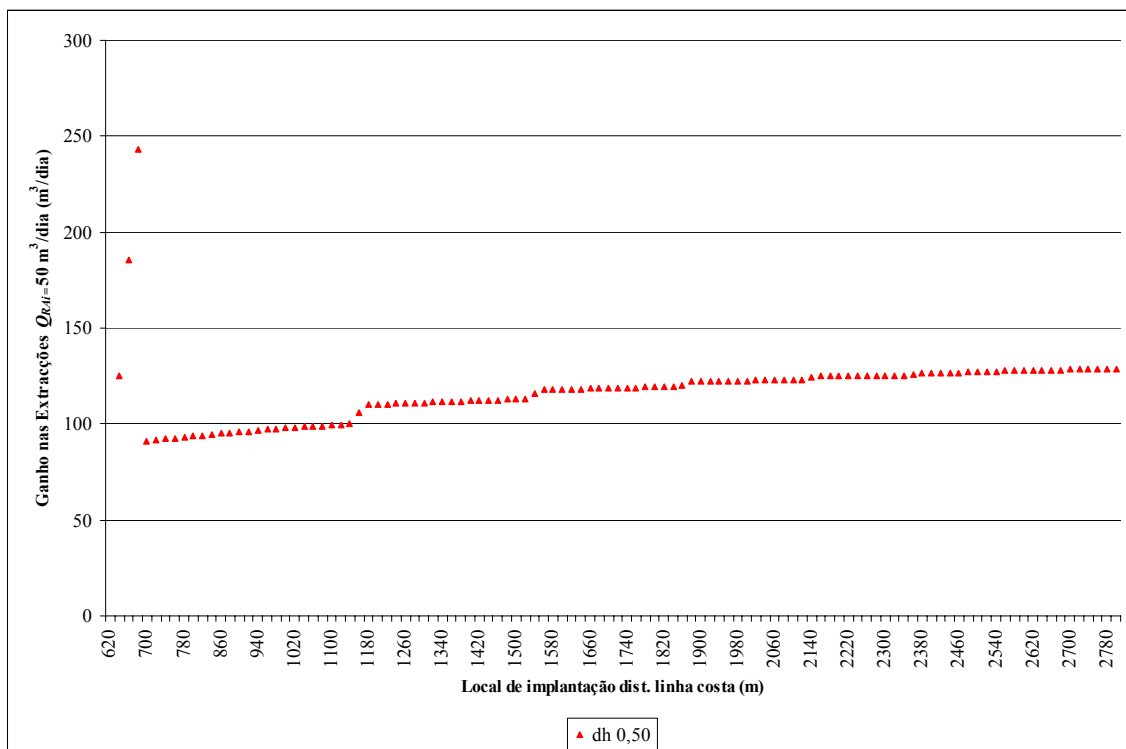
660	590,03	428,58	266,52	185,27	103,86		
680	650,28	487,81	324,76	243,01	161,11		
700	708,42	544,93	380,86	298,60	216,20		
720	764,63	600,10	434,99	352,23	269,32	103,07	
740	819,05	653,46	487,31	404,03	320,60	153,33	
760	871,82	705,16	537,96	454,14	370,20	201,88	
780	923,05	755,32	587,04	502,70	418,22	248,86	
800	972,86	804,04	634,68	549,80	464,79	294,37	123,42
820	1021,33	851,41	680,97	595,56	510,01	338,52	166,50
840	1068,56	897,55	726,01	640,05	553,96	381,39	208,31
860	1114,64	942,51	769,88	683,37	596,73	423,08	248,91
880	1159,62	986,38	812,64	725,58	638,40	463,65	288,40
900	1203,59	1029,23	854,38	766,76	679,03	503,18	326,84
920	1246,60	1071,12	895,14	806,97	718,68	541,73	364,29
940	1288,71	1112,10	935,00	846,27	757,42	579,36	400,82
960	1329,97	1152,22	974,00	884,71	795,30	616,13	436,47
980	1370,42	1191,54	1012,19	922,34	832,37	652,08	471,31
1000	1414,57	1230,11	1049,62	959,20	868,67	687,25	505,37
1020	1462,77	1267,95	1086,33	995,34	904,25	721,70	538,70
1040	1509,83	1305,11	1122,35	1030,80	939,14	755,46	571,34
1060	1555,83	1347,17	1157,73	1065,61	973,37	788,57	603,32
1080	1600,83	1391,16	1192,49	1099,80	1007,00	821,06	634,67
1100	1644,90	1434,21	1226,67	1133,41	1040,03	852,96	665,44
(...)							
1500,00	2423,78	2175,73	1927,18	1807,33	1690,55	1456,66	1.222,34
(...)							
2000,00	3284,73	2986,51	2697,16	2552,66	2408,05	2118,81	1.840,62
(...)							
2700,00	4379,44	4056,05	3697,76	3518,45	3339,02	2980,56	2.629,76

Figura 2. Extracção total em 3 captações vs implantação vs subida do nível do mar com $QR_i=50 \text{ m}^3/\text{dia}$



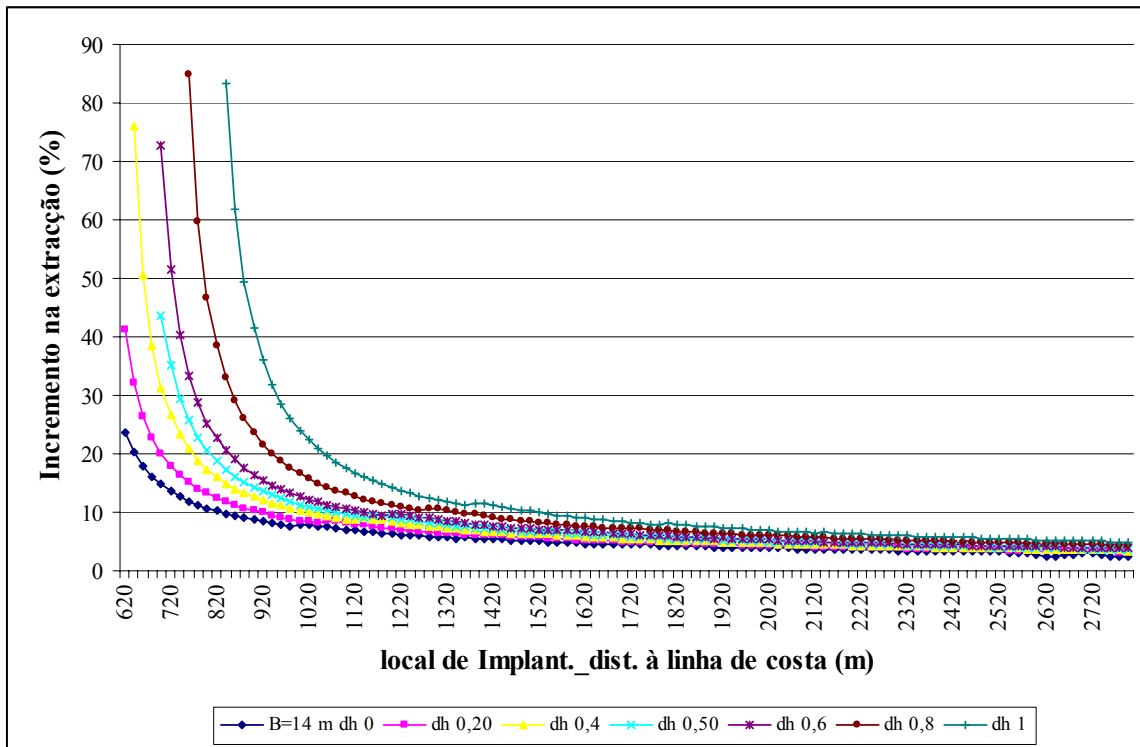
Comparando estes resultados com os apresentados em Ferreira da Silva (2006c) constata-se um ganho nas extracções. Por exemplo, o incremento na extracção total máxima que será possível extrair na barreira de 3 captações em função do local de implantação quando a subida do nível do mar é de 0,5 m fica representado na figura seguinte:

Figura 3. Ganho na extracção em 3 captações vs implantação vs subida do mar 0,5 m $QR_i=50 \text{ m}^3/\text{dia}$



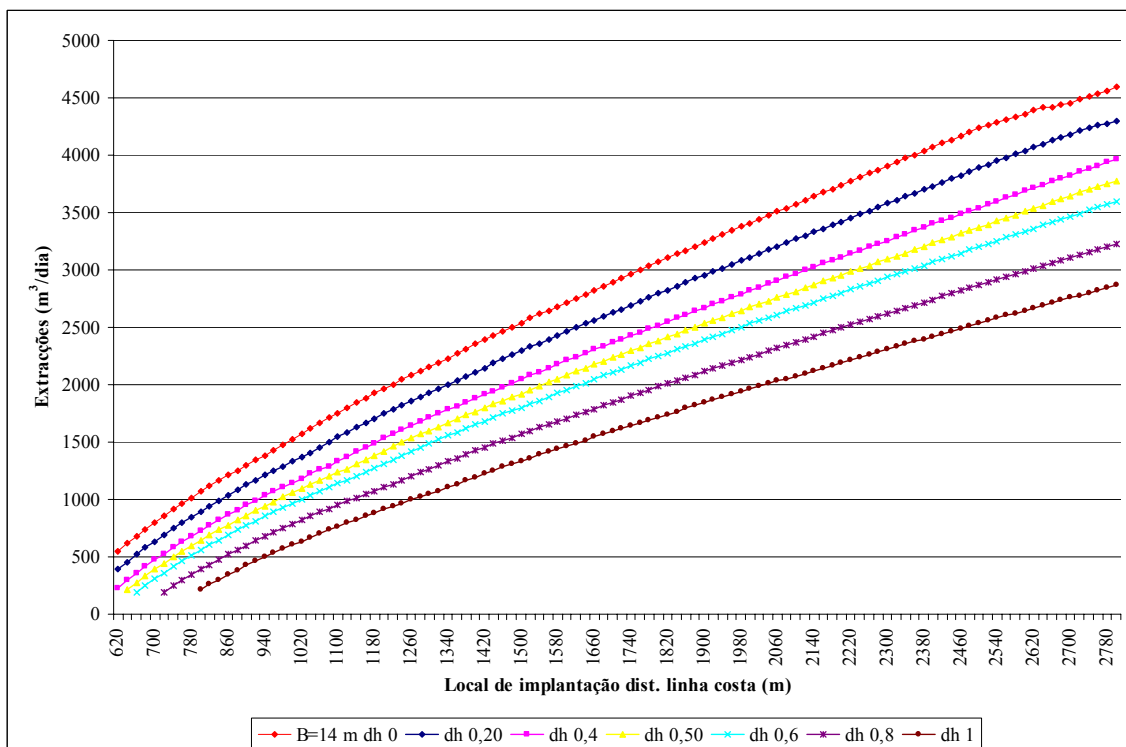
A representação gráfica do ganho nas extracções para os diversos cenários de subida do nível do mar quando o reforço da recarga for de $QR_i = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Figura 4. Ganho na extracção em 3 captações vs implantação vs subida do mar com $QR_i = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$



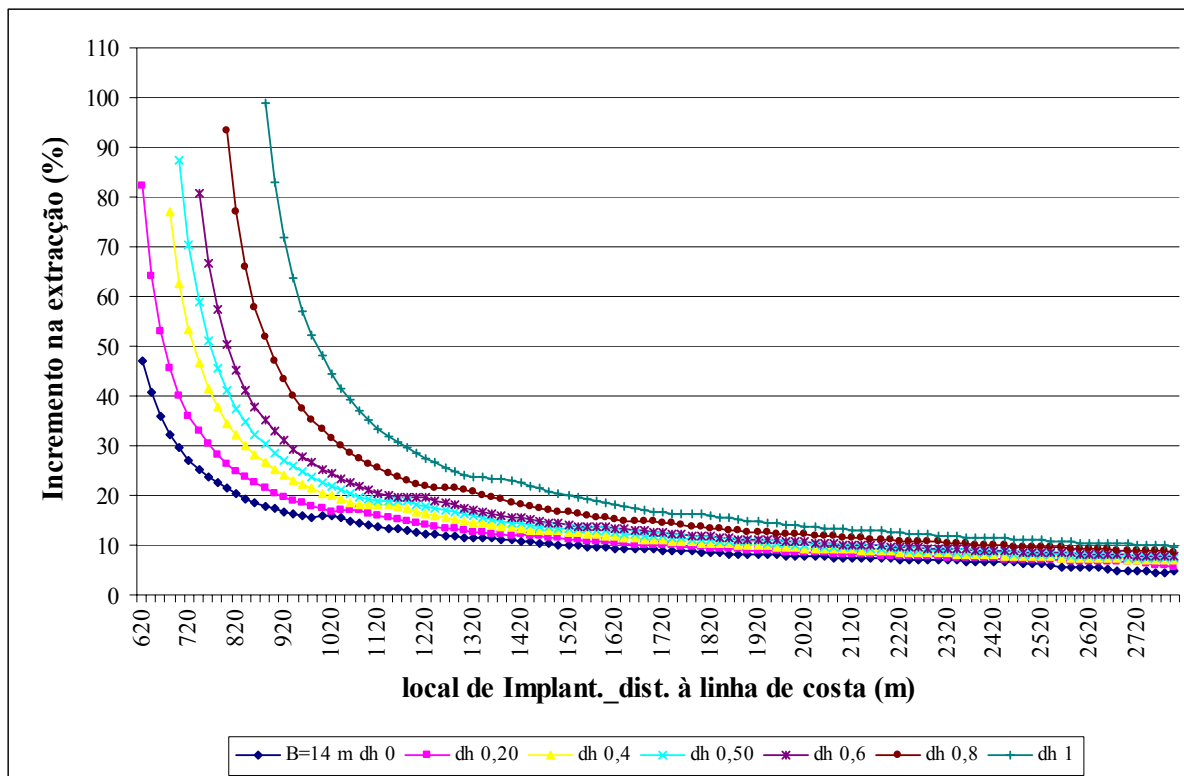
Se for possível incrementar a recarga para $QR_i=100 \text{ m}^3/\text{dia}$ (ou seja 1,16 L/s) em cada um dos três furos de injeção que distam 500 m das captações, então a extracção total será a seguinte:

Figura 5. Extracção em 3 captações vs implantação vs subida do mar com $QR_i = 100 \text{ m}^3/\text{dia}$



O incremento na extracção com esta nova política de recarga em termos percentuais e em relação à situação sem sistema de controlo da intrusão salina fica registado na figura seguinte:

Figura 6. Ganho na extracção total em 3 captações vs implantação vs subida do nível do mar 0,5 m $QR_f=100 \text{ m}^3/\text{dia}$



Comparando estes resultados com os apresentados em Ferreira da Silva (2006c) constata-se que o incremento da recarga por injeção apresenta vantagens evidentes, designadamente conduz a um incremento nas extracções. No entanto, este efeito é mais relevante nas captações implantadas em locais mais próximos do mar, o que realça a importância da adequada localização das origens de água nas zonas costeiras. Se for possível injectar uma maior quantidade de água no aquífero então o efeito no incremento das extracções torna-se, também, mais significativo nos locais mais afastados do mar. Assim, qualquer que seja o incremento da recarga este procedimento revela-se como uma medida de combate aos efeitos das alterações climáticas.

4.2. Recarga necessária para manter extracção inicial versus local de implantação e aumento do nível do mar

O problema que pretende resolver-se consiste em determinar quais seriam as quantidades necessárias para incrementar a recarga em furos que distam 500 m das respectivas captações para que fosse possível manter as extracções iniciais, ou seja, antes da eventual subida do nível do mar.

O objectivo é matematicamente representado pela minimização da quantidade para recarga:

$$\min Z = \sum_{r=1}^{N_r} Q_r \quad (13)$$

sendo: Q_r - A recarga em cada local de injeção r ; N_r - Número total de locais de recarga.

Continuando a usar o aquífero caracterizado atrás pretende determinar-se as quantidades necessárias para a recarga de modo a manter as extracções num conjunto de três captações implantadas a 1500 m da linha de costa face à eventual subida do mar Δh . Os caudais máximos permitidos antes da eventual subida do mar são os que constam do quadro seguinte:

Quadro 2. Extracção total máxima em 3 captações que distam 1500 m da linha de costa

Q_1 (m ³ /dia)	Q_2 (m ³ /dia)	Q_3 (m ³ /dia)	Sum Q (m ³ /dia)
855,65	565,30	855,65	2276,61

Usando o modelo de gestão (optimização-simulação) para procurar as quantidades solicitadas os resultados são os que se encontram no quadro seguinte:

Quadro 3. Recarga necessária para manter extracção total máxima em 3 captações que distam 700 m da linha de costa face à subida do nível do mar

Δh	QR_1 (m ³ /dia)	QR_2 (m ³ /dia)	QR_3 (m ³ /dia)	Sum QR (m ³ /dia)
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
0,05	36,9	5,3	36,9	79,1
0,10	73,8	10,5	73,8	158,2
0,15	110,8	15,8	110,8	237,3
0,20	147,7	21,1	147,7	316,5
0,25	184,7	26,4	184,7	395,7
0,30	221,7	31,6	221,7	475,0
0,35	258,7	36,9	258,7	554,2
0,40	295,7	42,2	295,7	633,6
0,45	332,7	47,5	332,7	712,9
0,50	369,8	52,8	369,8	792,3
0,55	406,9	58,1	406,9	871,8
0,60	444,0	63,4	444,0	951,3
0,65	481,1	68,7	481,1	1030,8
0,70	518,2	74,0	518,2	1110,3
0,75	555,3	79,3	555,3	1189,9
0,80	592,5	84,6	592,5	1269,6
0,85	629,7	89,9	629,7	1349,2
0,90	666,9	95,2	666,9	1428,9
0,95	704,1	100,5	704,1	1508,7
1,00	741,3	105,8	741,3	1588,4

5. Conclusões

As alterações climáticas e a projectada subida do nível irão provocar mudanças no equilíbrio dinâmico entre água doce e a água salgada dos sistemas aquíferos do litoral. Ao aumento das extracções e/ou à redução da recarga corresponde o avanço da cunha salina marinha. Os aquíferos, designadamente os situados nas zonas costeiras, não devem apenas ser considerados como mananciais a preservar como reserva estratégica, mas sim como origens que devem ser utilizadas de forma contínua, no entanto controlada. Esta ideia base deverá ser um referencial para a adequada gestão dos aquíferos do litoral face à expectável subida do nível do mar.

Interessará, desde logo, conhecer o fenómeno da intrusão marinha e, preferencialmente, dispor de modelos matemáticos que sejam capazes de antever o comportamento destes sistemas aquíferos tão vulneráveis. Depois poder-se-á estudar medidas que possam contribuir para manter sob controlo o volume de água salgada no aquífero. O recurso a técnicas de optimização, devidamente articuladas com os modelos de simulação, poderá ajudar na procura das melhores políticas de gestão da água disponível nas zonas costeiras.

Face a estas eventuais alterações ambientais e para que fiquem prevenidos os efeitos nefastos da intrusão salina importa localizar convenientemente as captações, calcular as extracções máximas permitidas e implementar um sistema que ajude no controlo do avanço da cunha salina. Assim, o planeamento e a gestão sustentáveis da utilização de aquíferos costeiros devem considerar sistemas de controlo da intrusão salina, ou seja, sistemas de incremento da recarga e definir as quantidades a infiltrar ou injectar.

Os resultados dos estudos realizados permitem concluir que o incremento da recarga contribui para o controlo da cunha salina e possibilita o aumento das extracções de água doce. Este procedimento revela-se como medida eficaz de gestão dos aquíferos costeiros. A utilização da água que inevitavelmente seria despejada no mar poderá contribuir para a minimização dos eventuais efeitos das alterações climáticas nas zonas costeiras. Isto só será possível adoptando uma perspectiva global na gestão dos recursos hídricos disponíveis nestas regiões.

A implementação dum sistema de incremento da recarga de um aquífero envolve a realização de estudos técnico-económicos multidisciplinares. No entanto, a análise quantitativa que apresentamos neste estudo recomendam o incremento da recarga. Sendo possível a utilização dos recursos hídricos superficiais vizinhos ou de águas pluviais e residuais tratadas e desde que o custo da operação de incremento da recarga se mantenha reduzido, então os resultados do modelo de optimização-simulação poderão revelar-se, também, como políticas viáveis de gestão dos recursos hídricos disponíveis nas regiões costeiras.

Este trabalho permite concluir que, face à expectável subida do nível do mar, o incremento da recarga apresenta vantagens evidentes, designadamente conduz a uma menor redução nas extracções. Consta-se, também, que mesmo aumentando a recarga os efeitos da subida do nível do mar são função do local de implantação das captações, reduzindo em direcção ao continente. Assim, os efeitos do aumento da pressão da água salgada poderão ser atenuados com a construção dum sistema de recarga e com a adequada implantação das captações.

O modelo de gestão divulgado constitui uma parcela de um conjunto de acções que poderão ser implementadas para uma utilização conjuntiva, controlada e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais das áreas costeiras.

Agradecimentos

O autor regista o apoio dado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia ao Centro de investigação em Engenharia Civil da Universidade do Minho.

Bibliografia

- BAKKER, Mark e Schar, F. (2002): “The Sea Water Intrusion (SWI) Package Manual”, Version 1, Dezembro.
- FERREIRA DA SILVA, Júlio (2003): “Gestão otimizada à escala regional de sistemas aquíferos potencialmente sujeitos à intrusão salina - Um modelo global para o uso sustentável da água em regiões costeiras”, Dissertação de doutoramento em Engenharia Civil - Hidráulica, Universidade do Minho.
- FERREIRA DA SILVA, Júlio; Naim HAIE e José M. P. VIEIRA (2003): “Análise dos efeitos do incremento da recarga na gestão de aquíferos costeiros”, 6.º SILUSBA. Cabo Verde, 10/14 Novembro, 2003.
- FERREIRA DA SILVA, Júlio e HAIE, Naim (2003): “Utilização controlada e sustentável de aquíferos costeiros. Estudos para o aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos disponíveis no sistema aquífero Mexilhoeira Grande – Portimão”, Jornadas Luso-Espanholas As Águas subterrâneas no sul da península Ibérica. Faro, 23/26 Junho, 2003;
- FERREIRA DA SILVA, Júlio (2006a): “O incremento da recarga como componente duma estratégia para a utilização sustentável da água nas regiões costeiras face às alterações climáticas”, 8.º Congresso da água. Lisboa.
- FERREIRA DA SILVA, Júlio e RIBEIRO, Luís T. (2006b) “Efeitos das alterações climáticas e da subida do nível do mar nos aquíferos costeiros”, 8.º Congresso da Água. Lisboa.
- FERREIRA DA SILVA, Júlio (2006c): “Gestão otimizada da água doce disponível nas zonas costeiras face às alterações climáticas”, 5.º Congresso Ibérico sobre Gestão e Planeamento da Água. Faro.
- SANTOS, F. D., K. Forbes and R. Moita (2002): “Climate change in Portugal scenarios, impacts and adaptation measures – SIAM project”, Gradiva, Fundação Calouste Gulbenkian, FCT.
- STRACK, O. D. L. - “A Single-potential solution for regional interface problems in coastal aquifers”, Water Resources Research, 12, 1976, pp. 1165-1174;
- STRACK, O. D. L. (1989): “Groundwater Mechanics”, Prentice Hall.