

GESTÃO INTEGRADA DE SISTEMAS AQUÍFEROS

Ana Sofia FRADE⁽¹⁾; Maria C. CUNHA⁽¹⁾; João P. LOBO FERREIRA⁽²⁾

(1) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Pólo II – Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra, Portugal

(2) Laboratório de Engenharia Civil, Av. Do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

RESUMO

Introdução

Por conterem aproximadamente 22,1 % da água doce existente no planeta, ou 97,6 % se se excluirmos as reservas dos gelos polares, os sistemas aquíferos assumem um papel importantíssimo na gestão sustentável da água. Como na maioria dos casos, as águas subterrâneas estão menos contaminadas que as superficiais, tem-se verificado um aumento gradual da procura desta fonte de água doce para abastecimento. No entanto, a exploração destes sistemas não tem sido a mais correcta, o que implicará, a curto e a longo prazo, inúmeros problemas. No sentido de colmatar esta situação, o presente trabalho tem como objectivo geral criar linhas de orientação que auxiliem os agentes de decisão na busca de soluções sustentáveis para os problemas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Os autores aplicam o modelo multiobjectivo proposto por Cunha e Antunes (1997) a um estudo de caso inspirado numa situação real. O objectivo do estudo corresponde à determinação da localização eficiente de um conjunto de captações de água subterrânea no aquífero de Palmela, com o intuito de satisfazer as necessidades hídricas de um conjunto de centros populacionais. A definição dos locais eficientes é efectuada através da minimização simultânea do somatório das alturas de elevação de água e do somatório das distâncias ponderadas de transporte de água.

Descrição do Problema

- (a) O Sistema Aquífero de Palmela: O concelho de Palmela, com uma área aproximada de 500 km², é um dos maiores concelhos existentes na península de Setúbal (Lobo-Ferreira e Migliari, 2004) (**Figura 1**). Os aspectos mais importantes da caracterização geológica e hidrogeológica desta área são apresentados em Oliveira *et al.* (1994). Este sistema é muito explorado para abastecimento público, indústria e regadio. O município de Palmela está inserido no maior sistema aquífero de Portugal, a Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, com uma área total de 6079 km². É um sistema aquífero multi-camada compreendendo formações sedimentares da idade do Miocénico até aos dias de hoje. No município de Palmela a estrutura geológica pode ser simplificada como um aquífero superior freático livre, um aquífero de baixa permeabilidade e um aquífero profundo confinado mio-pliocénico. A recarga faz-se por infiltração da precipitação nas linhas de água. O presente trabalho recai sobre o aquífero confinado mio-pliocénico.

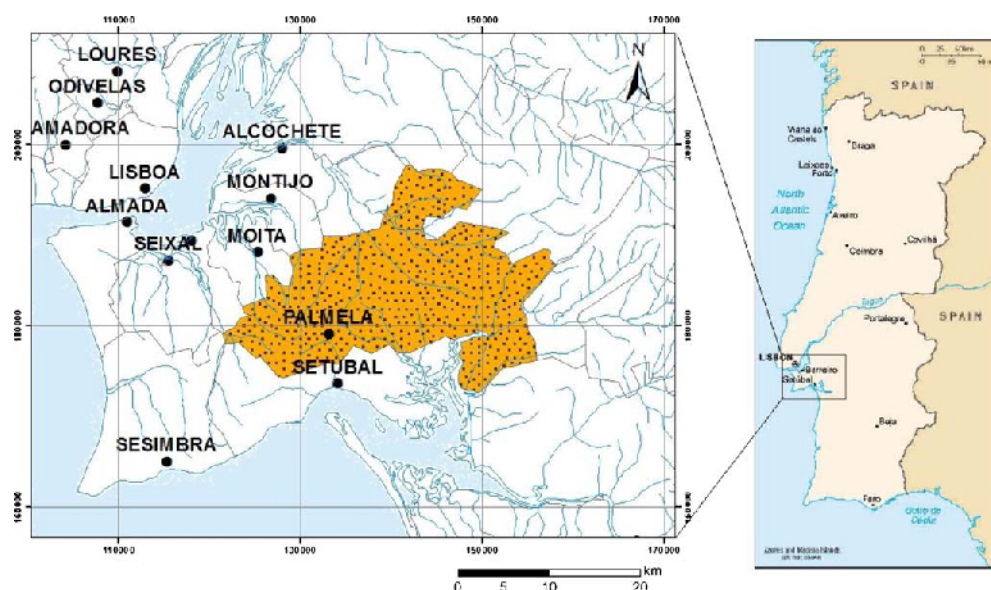


Figura 1 – Localização de Palmela (Almeida *et al*, 2000)

(b) Formulação do Problema de Optimização: Com a realização deste trabalho pretende-se identificar os locais eficientes (num conjunto de K locais possíveis) para colocar um determinado número de instalações de bombagem com o intuito de satisfazer as necessidades hídricas de J centros populacionais localizados sobre o aquífero em análise. Estes centros têm localização e consumos fixos, os quais deverão ser respeitados. As equações descritivas do comportamento físico do aquífero serão incluídas no modelo de decisão através do Método dos Coeficientes de Influência, utilizando o Princípio da Sobreposição dos Efeitos. O modelo matemático utilizado neste trabalho corresponde ao modelo desenvolvido por Cunha e Antunes (1997).

Resolução do Problema

Dados do Problema: O problema em estudo recai sobre o aquífero de Palmela, que se dividiu numa grelha de discretização, em que a unidade elementar (células) tem dimensões de 1km x 1km. Na referida grelha encontram-se as 57 células, que representam as possíveis captações susceptíveis de virem a ser utilizadas para o abastecimento dos 5 centros populacionais. Os dados iniciais para todas as 57 células (cotas topográficas, caudais máximos, rebaixamentos máximos, níveis estáticos e Coeficientes de Influência) foram obtidos a partir de Migliari e Lobo-Ferreira (1997). No presente trabalho considerou-se que o número de captações a abrir estava limitado a 20 captações (N_{max}). Para cada um dos centros populacionais são considerados os seguintes consumos hipotéticos (**Tabela 1**):

Centro	Coordenadas	Cota Topográfica (m)	Consumos	
			m ³ /dia	m ³ /s
1	34,38	40	864	0,01
2	39,29	38	2592	0,03
3	40,22	30	6912	0,08
4	48,36	46	6912	0,08
5	53,21	60	5184	0,06

Tabela 1 – Dados dos centros populacionais

A partir das coordenadas das captações e dos centros foi também possível determinar as distâncias entre estes.

Resultados do Problema: Através do software XPRESS-MP e resolvendo o problema usando programação multiobjectivo foi possível determinar os pontos que compõem e permitem construir a fronteira eficiente (**Figura 1**). Ao ponto que marca a variação brusca na inclinação da fronteira eficiente dá-se o nome de ponto de dobra. A solução correspondente a este ponto encontra-se na **Figura 2**.

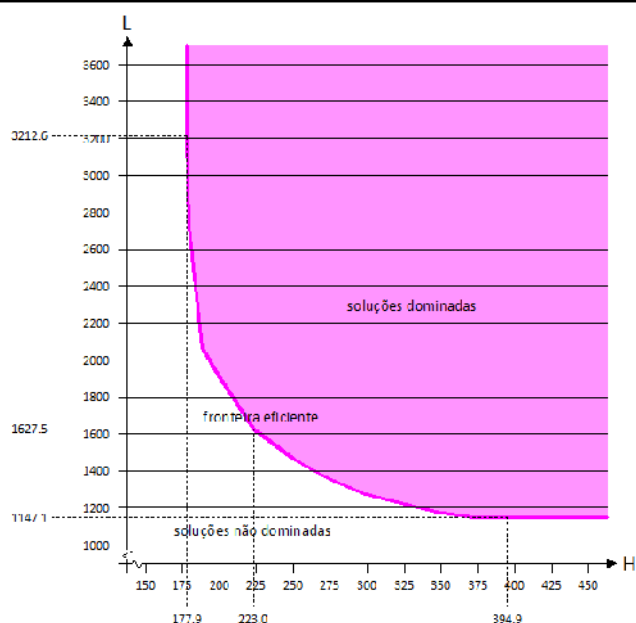
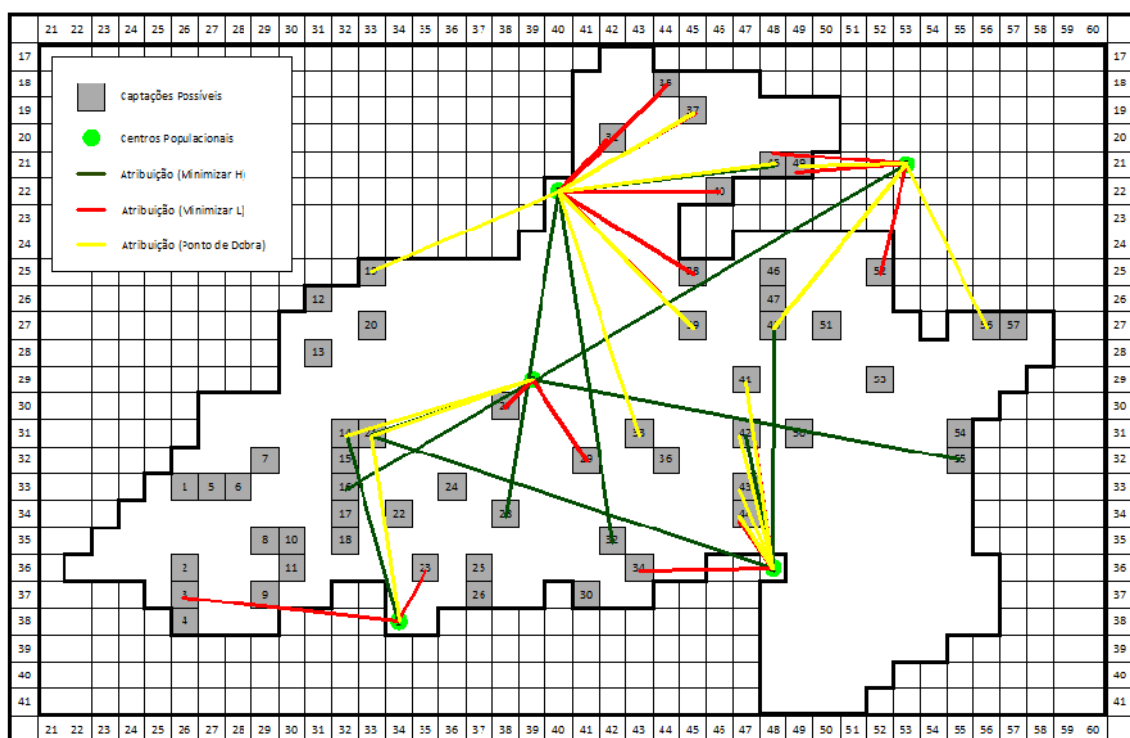


Figura 1 – Fronteira eficiente

Figura 2 – Atribuições para os pontos extremos e para o ponto de dobra (3 soluções eficientes)

Discussão dos Resultados

De acordo com os resultados obtidos para o ponto de dobra (aquele que à partida pondera de forma mais equilibrada os dois objectivos em análise) prevê-se então que, para o problema apresentado, sejam necessárias 14 captações no total. Este valor de captações foi condicionado não só pelas necessidades hídricas de cada centro populacional mas também pelos caudais máximos permitidos em cada captação. Todos os centros (excepto o primeiro) levaram ao limite uma ou várias captações. Isto deve-se ao facto de ser preferível abrir menos captações e extrair o máximo possível, sem criar impactos negativos no local (necessidade de limitar os rebaixamentos), do que abrir inúmeras captações para extrair pequenas quantidades de caudal. As captações da direita foram tendencialmente as escolhidas, por se encontrarem mais próximo dos centros de consumo, e se olharmos para a Matriz dos Coeficientes de Influência chegamos à conclusão que é esta zona que apresenta

coeficientes mais baixos, o que, consequentemente, provocará rebaixamentos menores e não acarretará problemas ambientais naquela zona.

Fazendo agora uma análise às soluções obtidas para os pontos extremos da fronteira eficiente e à solução correspondente ao ponto de dobra (**Figura 2**), verifica-se que quando apenas se pretende minimizar a distância ponderada de transporte, o número de captações necessárias ao abastecimento dos 5 centros populacionais aumenta consideravelmente (18 captações), quase atingindo o limite máximo estipulado inicialmente. Abrir um número elevado de captações, apesar de ser benéfico em situação de avaria de uma das captações (as restantes, tendo capacidade suficiente, poderão continuar a garantir o abastecimento de água às populações), acarreta sempre elevados custos de instalação, operação e manutenção, tornando esta solução pouco viável. Por outro lado, minimizar apenas as alturas de elevação parece também não ser uma boa escolha. Para esta situação foram escolhidas captações muito afastadas dos centros, sendo, por vezes, necessário percorrer todo o aquífero para efectuar o transporte de água, o que, inevitavelmente, conduz a elevados custos de transporte. Comparando estas duas soluções com a solução do ponto de dobra pode-se constatar que algumas das atribuições seleccionadas para os pontos extremos da fronteira eficiente se repetem na solução do ponto de dobra, excepto no que diz respeito ao centro populacional 1, em que a captação seleccionada é diferente em qualquer um dos pontos em análise. Na solução correspondente ao ponto de dobra é visível uma clara preferência em optar-se por uma captação que apresente um nível estático baixo em vez de uma captação que diste o menos possível do centro. Relativamente aos centros 2, 3 e 5 verifica-se uma certa tendência para repetir na solução do ponto de dobra as captações dos pontos extremos desde que estas apresentem cota topográfica superior à do centro em questão. Todas essas captações além de apresentarem níveis estáticos não muito elevados também se encontram relativamente próximas dos centros de consumo, conseguindo-se assim encontrar uma solução ponderando os dois objectivos em estudo. Já no centro populacional 4 parece haver uma certa preferência por minimizar as distâncias de transporte visto que as captações escolhidas para esta situação se repetem na solução do ponto de dobra.

Considerações Finais

A aplicação do modelo desenvolvido por Cunha e Antunes (1997) a um caso real permitiu concluir que este modelo pode ser utilizado de forma simples e ser útil na determinação da localização e dimensão de sistemas de captação de água para satisfazer as demandas da população. Outra vantagem deste modelo diz respeito ao facto de este poder ser resolvido utilizando software comercial em tempo razoável. Este estudo teve como objectivo criar linhas de orientação que fossem úteis para os agentes de decisão na procura de soluções viáveis para os problemas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos. O carácter multiobjectivo do problema aqui apresentado faz com que não exista uma solução óptima, mas sim um conjunto de soluções eficientes em que diferentes pesos são dados aos objectivos.

Palavras-chave: Sistemas Aquíferos, Programação Multiobjectivo, Gestão Integrada

Referências Bibliográficas

- Almeida C., Mendonça, J. J. L., Jesus M. R., Gomes, A.J., (2000). “*Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental [Update of the inventory on aquifer systems in continental Portugal]*”. Centro de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e Instituto da Água, Lisboa.
- Cunha, M. C.; Antunes, A. P. (1997). “*On the Efficient Location of Pumping Facilities in an Aquifer System*”. International Transactions of Operational Research, Vol. 4, N.º 3, pp 175-184.
- Lobo Ferreira, J. P. C., Migliari, E., (2004). “*Gestão optimizada das águas subterrâneas: aplicação ao caso de estudo do abastecimento de águas subterrâneas do concelho de Palmela*”. pp. 127-136.
- Migliari, E., Lobo Ferreira, J. P., (1997). “*Groundwater optimal management. A literature review and an application to Palmela water supply system*”. Lisboa, LNEC, Relatório GIAS 215/97, 105.
- Oliveira, M. M., Moinante, M. J., Lobo Ferreira, J. P., (1994). “*Estudo da caracterização dos aquíferos e dos consumos de água na península de Setúbal*”. Contribuição do LNEC para o Relatório da HP. Relatório Final. Lisboa, LNEC, Relatório GIAS 37/94, 124