



REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES
ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS DOS AÇORES
IV SEMINÁRIO TÉCNICO

Águas e Resíduos dos Açores – Progressos e Desafios

31 de maio de 2016, Teatro Faialense, Horta

PERÍMETROS DE PROTEÇÃO ÀS CAPTAÇÕES DE ÁGUA – FUNDAMENTAIS PARA A QUALIDADE DA ÁGUA

João Paulo LOBO FERREIRA

Doutorado em Engenharia Civil (IST), Dr.-Ing. Habil. (TU Berlin), Investigador-Coordenador do LNEC,

<http://www.lnec.pt/pt/lnec/conselho-diretivo/assessoria-para-as-relacoes-internacionais/>

Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas do LNEC (GIAS/NAS), de 1990 a 2013

Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisboa (Portugal), lferreira@lnec.pt

Presidente da Comissão Diretiva da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH), de 1992 a 1994;

Membro do Conselho Geral da APRH, <http://www.aprh.pt/congressoaqua2016/lf.html>

RESUMO

A delimitação de perímetros de proteção de origens de água tem sido reconhecida como uma das principais ferramentas para garantir a qualidade dessas origens enquanto componentes de sistemas de abastecimento de água para consumo humano. A sua importância veio a materializar-se na legislação comunitária e nacional, que estabelece a obrigação de delimitação de perímetros de proteção previamente à atribuição de títulos de utilização de recursos hídricos para abastecimento público. Esta é, contudo, uma tarefa complexa e exigente, pelo que o Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) entenderam, em 2009, publicar em parceria o Guia Técnico Nº 11 sobre Proteção das Origens Superficiais e Subterrâneas nos Sistemas de Abastecimento de Água, de autoria de JP Lobo Ferreira, Teresa E Leitão, Manuel M Oliveira, João Soromenho Rocha e Ana Estela Barbosa (*cf. Lobo-Ferreira et al., 2009*)¹. Esse Guia Técnico tem um carácter essencialmente prático e visa apoiar as entidades gestoras na delimitação adequada dos perímetros de proteção e no cumprimento das respetivas obrigações legais, promovendo simultaneamente uma maior fiabilidade do serviço público de abastecimento de água bem como a salvaguarda da saúde pública.

O texto que se apresenta nesta comunicação foi adaptado de Lobo-Ferreira *et al.* (2009). Apresentam-se os aspetos relacionados com a proteção de origens de águas subterrâneas, descrevem-se os critérios e metodologias para delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas e as restrições à utilização do solo no interior dos perímetros de proteção. Inclui-se uma descrição da utilização de modelos numéricos de escoamento e transporte de massa em águas subterrâneas. Complementa-se a comunicação com as ações a desenvolver para uma adequada gestão dos perímetros de proteção após a sua delimitação, nomeadamente, inventariação de fontes potenciais de poluição, implementação de redes de monitorização, definição de planos de contingência e informação e participação do público.

¹ Disponível em

<http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?SubFolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSito%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao%5cPublicacoesIRAR&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSito%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao&GenericContentId=0&BookID=2093> .

1. PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1.1. Nota introdutória

O **perímetro de proteção** limita a superfície envolvente de uma ou mais captações de águas subterrâneas destinadas ao **abastecimento público**, onde as atividades suscetíveis de alterar a qualidade da água subterrânea, são limitadas, proibidas, ou regulamentadas de modo progressivo (*i.e.* as restrições diminuem com o aumento da distância à captação).

Perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas

De um modo geral, as zonas englobadas num perímetro de proteção são as seguintes:

- Zona de proteção imediata ou de restrições absolutas: zona mais próxima da captação, onde é proibido qualquer tipo de atividade e/ou instalação, exceto as que se prendem com o funcionamento da captação; na sua delimitação pode ser utilizado um critério temporal, nomeadamente um tempo de propagação de 24 horas (ITGE, 1991), ou uma distância fixa de pequena extensão.

- Zona de proteção intermédia ou de restrições máximas: zona que envolve a anterior e cuja função é proteger o aquífero contra a poluição microbiológica (bactérias, vírus, etc.), favorecendo a sua diluição ou eliminação, antes de alcançar a captação; deve permitir, após ser detetada a poluição, um tempo de resposta suficiente para que sejam tomadas as medidas necessárias antes do poluente atingir a captação.

- Zona de proteção alargada ou de restrições moderadas: zona cujo objetivo é proteger a captação da poluição de grande persistência, ou seja, de difícil atenuação (*e.g.* poluição química não degradável ou poluição radioativa); deve permitir, após ser detetada a poluição, um tempo de resposta suficiente para que seja encontrada uma fonte de água alternativa para consumo humano.

- Zona de proteção especial: zona que assume maior importância no caso de aquíferos cársicos ou fraturados e que delimita áreas mais afastadas, localizadas fora do perímetro de proteção, mas que apresentam conexão hidráulica com a captação devido à existência de condutas ou fissuras; as restrições nesta zona são equivalentes às da zona de proteção imediata.

- Zona de proteção perante a intrusão salina: zona definida em regiões costeiras, sendo restringidos os caudais extraídos que conduzam a uma eventual degradação da qualidade da água subterrânea, devido ao avanço da cunha salina em direção ao aquífero.

- Zona de proteção da quantidade: zona onde devem ser controlados os volumes de água subterrânea extraídos, de modo a garantir a sua quantidade.

1.2. Critérios de delimitação dos perímetros de proteção

A delimitação de perímetros de proteção de águas subterrâneas pode basear-se nos **critérios** que se apresentam em seguida, que não são mais do que a base técnica para essa delimitação (ITGE, 1991; EPA, 1994):

Critérios de delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas

1) Distância

Critério simples e rápido, normalmente utilizado numa fase preliminar, que consiste na delimitação simples de uma área circular com centro na captação; como não incorpora o fluxo de água subterrânea pode resultar numa proteção ineficaz, mas é preferível a sua aplicação à total ausência de zonas de proteção.

2) Rebaixamento

Delimitação da zona onde ocorre descida do nível piezométrico (zona de influência) quando a captação é sujeita a extração; este critério considera a existência de fluxo subterrâneo e o aumento da velocidade de chegada da água e, eventualmente, do poluente, à captação.

3) Tempo de propagação / Tempo de percurso

Critério que traduz o tempo que a água subterrânea, e eventualmente, o poluente, demora a alcançar a captação partindo de um ponto localizado no interior da zona de contribuição, também designada por zona de recarga, de alimentação, ou de captura (zona que contribui com água para a captação).

Definem-se isócronas referentes a períodos de tempo pré-selecionados, *i.e.* linhas que ligam pontos a partir dos quais a água demora o mesmo tempo a alcançar a captação; a área contida no interior da isócrona pode ser utilizada como zona de proteção (*e.g.* na área contida na isócrona de 50 dias, o tempo de propagação da água à captação é inferior a 50 dias).

O tempo de propagação mede a velocidade de propagação do fluxo subterrâneo variando, obviamente, com as características hidrogeológicas do aquífero; em aquíferos de elevada velocidade de fluxo subterrâneo, como acontece no caso dos aquíferos carsificados e dos aquíferos fraturados, os tempos de propagação são muito rápidos, na ordem de horas, dias ou semanas, contrastando com os tempos de propagação em aquíferos porosos, na ordem dos anos.

O tempo de percurso é definido na legislação portuguesa (Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro) em 50 dias para a zona de proteção intermédia e em 3500 dias para a zona de proteção alargada, relativamente a captações de água subterrâneas para abastecimento público.

4) Critérios hidrogeológicos / Fronteiras de fluxo

Baseia-se na definição da área geográfica que contribui com água subterrânea para a captação (zona de contribuição), fundamentando-se nas divisórias hidrogeológicas e/ou em outras entidades físicas e hidrogeológicas controladoras do fluxo subterrâneo. A zona de contribuição da captação poderá ser utilizada como zona de proteção, partindo-se do princípio que um poluente lançado nessa zona pode, eventualmente, alcançar a captação sob o gradiente hidráulico em questão.

Estes critérios deverão ser utilizados em conjunto com outros, de modo a ajustar e a melhorar os resultados obtidos.

5) Poder autodepurador do terreno / Capacidade de assimilação

Considera a capacidade que a seção do aquífero tem para imobilizar ou atenuar a concentração de poluentes que a atravessam, antes destes alcançarem a captação; torna-se possível determinar a extensão de terreno que o poluente tem que atravessar até alcançar concentrações aceitáveis para o consumo humano.

A aplicação deste critério implica um bom conhecimento prévio tanto das características do aquífero (*e.g.* textura, estrutura, porosidade e composição mineralógica) como das características do poluente; o comportamento do terreno perante um fenómeno de poluição depende do tipo de poluente que o atravessa. Implica igualmente conhecimentos sobre modelos numéricos de transporte de poluentes e grande quantidade de informação sobre a hidrologia, a geologia e geoquímica da área estudada, tornando-se pouco viável no caso de estudos limitados.

A seleção do critério a aplicar depende de diversos factores, nomeadamente (a) considerações técnicas (*e.g.* facilidade de aplicação, facilidade de quantificação, adaptabilidade a alterações, facilidade de verificação no local, concordância com o modelo hidrogeológico escolhido e capacidade de incorporar processos físicos), (b) objetivos da proteção (tempo de reação, atenuação de poluentes e proteção de toda ou parte da zona de contribuição) e (c) considerações políticas (facilidade de compreensão por parte do público em geral, custos associados à aplicação do critério, defensibilidade contra eventuais reclamações por parte de entidades afetadas, utilidade no faseamento do programa de proteção e incorporação do objetivo de proteção selecionado).

1.3. Metodologias de delimitação dos perímetros de proteção

Neste subcapítulo são apresentados alguns dos **métodos** existentes para delimitação dos perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas, podendo ser utilizado mais do que um método no mesmo processo de delimitação.

Método do raio fixo arbitrário

Método simples que envolve a definição de uma área circular, com centro na captação e cujo raio é escolhido arbitrariamente. Essa escolha deve considerar as condições hidrogeológicas locais ou basear-se nas dimensões obtidas por outros métodos relativamente a outras captações existentes na mesma região. É normalmente utilizado na definição da zona de proteção imediata, sendo igualmente utilizado para definir uma área de proteção provisória numa fase preliminar, até que seja necessário recorrer a métodos mais complexos, devido a um eventual aumento da necessidade de proteção ou devido a disponibilização de dados mais sofisticados. Pode ser uma metodologia particularmente útil em casos de ameaça eminente de poluição que exija atenção imediata.

Método do raio fixo arbitrário

Métodos Analíticos

a) Método do raio fixo calculado

Este método pode ser aplicado utilizando dois critérios: (i) tempo de propagação do poluente até à captação, ou (ii) rebaixamento do nível piezométrico.

Método do raio fixo calculado

(i) Função do tempo de propagação

Neste caso é calculado o raio de uma secção cilíndrica da superfície do aquífero, centrada na captação, e que multiplicada pela espessura saturada do aquífero contém o volume de água a captar durante um determinado tempo de propagação, tempo esse necessário para que um potencial poluente seja minimizado até apresentar concentrações seguras, antes de alcançar a captação. Por outras palavras, é calculada uma área através da qual a água subterrânea e os poluentes se propagam durante um determinado período de tempo. Admite-se que a captação é a única a drenar o aquífero e que não existem direções preferenciais de fluxo, com todas as linhas de corrente a convergir para a captação (Figura 1).

O único parâmetro hidrogeológico necessário é a porosidade eficaz e a equação a utilizar (Equação Volumétrica) é a seguinte:

$$Q.t = n.\pi.b.r^2 \Leftrightarrow r = \sqrt{\frac{Q.t}{n.b.\pi}}$$

em que Q = caudal de exploração da captação (m^3/d), t = tempo de propagação (dias), n = porosidade eficaz do aquífero, b = espessura saturada na captação² (m) e r = raio do perímetro de proteção (m) (incógnita).

A equação volumétrica é mais adequada para aquíferos verdadeiramente confinados, sem drenância vertical a partir do estrato confinante superior. Não é uma equação muito apropriada para aquíferos de carácter livre, visto que o cone de rebaixamento gerado não é cilíndrico e além disso a recarga não é considerada. É também necessário que o gradiente hidráulico seja mínimo ($< 0,0005$ ou $0,001$), uma vez que gradientes muito abruptos geram zonas de influência não circulares (EPA, 1994).

2 Segundo EPA (1987, in Moinante, 2003) e EPA (1994), corresponde ao comprimento da zona de ralos do furo. Outras fontes, nomeadamente ITGE (1991) e Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001), referem que se trata da espessura total do aquífero. Na realidade, a espessura da zona de ralos corresponde normalmente à espessura da zona saturada, desde que o furo esteja bem construído (Moinante, 2003).

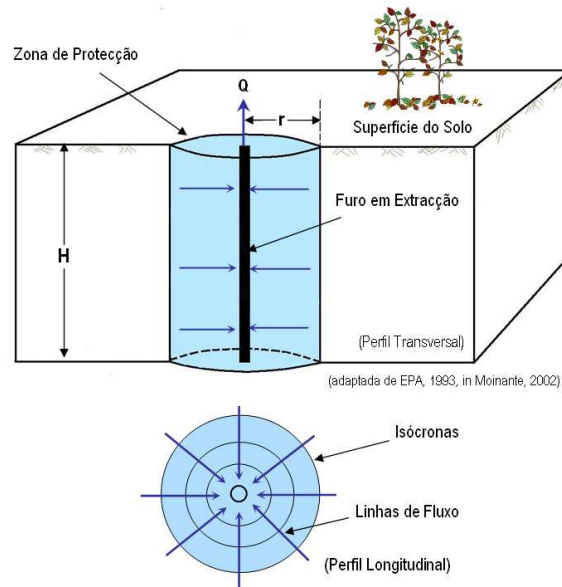


Figura 1 – Definição do perímetro de proteção utilizando o método do raio fixo calculado

Ao ignorar a eventual drenância vertical através do estrato confinante, a equação volumétrica assume que toda a água tem origem no aquífero, resultando numa sobreproteção, no caso dos aquíferos semiconfinados. Caso seja possível quantificar a drenância, ela poderá ser incorporada na equação volumétrica do seguinte modo (EPA, 1994):

$$Q = Q_a + Q_i \quad \begin{cases} Q_a - \text{volume de água extraída do aquífero,} \\ Q_i - \text{volume de água que entra no aquífero através da drenância.} \end{cases}$$

Uma vez que os dois valores dependem do raio (incógnita) pode obter-se a solução por tentativa e erro, até ser encontrado o raio para o qual $Q_a + Q_i$ iguala o caudal de extração.

Segundo DEQ e OHD (1996, *in* Moinante, 2003) este método é aceitável para populações inferiores a 500 habitantes, abastecidas por uma ou mais captações de água subterrânea.

A aplicação do método do raio fixo calculado em função do tempo de propagação é sugerida e descrita na legislação portuguesa (Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro) para os casos em que não existem estudos hidrogeológicos ou não seja possível a sua realização.

(ii) Função do rebaixamento

Neste caso, a área definida é aquela na qual é produzido um determinado rebaixamento do nível piezométrico de um aquífero. O ajuste dos resultados obtidos à realidade é tanto melhor quanto melhor for o ajuste da realidade física do caso estudado às condições limitativas assumidas no seu planeamento. Essas condições são as seguintes (ITGE, 1991):

- ausência de recargas anteriores;
- o aquífero é homogéneo e isotrópico relativamente à sua permeabilidade;
- o aquífero é infinito na sua extensão;
- a captação tem diâmetro igual a zero;
- a captação atravessa completamente a formação aquífera;
- a água captada é descarregada instantaneamente e não volta a entrar no aquífero;
- o fluxo de água é radial em torno da captação e não existem componentes verticais;
- a superfície piezométrica regional é praticamente plana;
- o caudal de extração é constante.

A equação utilizada na aplicação deste método é a Equação de Theis, para regime variável:

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u)$$

em que T = transmissividade do aquífero (m^2/d), s = rebaixamento num ponto localizado a uma distância r da captação (m), $W(u)$ é a função de poço e u é uma função auxiliar com o seguinte valor:

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t} \Leftrightarrow r = \sqrt{\frac{u \cdot 4 \cdot T \cdot t}{S}}$$

sendo, S = coeficiente de armazenamento ou cedência específica do aquífero e t = tempo decorrido desde o início da extração (dias).

$W(u)$ designa-se por função de poço e, por não ter solução analítica, foi resolvida por métodos aproximados, resultando a tabela da função de poço $W(u)$ e u .

A determinação do raio da zona de proteção inicia-se com o cálculo da função de poço $W(u)$:

$$W(u) = \frac{4 \cdot \pi \cdot T \cdot s}{Q}$$

procurando-se posteriormente o valor de u na tabela da função de poço. Torna-se possível obter o valor de r (distância à captação onde se produz um rebaixamento s , utilizado como critério de delimitação da zona de proteção). De modo a que o perímetro de proteção seja mais correto, o raio calculado é normalmente "estendido" na direção do fluxo da água subterrânea.

A utilização do método do raio fixo calculado, tanto em função do tempo de propagação como do rebaixamento, é simples, pouco dispendiosa, exige pouca experiência especializada e os dados necessários estão quase sempre disponíveis. Apresenta maior precisão que o método anterior, do raio fixo arbitrário, mas continua a tratar-se de um método pouco exato, uma vez que não considera todos os fatores hidrogeológicos que influenciam o transporte de poluentes (Wallin, 1997, *in* Moinante, 2003). Deste modo, é indicado para as primeiras fases de um programa de proteção, ou em casos em que fatores não considerados no método não assumam grande importância.

É um método pouco preciso quando se trata de aquíferos heterogêneos e anisotrópicos. Pode levar a sobreproteção a jusante da captação e a subproteção a montante, por não ser considerada a zona de contribuição, conduzindo na maioria das vezes a uma área superior à obtida pelos restantes métodos (EPA, 1994; DEQ e OHD, 1996; *in* Moinante, 2003).

b) Método de Kreitler e Senger

Para situações de gradiente hidráulico regional significativo, em que o cone de rebaixamento é assimétrico, estendendo-se a maiores distâncias a montante da captação do que a jusante, Kreitler e Senger (1991, *in* EPA, 1994) definiram a seguinte equação do tempo de propagação, modificada a partir de Bear e Jacob (1965, *in* EPA, 1994), que se apresenta em seguida:

Método de
Kreitler e
Senger

$$t_x = \frac{n}{K \cdot i} \left[r_x - \left(\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot i} \right) \ln \left\{ 1 + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot i}{Q} \right) \cdot r_x \right\} \right]$$

sendo r_x = distância percorrida durante t_x (m) (positiva se o ponto estiver a montante da captação e negativa se estiver a jusante), t_x = tempo de propagação a partir do ponto x até à captação (dias), b = espessura do aquífero (m), i = gradiente hidráulico antes da extração (adimensional) e K = condutividade hidráulica (m/d).

O cálculo da distância para um determinado tempo de propagação implica cálculos de tentativa e erro com diferentes valores de distâncias, até que seja obtido o tempo de propagação desejado. Resulta apenas a distância ao longo de uma linha que passa na captação e que é paralela à direção de fluxo, *i.e.* definida por um ponto a montante e um ponto a jusante da captação.

Quando se pretende utilizar este método com vista à definição do perímetro de proteção, esta equação deve ser utilizada em combinação com a *Equação de Fluxo Uniforme* que permite definir a zona de contribuição da captação, ao calcular-se o ponto nulo X_L (ponto de escoamento nulo, onde não há movimento de água e que consiste na fronteira do fluxo, para a

captação, a jusante), e também a largura máxima Y_L da zona de contribuição, perpendicularmente à direção do fluxo subterrâneo (Figura 2).

$$X_L = -\frac{Q}{2\pi \cdot K \cdot b \cdot i} \quad \text{e} \quad Y_L = \pm \frac{Q}{2 \cdot K \cdot b \cdot i}$$

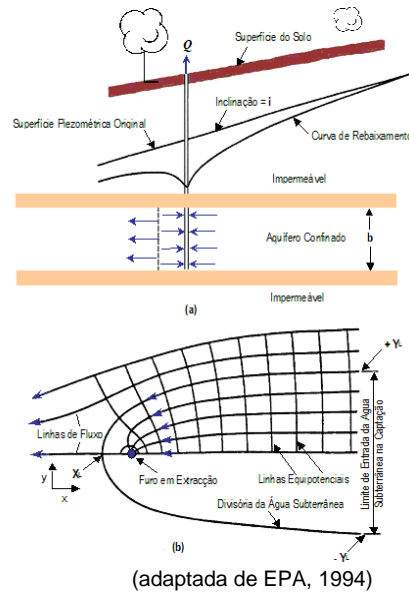


Figura 2 – Definição dos perímetros de proteção utilizando a Equação de Fluxo Uniforme

c) Método de Wyssling

Método simples, aplicável a aquíferos livres, porosos e homogêneos, que se baseia no cálculo da largura da zona de chamada de uma captação (parte da zona de contribuição onde ocorre rebaixamento do nível piezométrico como consequência da extração e onde o fluxo se dirige para a captação) e na procura posterior do tempo de propagação desejado, apresentando a desvantagem de não considerar as heterogeneidades do aquífero (ITGE, 1991). Utilizando as equações que se apresentam em seguida, é possível determinar as distâncias de proteção a jusante e a montante da captação (Figura 3):

Método de Wyssling

$$v_e = \frac{K \cdot i}{n}$$

em que v_e = velocidade eficaz (m/d);

$$l = v_e \cdot t$$

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi \cdot b \cdot i}$$

$$S_0 = \frac{l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2}$$

em que S_0 = distância (em metros) correspondente ao tempo t no sentido do fluxo (a montante da captação);

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2}$$

em que S_u = distância (em metros) correspondente ao tempo t no sentido contrário ao do fluxo (a jusante da captação).

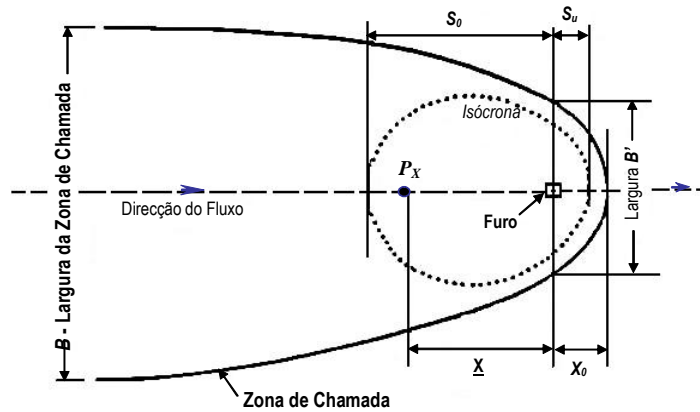


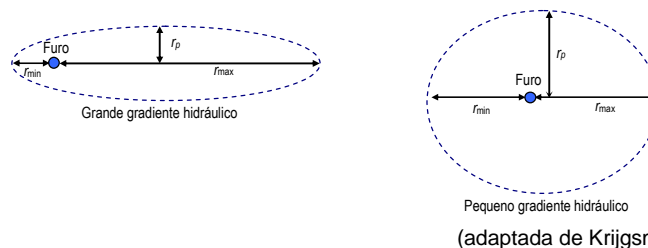
Figura 3 – Definição do perímetro de proteção utilizando o método de Wyssling (adaptada de ITGE, 1991)

d) Método de Krijgsman e Lobo-Ferreira

Trata-se de uma abordagem mais elaborada, que necessita do conhecimento da piezometria regional, encontrando-se publicada em Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001).

De acordo com Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001), numa situação de gradiente hidráulico inclinado, a zona de proteção intermédia para um tempo de deslocação de 50 dias, terá a forma de uma elipse cuja forma depende do gradiente hidráulico, *i.e.* quanto menor for o gradiente mais a sua forma se aproxima de um círculo (Figura 4). Como se pode verificar, o valor de r_p situa-se entre os valores de r_{max} e r_{min} ; quanto maior for a proporção entre r_{max} e r_{min} , menor será o valor de r_p .

Método de
Krijgsman e
Lobo-Ferreira



(adaptada de Krijgsman e Lobo-Ferreira, 2001)

Figura 4 – Forma da zona de proteção intermédia em situações extremas de gradiente hidráulico

Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001) sugerem a utilização das três equações que se apresentam em seguida, para o cálculo da zona de proteção intermédia de uma captação:

Distância de proteção a montante da captação:

$$r_{max} = (0,00002x^5 - 0,0009x^4 + 0,015x^3 + 0,37x^2 + x)/F$$

com $x = \sqrt{\frac{2Ft}{A}}$, $F = 2\pi Kbi / Q$ e $A = n / Ki$,

Neste caso não devem ser utilizadas combinações de parâmetros que conduzam a um valor de $x > 18$, o que pode suceder quando:

- K muito elevada, como acontece, por exemplo, em aquíferos carsificados; este método não se ajusta a estas situações;
- zonas com gradientes muito elevados, que não devem ser incluídas nos mapas, já que as captações não são normalmente construídas nestas zonas;
- furos cuja zona de ralos tem um grande comprimento;

- caudal de extracção muito pequeno, como acontece nas captações privadas, onde este método não se ajusta.

Distância de proteção a jusante da captação:

$$r_{min} = (-0,042x^3 + 0,37x^2 - 1,04x)/F$$

Neste caso as limitações a ter em conta são as seguintes:

- se $x < -3,5$ deve aplicar-se uma distância mínima de proteção igual a 25 m como medida de segurança, uma vez que se torna muito arriscado aplicar distâncias muito pequenas (< 25 m);
- a equação não deve ser aplicada no caso de valores de $n < 0,1$ (10%).

Distância de proteção na perpendicular à direcção do fluxo:

$$r_p = 4\sqrt{\frac{Q}{nb}}$$

Se r_{max} for superior a quatro vezes o r_{min} , o erro de cálculo pode ser superior a 15% mas, uma vez que isso conduz apenas a sobreproteção, não deve ser considerada uma verdadeira limitação, comparada com a incerteza associada aos dados iniciais.

Krijgsman e Lobo-Ferreira (2001) sugerem um arredondamento do limite montante da elipse, desenhando um círculo de raio igual a r_p , como demonstrado na Figura 5. Projetando essa nova forma no modelo matemático *Visual Modflow* detectou-se um ajuste perfeito à isócrona calculada pelo modelo.

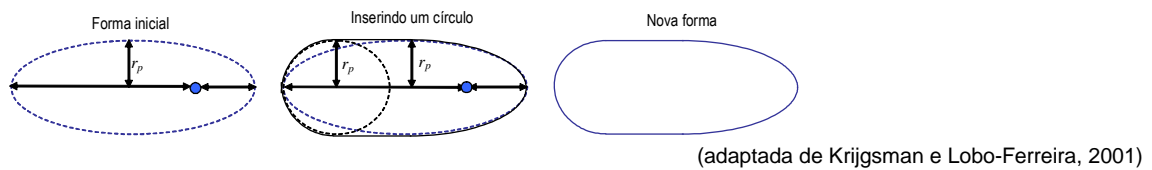
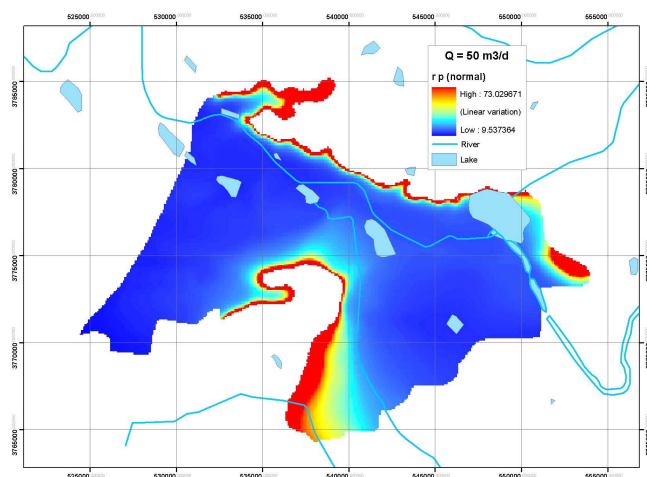


Figura 5 – Arredondamento do limite montante da elipse

Na Figura 6 exemplifica-se uma aplicação do método de Krijgsman e Lobo-Ferreira para o mapeamento da zona de proteção de montante, publicada por Lobo-Ferreira *et al.* (2006).



(Figura adaptada de Lobo-Ferreira *et al.*, 2006)

Figura 6 – Exemplo de aplicação do método de Krijgsman e Lobo-Ferreira

É importante salientar que a aplicação de técnicas analíticas deve ser desenvolvida juntamente com o mapeamento hidrogeológico. Usando apenas as equações analíticas, é necessária alguma precaução na determinação do limite montante da zona de contribuição, porque podem existir motivos de carácter geológico que obriguem à terminação da zona de contribuição mais perto da captação, devido, por exemplo, a um limite geológico, a uma divisória de águas subterrâneas ou a um rio (DEQ e OHD, 1996, *in* Moinante, 2003).

1.4. Métodos Numéricos

Análises mais detalhadas requerem a utilização de métodos matematicamente mais complexos que os anteriores, mais concretamente, de modelos numéricos do escoamento e transporte de poluentes em águas subterrâneas. No entanto, a sua aplicação justifica-se apenas nos casos em que existe informação suficiente para suportar as necessidades de dados de entrada do programa. Nos casos em que se torna necessário estimar grande quantidade de parâmetros hidrogeológicos, os modelos analíticos fornecem o mesmo nível de precisão.

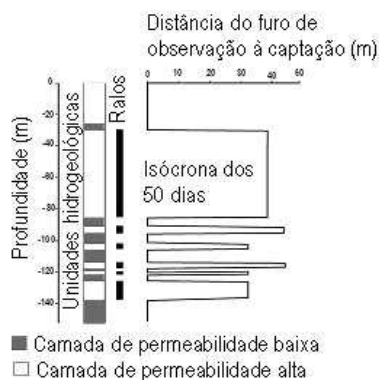
Métodos numéricos

No caso da determinação dos perímetros de proteção, recorre-se ao modelo numérico de transporte, que utiliza os valores de piezometria obtidos no modelo de fluxo, e que permite definir o trajeto das partículas lançadas num determinado ponto. Definem-se então as zonas de proteção, em função do tempo de propagação. Depois de calibrado e validado, o modelo matemático constitui não só uma importante ferramenta na definição de perímetros de proteção, mas também uma ferramenta de planeamento e gestão que permite prever eventuais alterações nos perímetros de proteção causadas por variações nas condições para os quais foram calculados (*e.g.* mudança nos caudais de extração, construção de novos furos, potenciais eventos de poluição, etc.).

Pela sua difusão generalizada referem-se, para exemplificar as aplicações a casos de estudo, os modelos comerciais *Visual ModFlow* (diferenças finitas) e *Feflow* (elementos finitos). Contudo, há muitos outros modelos equivalentes. Estes modelos permitem fazer a modelação tridimensional dos sistemas hidrogeológicos.

Em Lobo-Ferreira *et al.* (2009) apresentam-se exemplos da utilização de modelos numéricos de escoamento e transporte de massa em águas subterrâneas.

Outro exemplo é o modelo matemático *Wellflow* desenvolvido por Feseker e Lobo-Ferreira (2000), com o objetivo de facilitar a delimitação dos perímetros de proteção em aquíferos multicamada. Este modelo permite calcular o tempo de propagação para pontos de entrada das partículas na captação, a diferentes profundidades, sendo possível examinar o efeito protector dos estratos menos permeáveis localizados acima do aquífero. Na Figura 7 exemplifica-se a aplicação do modelo *Wellflow* à captação do Ramalhal, no sistema aquífero de Torres Vedras.



(Figura extraída de Lobo-Ferreira *et al.*, 2006)

Figura 7 – Exemplo de aplicação do modelo *Wellflow* à captação do Ramalhal, no sistema aquífero de Torres Vedras

1.5. Dimensão do perímetro de proteção e restrições ao uso do solo, de acordo com a legislação

O Decreto-Lei n.º 382/1999, de 22 Setembro, que estabelece normas e critérios para a delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, refere no seu Anexo as dimensões de cada uma das três zonas constituintes do perímetro de proteção, para cada tipo de aquífero (Quadro 1).

Dimensões das zonas de proteção

Para a zona de proteção imediata são fixados valores de r (raio da zona de proteção). Relativamente às zonas de proteção intermédia e alargada, r deverá ser o maior valor entre o valor estipulado e o obtido pela aplicação do método do raio fixo calculado, que integra o Anexo do referido diploma, ou outro método considerado mais adequado (Artigo 3º, alínea 3), utilizando um determinado tempo de propagação: 50 dias no caso da zona de proteção intermédia e 3500 dias no caso da zona de proteção alargada.

Quadro 1 - Valores de r estipulados no Decreto-Lei n.º 382/99, de acordo com o tipo de aquífero

Formações constituintes do sistema aquífero	Zona de Proteção				
	Imediata	Intermédia		Alargada	
Formações Porosas	r (m)	r é o maior valor entre		r é o maior valor entre	
Aquífero Confinado	20	40 m	r (50 d)	350 m	r (3500 d)
Aquífero Livre	40	60 m	r (50 d)	500 m	r (3500 d)
Aquífero Semiconfinado	30	50 m	r (50 d)	400 m	r (3500 d)
Formações Carbonatadas	60	280 m	r (50 d)	2400 m	r (3500 d)
Formações Fissuradas	60	140 m	r (50 d)	1200 m	r (3500 d)
Formações Fissuradas e/ou Alteradas	40	60 m	r (50 d)	500 m	r (3500 d)

O mesmo Decreto-Lei define no seu Artigo 6º as servidões administrativas e restrições de utilidade pública.

Na zona de proteção imediata é interdita qualquer instalação ou actividade, com exceção das que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação. Nesta zona o terreno é vedado e tem que ser mantido limpo de quaisquer resíduos, produtos ou líquidos que possam provocar infiltração de substâncias indesejáveis para a qualidade da água de captação.

Na zona de proteção intermédia podem ser interditas ou condicionadas as seguintes atividades e instalações quando se demonstrarem suscetíveis de provocarem a poluição das águas subterrâneas:

- a) Pastorícia; b) Usos agrícolas e pecuários; c) Aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; d) Edificações; e) Estradas e caminhos de ferro; f) Parques de campismo; g) Espaços destinados a práticas desportivas; h) Estações de tratamento de águas residuais; i) Coletores de águas residuais; j) Fossas de esgoto; l) Unidades industriais; m) Cemitérios; n) Pedreiras e quaisquer escavações; o) Explorações mineiras; p) Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias suscetíveis de se infiltrarem; q) Depósitos de sucata.

Na zona de proteção intermédia são interditas as seguintes atividades e instalações:

- a) Infraestruturas aeronáuticas; b) Oficinas e estações de serviço de automóveis; c) Depósitos de materiais radioativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; d) Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; e) Transporte de

hidrocarbonetos, de materiais radioativos ou de outras substâncias perigosas; f) Canalizações de produtos tóxicos; g) Lixeiras e aterros sanitários.

Na zona de proteção alargada podem ser interditas ou condicionadas as seguintes atividades e instalações quando se demonstrarem suscetíveis de provocarem a poluição das águas subterrâneas:

a) Utilização de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; b) Coletores de águas residuais; c) Fossas de esgoto; d) Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias suscetíveis de se infiltrarem; e) Estações de tratamento de águas residuais; f) Cemitérios; g) Pedreiras e explorações mineiras; h) Infraestruturas aeronáuticas; i) Oficinas e estações de serviço de automóveis; j) Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; l) Depósitos de sucata.

Na zona de proteção alargada são interditas as seguintes atividades e instalações:

a) Transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioativos e de outras substâncias perigosas; b) Depósitos de materiais radioativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; c) Canalizações de produtos tóxicos; d) Refinarias e indústrias químicas; e) Lixeiras e aterros sanitários.

Na zona de proteção especial são interditas quaisquer atividades ou instalações.

Nas zonas de proteção contra o avanço da cunha salina podem ser limitados os caudais de exploração das captações existentes e interdita a construção ou a exploração de novas captações de água subterrânea ou condicionado o seu regime de exploração.

2. REFLEXÕES SOBRE VIGILÂNCIA E MONITORIZAÇÃO DAS ORIGENS DE ÁGUA APÓS A DELIMITAÇÃO DOS PERÍMETROS DE PROTEÇÃO

2.1. Nota introdutória

A gestão das origens de água envolve um conjunto de intervenientes e procedimentos diversos que obrigam a que sejam acautelados um conjunto de aspetos de natureza distinta. Nesse sentido, para a gestão adequada das origens de água, não é suficiente proceder à identificação e delimitação dos perímetros de proteção de origens, matéria sobre a qual o capítulo anterior, Moinante (2003) e Lobo-Ferreira *et al.* (2009) dão metodologias concretas para a sua definição. Existe um conjunto de outros aspetos que devem ser assegurados, alguns durante as atividades de delimitação dos perímetros, mas também após a sua delimitação.

Este capítulo apresenta um conjunto de ações a desenvolver para uma adequada gestão dos perímetros de proteção de captações.

2.2. Vigilância e monitorização

Os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica contemplam já, ou deverão contemplar no futuro próximo, planos de monitorização para as zonas protegidas com base nos riscos de contaminação e no histórico das características das massas de água.

O perímetro de proteção por si só não garante de forma absoluta a manutenção da qualidade da água de uma captação. No caso de captações localizadas em locais de grande atividade antrópica, o risco de incidentes que podem afetar a qualidade da água aumenta consideravelmente.

Em caso de acidente, a entidade gestora deve assegurar um sistema de vigilância que permita detetar, em tempo útil, os riscos para a qualidade da água, de forma a assegurar a não utilização da mesma e tomar as medidas necessárias de forma a minimizar os efeitos da contaminação.

Um sistema de vigilância deverá ter em conta três pontos:

- Risco de acidentes;
- Vulnerabilidade do sistema;
- Fiabilidade do perímetro definido.

de forma a garantir que é detetada qualquer variação da qualidade da água, permitindo que a entidade gestora atue em tempo útil em caso de contaminação.

O Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio de 2007, refere no seu Artigo 5º que, quando tal for exigido na emissão do título de utilização, cabe à Entidade Gestora instalar um sistema de autocontrolo ou programas de monitorização adequados às respetivas utilizações. O referido título inclui as características, os procedimentos e a periodicidade de envio de registos à autoridade competente.

2.3. Planos de intervenção

A salvaguarda da qualidade da água superficial e subterrânea depende do condicionamento da utilização das áreas limitrofes.

Ao nível dos Planos de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas a intervenção das Entidades Gestoras de abastecimento público é essencialmente a nível da identificação das suas captações em albufeiras e riscos de poluição associados, e da proposta de elaboração de planos sempre que necessário, na medida em que é essencial a existência de reservas estratégicas de água de boa qualidade no nosso País.

Relativamente ao Plano Nacional da Água as Entidades Gestoras de abastecimento público de água devem ter participação ativa no processo de discussão pública e na representação nos órgãos consultivos da gestão das águas.

As Entidades Gestoras devem interferir na conservação e reabilitação da rede hidrográfica propondo medidas que considerem relevantes para a sua atividade, nomeadamente na salvaguarda de reservas estratégicas para abastecimento público de água e na proteção de zonas de infiltração máxima e em zonas vulneráveis à poluição de aquíferos que possam ser utilizados para abastecimento.

Deverão ser adoptadas medidas cautelares de forma a salvaguardar as instalações de tratamento, centrais elevatórias, adutoras, emissários ou outras infraestruturas em zonas sujeitas a cheias e inundações e a salvaguarda e priorização do abastecimento público de água em períodos críticos, como em caso de secas.

É fundamental a implementação de um plano de contingência que considere eventuais ameaças ao sistema de abastecimento como resultado de acidentes ou falhas nas práticas de gestão implementadas em fases anteriores (e.g. monitorização). O plano de intervenção deve incluir um serviço de controlo centralizado que permita conhecer a qualidade da água a qualquer momento nas diferentes redes de monitorização bem como a existência dos meios necessários para uma rápida intervenção em caso de alerta (e.g. equipamento apropriado, identificação de pessoal a contactar perante um fenómeno de poluição, mapeamento dos perímetros de proteção e de potenciais fontes de poluição, etc.). O plano de contingência deve contemplar um plano de controlo da contaminação que assegure a proteção da saúde pública, bem como soluções a curto e a longo prazo a aplicar perante perda temporária ou permanente da totalidade ou de parte do sistema de abastecimento.

2.4. Manutenção das condições de funcionamento

Definidos os perímetros de captação, devem ser identificadas as ações que tenham por objeto a manutenção das condições de funcionamento dos perímetros (e das captações), por exemplo caso haja lugar ao estabelecimento de barreiras físicas de proteção, serão identificadas as necessidades de manutenção destas estruturas.

A UNESCO/WHO/UNEP (1996) refere algumas ações de gestão de albufeiras que são origem de água para abastecimento, com o objetivo de controlar processos indesejáveis decorrentes da estratificação térmica:

- Eliminação da estratificação térmica; ou
- Rearejamento das águas do hipolimnio, por introdução direta de oxigénio ou ar (sem perturbar a estratificação térmica);
- Manutenção de condições óxicas na microzona acima dos sedimentos (prevenindo a libertação de substâncias indesejáveis associadas aos sedimentos, embora reduza o potencial de desnitrificação; se os sedimentos são ricos em carbonatos, este problema não ocorre);
- Modificação química das características da água com a adição de coagulantes (por ex.: alumínio) ou inibidores (por ex: sulfato de cobre). Esta ação é viável em albufeiras pequenas.

Para o controlo da qualidade da albufeira, no âmbito da utilização como origem de água para abastecimento, explicitam-se no Quadro 2 algumas diretrizes de apoio à monitorização.

Quadro 2 – Indicações de apoio à monitorização numa albufeira para abastecimento público

Local de amostragem:	Junto à captação de água
Frequência da amostragem:	Contínua (diária a semanal).
Aspectos hidrodinâmicos a atender:	Estratificação térmica; Fluxos em curto-circuito.
Parâmetros físicos e químicos a medir:	Temperatura; oxigénio dissolvido; cor; turbidez, pH; sólidos suspensos totais; compostos orgânicos; metais; nitratos.
Avaliação de características biológicas:	Coliformes; clorofila a; espécies de fitoplâncton presentes.

Com a monitorização, pretende-se identificar qualquer alteração que possa ocorrer na bacia hidrográfica e que possa ter repercussões na qualidade da água na origem. Indicadores práticos destas alterações são:

- Alteração do uso do solo;
- Alterações nos usos da água;
- Aumento da população residente;
- Aumento do consumo de água;
- Aumento da impermeabilização do solo (resultante da urbanização e/ou construção de estradas);
- Alterações das massas de água para produção de energia elétrica, navegação, controlo de cheias, etc..

Relativamente às captações de água subterrânea e de acordo com o n.º 1 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro, o perímetro de proteção imediato deve estar vedado e tem que ser mantido limpo de quaisquer resíduos, produtos ou líquidos que possam provocar infiltração de substâncias indesejáveis para a qualidade da água de captação. Cabe à Entidade Gestora sinalizar devidamente este perímetro de proteção, tal como referido no artigo 43º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio.

Nas zonas de proteção intermédia, alargada e eventuais zonas de proteção especial ou zonas de proteção contra a intrusão da cunha salina, deverá existir um acompanhamento dos pressupostos em que se basearam para a sua delimitação, bem como a fiscalização destas áreas de forma a cumprir as restrições descritas nos nºs 2 a 7 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro.

Após a delimitação do perímetro de proteção em torno da captação de água para abastecimento público, deve ser desenvolvido um inventário de potenciais fontes de poluição que inclua não só instalações e atividades atuais e futuras, mas também instalações e atividades históricas já finalizadas mas cujas consequências podem ser detetadas apenas a longo prazo. Caso exista um mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas, a inventariação das potenciais fontes de poluição deve incidir principalmente nas zonas onde a vulnerabilidade é mais elevada. O inventário deverá cobrir uma área superior à do perímetro de proteção devido à incerteza associada à sua delimitação e também para que sejam consideradas eventuais mudanças na exploração ou na recarga devido a mudanças na ocupação do solo. Entre outras vantagens, o inventário (a) permite tomar as medidas adequadas de gestão das fontes de poluição antes que ocorra a poluição das captações, (b) permite concentrar esforços de atenuação da poluição no local exato, em caso de acidente, e (c) constitui uma ferramenta muito útil quando se pretende construir novas captações (EPA, 1994; WDNR, 1999; *in* Moinante, 2003).

A criação de redes de monitorização de recursos hídricos permite a obtenção de dados reais que auxiliam na tomada de decisões em relação à gestão e à proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Como sub-objetivos podem referir-se os seguintes:

- Descrição do estado dos recursos hídricos, incluindo a identificação de situações críticas;
- Detecção atempada de desenvolvimentos desfavoráveis que possam vir a afetar a qualidade e conseqüentemente a disponibilidade de água na situação atual e futura;
- Compreensão dos processos hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e biológicos, obtidos da modelação conceptual e do estudo de relações causa-efeito.

O projeto de execução de uma rede de monitorização depende fundamentalmente da formulação de objetivos específicos claros. No entanto tais objetivos só raramente são formulados sendo a rede construída com base em objetivos mistos.

Para haver uma visualização adequada de uma eventual alteração da qualidade das águas subterrâneas torna-se necessária a instalação de um número adequado de piezómetros. Só assim será possível quantificar as variáveis características do aquífero e possibilitar a modelação da qualidade das águas subterrâneas regionais.

Caso existam aquíferos sobrepostos a análise deve recair sobre o aquífero mais superficial.

A proteção das águas subterrâneas em zonas de risco, isto é, em zonas onde existam atividades suscetíveis de causar poluição, deve ser um procedimento a implementar de forma sistemática. A utilização de infraestruturas de monitorização adaptadas à deteção atempada de eventuais fugas de material poluente poderá, e deverá, ser efetuada pelos processos mais eficazes (e económicos) disponíveis. No caso de zonas onde a profundidade ao nível piezométrico seja inferior a 10 metros, a utilização de sistemas de monitorização da zona vadosa (*i.e.* da zona não-saturada do solo) são ideais. Além de serem sistemas muito mais simples e baratos que os furos, a monitorização por este tipo de processos permite detetar os primeiros sinais de poluição e, assim, controlar a situação antes de se atingirem as águas subterrâneas, evitando a reabilitação de áreas mais vastas (*cf.* Leitão, 1997). No estudo das águas subterrâneas, com base no levantamento das zonas de risco e na caracterização hidrogeológica da região, deverão ser indicados os tipos de situações onde é favorável a instalação deste tipo de infraestrutura. Deverá também ser indicado o tipo de parâmetros a analisar nas amostras de água, com base no comportamento físico-químico e de degradação biológica dos potenciais poluentes da área.

A definição das restrições à utilização do território no interior das zonas de proteção constitui uma situação que pode levantar dificuldades, a serem resolvidas de acordo com a lei, podendo revestir-se de carácter político/administrativo. Trata-se da escolha da filosofia a adotar na proteção dos recursos hídricos subterrâneos à escala local. As abordagens possíveis são as seguintes:

- Padrões qualitativos elevados a conseguir para os recursos hídricos subterrâneos, se necessário, com a aplicação de restrições severas à utilização do território e às atividades sócio/económicas que nele se realizam;
- Adoção de imposições segundo um critério que tem em conta as exigências de conservação da qualidade das águas subterrâneas e, simultaneamente, de tipo sócio/económico relativas à ocupação do solo.

É evidente que a escolha de uma destas abordagens deverá ser complementada com uma série de medidas colaterais que ajudem à sua implementação prática, incluindo a disponibilização financeira. Com base na experiência disponível na União Europeia, relativamente ao problema da proteção dos recursos hídricos, a primeira abordagem parece ser a mais correta. Em situações locais particulares, deveria ser prevista uma abordagem menos restritiva para a gestão das zonas de proteção.

Tendo em conta situações locais particulares, deveria ser permitida a adoção de medidas de proteção ativa para os aquíferos captados, em vez de se submeter o território a obrigações de

difícil aplicação e controlo, caracterizadas por uma relação custo/benefício não sustentável pela comunidade local/regional envolvente. Essas medidas deveriam ser representadas pela:

- Implementação de redes de monitorização do aquífero, com piezómetros localizados no interior e imediatamente a montante da isócrona de 50 dias, tendo em conta as potenciais fontes de poluição presentes no interior e no exterior adjacente à isócrona;
- Realização de depósitos centrais que permitam recolher a água captada, de modo a se conseguir a rápida instalação de um sistema de tratamento no caso de confirmada uma situação de contaminação.

Para a definição das áreas de proteção é aconselhada a adoção das técnicas apresentadas anteriormente e/ou em Lobo-Ferreira *et al.* (2009). Naturalmente, o grau de segurança que pode ser atingido com a simulação é diretamente proporcional à quantidade e à qualidade dos dados hidrogeológicos disponíveis, cuja recolha e elaboração deve ser confiada a um profissional especializado.

A implementação prática de uma norma de proteção de captações é extremamente difícil se não for acompanhada de medidas específicas destinadas a:

- Garantir um nível de indemnização adequado para os sujeitos forçados a cumprir as obrigações e as medidas restritivas resultantes da adoção das medidas de proteção;
- Impor uma política tarifária da água de modo a que o custo da proteção venha a recair sobre os responsáveis pela contaminação e sobre os que beneficiam da proteção, representados em última análise pelos utilizadores;
- Evitar o conflito ou a diluição de competências e de responsabilidades na aplicação da norma, entre Ministérios, Comunidades Locais, Entidades Gestoras, etc.;
- Garantir a obtenção de um nível de sensibilidade e consenso da opinião pública, relativamente à adoção de programas de proteção dos recursos hídricos subterrâneos e das captações.

A definição das áreas de proteção para os aquíferos confinados, em meios porosos, deve ser baseada numa metodologia específica, que deve encarar e individualizar, uma estratégia de proteção baseada na determinação do grau de confinamento do aquífero captado.

2.5. Informação e participação do público

Um aspeto fundamental para uma adequada proteção dos recursos hídricos é a informação adequada aos interessados, dado que a qualidade da água é diretamente influenciada pelas atividades e atitudes da população e atividades económicas presentes na zona de influência das captações.

Os utilizadores de instalações suscetíveis de causar impacte significativo sobre o estado das águas, são obrigados a definir medidas de prevenção de acidentes e planos de emergência que minimizem os seus impactes. Qualquer acidente ou anomalia grave do funcionamento das referidas instalações deve ser comunicada pelo utilizador à autoridade competente no prazo de 24 horas a contar da sua ocorrência (Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio).

A informação sobre os benefícios da proteção e a participação dos interessados deve ocorrer logo aquando da delimitação de perímetros ou do estabelecimento dos planos de proteção, dado que as condicionantes estabelecidas irão influenciar de forma significativa as atividades que se desenvolvem nesses locais e, como tal, importa assegurar que não terão consequências que sejam demasiado gravosas para essas atividades e que por isso mereçam a rejeição dos vários atores. Todas as condicionantes impostas devem ser justificadas e discutidas com os potenciais afetados.

Tanto quanto possível, os processos de decisão sobre esta matéria devem ser participados, sendo garantido o direito de audiência dos interessados previamente à tomada das decisões.

Os Conselhos de Região Hidrográfica podem, neste aspeto, ter um papel relevante, permitindo uma maior representatividade dos vários agentes envolvidos.

No final dos processos decisórios, e após a aprovação das medidas e condicionantes de proteção de uma determinada massa de água, deverá ser distribuída informação à população (por exemplo, na forma de panfletos) com a localização das captações e as condicionantes à utilização do espaço envolvente dessas captações.

A população deve ser informada e alertada da necessidade de aplicação dos perímetros de proteção e das vantagens da implementação dos mesmos de forma a garantir a qualidade da água para consumo humano.

Todas as captações de água deverão estar identificadas com a respetiva designação, entidade responsável e número de telefone de contacto, bem como as principais condicionantes à utilização das áreas limitrofes. Esta informação deve estar colocada em local visível e de forma adequada a uma compreensão pelos diferentes utilizadores.

Quando existem limitações a atividades ou usos em determinadas zonas, estas devem estar também identificadas.

BIBLIOGRAFIA

EPA (1994). *Ground Water and Wellhead Protection: Handbook*. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Water, EPA/625/R-94/001, Setembro de 1994.

FESEKER, T. e LOBO-FERREIRA, J.P. (2000). *Delineation of Wellhead Protection Zones - A Simplified Approach*, in *COASTIN- A Coastal Policy Research Newsletter*, Number 5, Sep. 2001. New Delhi, TERI, 5 pp (<http://www.teriin.org/teri-wr/coastin/newslett/coastin5.pdf>).

ITGE (1991). *Guía Metodológica para la Elaboración de Perímetros de Protección de Captaciones de Aguas Subterráneas*. Madrid, Instituto Tecnológico GeoMinero de Espanha, Dezembro, 1991.

KRIJGSMAN, B. e LOBO FERREIRA, J.P. (2001). *A Methodology for Delineating Wellhead Protection Areas*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Informação Científica de Hidráulica INCH 7, Nov. 2001, 76 pp.

LEITÃO, T.E. (1997) - *Metodologias para a Reabilitação de Aquíferos Poluídos*. Tese de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, publicada nas Teses e Programas de Investigação do LNEC, TPI 11, ISBN 972-49-1733-9, Lisboa, 1997, 493 pp.

LOBO FERREIRA, J. P., OLIVEIRA, M.M., DIAMANTINO, C., NOVO, M.E., MOINANTE, M.J. e YUANYUAN, M. (2006). *Organigramas para selecção de métodos para zonamento e protecção de recursos hídricos subterráneos e de superfície*. In *Tecnologia da Água*, Volume 41- Edição I, Março de 2006, 16 a 24 pp. (Nota do Autor: Disponível em <http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?SubFolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSítio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao%5cPublicacoesIRAR&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSítio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao&GenericContentId=0&BookID=2093>).

MOINANTE, M.J. (2003). *Delimitação de Perímetros de Protecção de Captações de Águas Subterráneas. Estudo Comparativo Utilizando Métodos Analíticos e Numéricos*. Teses de Mestrado LNEC – TM 11. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2003.

UNESCO/WHO/UNEP (1996). *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environment Monitoring – Second Edition*. Ed. by Deborah Chapman.