

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DOS INDÚSTRIAS
DE ÁGUAS MINERAIS
NATURAIS E DE NASCENTE

APIAM



ÁGUAS MINERAIS
NATURAIS
E DE
NASCENTE

CRITÉRIOS
HIDROGEOLÓGICOS
PRINCIPAIS
PARA A DEFINIÇÃO E
FIXAÇÃO DOS
PERÍMETROS DE
PROTECÇÃO

JOSÉ ALCÂNTARA CRUZ

Geólogo

Biografia

JOSÉ F. ALCÂNTARA CRUZ

GEÓLOGO

DIRECTOR DE SERVIÇOS DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS, GEOTÉRMICOS E
PETRÓLEO DA DIRECÇÃO-GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA

Índice

1.	SUMÁRIO	5
2.	INTRODUÇÃO	7
3.	CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS	9
4.	CONCEITO DE POLUENTE	10
5.	DA PROVENIÊNCIA DA POLUIÇÃO	12
6.	DOS SISTEMAS AQUÍFEROS.....	16
7.	CRITÉRIOS DE DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS E ZONAS DE PROTECÇÃO	17
8.	FINS A ATINGIR COM A FIXAÇÃO DE UM PERÍMETRO DE PROTECÇÃO	20
9.	MÉTODOS USADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DAS ZONAS DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO	21
10.	REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA SOBRE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO PARA AS ÁGUAS MINERAIS NATURAIS E DE NASCENTE.....	23
11.	REGULAMENTAÇÃO INTERNACIONAL DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO	26
12.	BIBLIOGRAFIA.....	35

SUMÁRIO

O A determinação, delimitação e fixação de perímetros de protecção a aquíferos e respectivas captações, constituem actos de natureza complexa que requerem estudos aturados e experiência comprovada e que produzem consequências importantes para as explorações a que se destinam. Estes mecanismos de defesa e a metodologia que preside à sua determinação fixação devem aplicar se em sentido lato a todos os corpos de água destinada ao consumo e actividades humanas: no caso português, porém, referiremos apenas os aquíferos das chamadas águas minerais naturais e de nascente que devem representar um caso particular de todos os outros recursos hidrogeológicos e, mesmo, hídricos. Na realidade, o conjunto legislativo publicado em Portugal, a 16 de Março de 1990, sobre recursos geológicos, para os quais regulamentava a pesquisa, definição, defesa e exploração, consignava já a figura de perímetros de protecção para aqueles tipos de água que incluía nas suas definições (minerais naturais e de nascente). Foi este conjunto legislativo que transpôs pela primeira vez, de forma moderna, aquela figura de defesa da água em Portugal e lhes conferiu mecanismos de aplicação eficazes, ainda que, mercê das competências dos diplomas publicados, apenas limitasse a sua aplicação àquele tipo de águas que definia. Concordar se á que a antiga figura legal de zona ou perímetro de defesa bacteriológica, vigente em quadros legislativos anteriores, nomeadamente do Decreto 15401, de 17 de Abril de 1928, era insuficientemente definida e já largamente desadequada.

Os perímetros de protecção são desde há longo tempo contemplados, por vezes muito minuciosamente, em enquadramentos legais de países estrangeiros, e, também, cuidadosamente aplicados, como dissemos, a todos os corpos de água para consumo humano. À parte os aspectos sanitários e imediatamente economicistas que podem resultar da sua fixação e aplicação, pois modernamente, a conservação da qualidade da água, constitui um acto de grande e crescente relevância económica, é necessário ter em conta as servidões administrativas decorrentes da fixação de perímetros, com as suas diversas zonas de actividade condicionada, vêm acarretar, impondo consequências de ordenamento do território, cujas implicações económicas actuam em conjunto com as anteriores, embora nem sempre no mesmo sentido.

É pacífico que se deva tentar definir estes perímetros, necessários e suficientes para a protecção de um determinado aquífero e dos seus meios de exploração, isto é, as suas zonas de protecção não devem ter dimensões demasiado pequenas, de modo a perderem a eficácia, nem ser exageradamente grandes, acarretando um cortejo de servidões administrativas com consequências desastrosas no desenvolvimento e, portanto, na economia. É também pacífico que a justeza e adequação destas dimensões serão tanto maior quanto mais perfeito for o conhecimento científico e técnico de um aquífero e das suas captações a defender, nomeadamente tendo por base o modelo conceptual do sistema aquífero.

Os perímetros de protecção, tal como se encontram regulamentados nos países desenvolvidos, compreendem, de modo geral, três ou quatro zonas ou áreas. Nas zonas próximas ou imediatas (tal como refere a Lei portuguesa) são praticamente proibidas todas as actividades antrópicas; nas zonas sucessivamente mais alargadas as condicionantes e restrições tornam-se mais brandas e permissivas. Existem sistemas legais onde, à parte a regulamentação da necessidade geral de ser estabelecido, embora com rigor, um perímetro de protecção para uma determinada massa de água e para a sua exploração, com a obrigatoriedade eventual de fixação e regulamentação de uma área inicial, se deixa ao cuidado do geólogo nomeado para o delimitar e fixar, a definição de um número variável de zonas complementares, pertencentes ao perímetro, bem assim como a enumeração das respectivas actividades condicionantes que considere adequadas para a defesa da água.

Regra geral, pode dizer-se que as zonas imediatas e intermédias dos perímetros de protecção devem defender a captação e o sistema aquífero aflorante das agressões bacteriológicas, virais e químicas e proporcionar um período de tempo suficiente para se organizarem todos de defesa do recurso, antes de este ou das suas captações serem atingidos por um agente poluidor. Do ponto de vista científico, técnico e, mesmo, legal, nada impedirá a delimitação de várias zonas satélites, imediatas, intermédias ou alargadas, para o perímetro de um mesmo sistema aquífero e para a sua exploração. Em teoria também, as zonas de protecção afastadas (ou alargadas, como são definidas na Lei portuguesa) devem incluir toda a área (ou áreas) de alimentação do sistema aquífero explorado; isto deve acontecer, porém, apenas nas zonas cársicas ou fissuradas, como é o caso de ocorrências de grande número de águas minerais naturais portuguesas.

Este conceito enunciado anteriormente, como se disse de forma geral, deve ser aplicado, porém, com as devidas cautelas, especialmente no caso das grandes falhas regionais, pois, em grande parte e à escala global, não é conhecido o percurso nem as zonas de alimentação de ocorrências de águas relacionadas com estes grandes acidentes que cortam os socos antigos ou se revelam, por qualquer forma, nas bacias Meso-Cenozaicas. É porventura a complexidade e multiplicidade dos circuitos hidrogeológicos estabelecidos e controlados pela fissuração ligada às grandes estruturas regionais, que leva praticamente todos os autores a concordar nesta falta de conhecimentos. Sabe-se apenas que, na grande maioria dos casos, os sistemas de circulação profunda estabelecidos nestes ambientes, apresentam múltiplos ciclos de circulação locais, cuja extensão horizontal à superfície não excede, em regra, dimensões da ordem da dezena de quilómetros; neste enquadramento deve incluir-se, obviamente, aquelas águas portuguesas. Encontra-se, certamente, nestas limitações de conhecimento, combinadas com outros critérios de razoabilidade, como no caso de grandes bacias de alimentação, a explicação para a regra, destituída de fundamento teórico, da distância ou afastamento máximo que aparece em sistemas legais como o alemão, no caso das zonas afastadas dos perímetros de protecção (2 km).

No caso de meios porosos será suficiente considerar apenas o limite das zonas de fluxo em direcção às captações, ou outros limites naturais, para dimensionar as zonas afastadas.

Finalmente não será demais lembrar a necessária colaboração entre os geólogos, os engenheiros de minas e os responsáveis ambientais e do ordenamento do território, para levar a cabo a delimitação e fixação de perímetros, de modo a que estes atinjam os fins em vista, ou seja, uma protecção necessária e suficiente que maximize a defesa e valorização do recurso hidrogeológico e da sua exploração, permitindo o desenvolvimento da região onde este ocorre, com o fim de trazer benefícios a um património comum.

2.

INTRODUÇÃO

De acordo com estudos de âmbito mundial sobre a utilização e as necessidades futuras das águas subterrâneas, no quadro do Programa Hidrológico Internacional da UNESCO, aparece claramente expresso que os níveis de bem estar na Europa e na América do Norte, bem como o progresso esperado nos países em vias de desenvolvimento, dependem em grande parte da disponibilidade de quantidades suficientes de águas subterrâneas de qualidade adequada. A presença constante e, mesmo, o agravamento da quantidade de poluentes que tem vindo a manifestar-se nas águas daquelas regiões, e até nas grandes áreas de reserva à superfície, devido às actividades domésticas, agrícolas e industriais, testemunha claramente a necessidade de se proceder a uma gestão integrada, rigorosa e cuidada, das águas à escala mundial.

As modernas preocupações com o ambiente e, nomeadamente, com a água, foram oportunamente consignadas no conjunto legal português, publicado em 16 de Março de 1990, que regula os recursos geológicos. Designadamente, como dissemos, as águas minerais naturais e de nascente, definidas nesse conjunto legislativo, foram as que primeiro foram protegidas por disposições legais que consignam o estabelecimento de perímetros de protecção aos aquíferos e às suas captações e condicionam a sua rigorosa aplicação.

Nove anos depois, através do Decreto-Lei 382/99, de 22 de Setembro foram definidas as regras e critérios para a salvaguarda das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.

No caso particular das águas minerais naturais, os cuidados ambientais incidem obviamente na sua defesa relativamente a agressões externas que são actualmente de origem quase exclusivamente antrópica. Estes cuidados serão, tanto mais necessários, quanto é facto que a legislação sobre a sua exploração proíbe (com a excepção da filtração e da aeração) quaisquer tratamentos ou adições de substâncias, que, porventura, noutra tipo de águas pudessem vir a

corrigir defeitos de quimismo ou bacteriologia para consumo humano. Os diplomas e respectivos artigos de Lei citados que consagram a defesa das águas minerais naturais e de nascente, visam obedecer às respectivas necessidades de protecção e valorização, e a sua formulação parece harmonizar-se com diversas legislações estrangeiras aplicáveis ao sector, constituindo um instrumento de utilização relativamente flexível e adaptado ao grau de conhecimentos de hidrogeologia dos recursos hidrominerais no nosso país.

A eficácia destas medidas está, porém, condicionada a uma correcta compreensão dos conceitos e mecanismos hidrogeológicos envolvidos e à sua adequada aplicação a cada caso particular de defesa de um desses recursos. Trata-se claramente de um trabalho muito especializado que deve ser realizado por profissionais competentes que, em certos países, a ele se dedicam exclusivamente. No entanto, cremos que a compreensão de alguns dos conceitos básicos que presidem a esta disciplina de delimitação e fixação de perímetros de protecção, terão utilidade se divulgados perante os interessados na matéria, e, em particular, perante os detentores de direitos de exploração de águas minerais naturais e por licenças de estabelecimento de águas de nascente. É neste sentido que apresentamos, também neste trabalho, uma resenha da legislação portuguesa citada sobre o assunto e resumos dos quadros legislativos sobre o sector que, tentámos, fossem tão actualizados quanto possível, embora de um modo não exaustivo, acerca das regulamentações estrangeiras consideradas mais relevantes.

A água, como bem essencial à vida, e, obviamente, em particular, as águas minerais naturais e as águas de nascente, tal como se encontram definidas na legislação portuguesa e noutras, é considerada um bem que, embora renovável (se não for degradado), é cada vez mais raro e valioso na sua forma pura, sendo extremamente vulnerável às agressões ambientais. A sua degradação pode atingir estados irreversíveis, devido a influências externas aos seus sistemas e ciclos naturais. Importa assim conseguir uma aplicação eficaz da Lei, nos aspectos que consagra aos perímetros de protecção como defesa da sua integridade.

O presente trabalho destina-se, de acordo com a filosofia acima exposta, mais a servir de divulgação do que a analisar profundamente os aspectos multidisciplinares de que a problemática dos perímetros de protecção necessariamente se reveste. A dificuldade com que deparamos é, pois, apresentar de forma simples, sucinta, generalista, e por vezes enunciando apenas, os conceitos básicos e fundamentalmente de cariz hidrogeológico que presidem à fixação de perímetros de protecção.

Por pensarmos que poderá, de qualquer modo, ter utilidade a compilação dos conceitos que aqui aparecem, acedemos a apresentar este trabalho que não terá outro mérito que não seja o de enunciar um conjunto de conhecimentos gerais há muito estabelecidos sobre o assunto, e, necessariamente, em alguns dos estudos apresentados para fundamentar as propostas dos

pedidos de fixação de perímetros de protecção ao longo desde 20 anos, após a publicação da referida legislação de 1990.

3.

CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

Os perímetros de protecção são formados ou integrados por áreas (ou zonas) cujas definições e condicionantes devem ter em vista a defesa quantitativa e qualitativa dos recursos hidrogeológicos (ou mesmo hídricos) e da sua exploração. Para a compreensão dos fundamentos que pretendemos transmitir, convirá distinguir, como o fizeram Van Duijvenbooden e Van Waegeningh (1987) entre vulnerabilidade e risco de poluição. A primeira depende necessariamente das qualidades ou propriedades de um sistema aquífero, enquanto o risco de poluição despende obviamente desta mas, também, das actividades antrópicas actuais ou potenciais, exercidas nas zonas que a ele dizem respeito.

Para além dos conceitos teóricos e técnicos que devem presidir à sua delimitação e fixação, as diferentes áreas dos perímetros de protecção devem permitir a aplicação atempada de medidas de carácter logístico, paliativas ou correctivas, caso se verifique um acidente dentro de uma delas, ou restringir de tal modo as actividades (em áreas próximas do recurso) de forma a que a ocorrência de tais acidentes tenha uma fraquíssima probabilidade de surgir, já que a intervenção correctiva não será passível de se desenvolver a tempo. Estas intervenções estão em muitos países reguladas por protocolos de cooperação entre os concessionários ou detentores de direitos de exploração de águas, a Administração, e, nomeadamente, os corpos de bombeiros e departamentos de protecção civil. Prevê se, mesmo, por vezes, a construção de vias de acesso para facilitar a defesa rápida de um recurso considerado vital para uma região. Será interessante referir que em países desenvolvidos, como é o caso da Bélgica, se prevêem, já há longuíssimos anos, zonas de protecção aos sistemas aquíferos e captações e se ensaiam medidas a tomar no caso de acidentes que ponham em risco uma determinada área.

Constitui também uma medida comum que queríamos mencionar, a construção de furos de vigilância, cuja finalidade é a observação, controlo e alerta sobre a qualidade da água. Estes furos, se correctamente posicionados num sistema aquífero, detectam a passagem de agentes poluidores, permitindo uma actuação correctora, antes que estes atinjam as captações em exploração. Estas medidas, embora não previstas especificamente no articulado português sobre perímetros de protecção, podem ser facilmente implementadas e determinada a sua aplicação, através de outros mecanismos legais previstos nos diplomas de 16 de Março de 1990. Relacionados com estes sistemas de controlo, existem em diversos países, como referimos acima, diversos planos de intervenção e de socorro em caso de poluição, reduzidos a regras escritas que se destinam a ser implementados aquando da ocorrência de acidentes.

Por último, não deixaremos de referir a grande utilidade do controlo contínuo através de um sistema de monitorização da água das captações, realizado imediatamente à saída das emergências ou dos circuitos de adução. Estes sistemas enviam, a partir de transdutores, valores de medições de diferentes parâmetros químicos e físicos da água, e estão quase sempre, hoje em dia, ligados a meios informáticos. Este controlo consegue isentar praticamente de qualquer risco de poluição uma exploração comercial de abastecimento público directo ou, sobretudo, de engarrafamento. Muito recentemente a DGEG implementou um projecto-piloto – HIDROMONITOR onde é feito um controlo contínuo e enviados relatórios síntese das 24 horas para a DGEG, os respectivos concessionários e os Directores Técnicos.

4.

CONCEITO DE POLUENTE

São factores estranhos à composição natural, tanto físico química como biológica de uma água, a qual lhe é conferida durante o seu percurso hidrogeológico, desde a infiltração até uma emergência natural ou provocada (furos). São considerados poluentes certos factores químicos (sais minerais, metais pesados, pesticidas, detergentes, hidrocarbonetos, fenóis), físicos (calor, matérias em suspensão, radioactividade), ou biológicos (microrganismos, designadamente vírus e bactérias).

Existem diversas tabelas e regulamentos internacionais que estabelecem limites de quantidades de poluentes para que uma água possa ser consumida. No caso das águas minerais naturais e de nascente. Existem, porém, actualmente diversos regulamentos que facilitam a definição de poluente e as suas concentrações máximas recomendáveis e admissíveis na água de consumo, cujos valores poderão e deverão servir de guia.

Os nitratos e nitritos são poluentes que podemos considerar como sais minerais, cuja frequência e crescimento da concentração, é a mais comum na generalidade das águas dos diversos países. Foi demonstrado largamente que a poluição difusa de nitratos tem origem na agricultura, com a utilização de adubos e com os produtos de rejeição de criações de animais. Assiste-se, por exemplo, em França, desde há quarenta anos, ao crescimento contínuo e regular de nitratos nos principais aquíferos livres daquele país. Em Portugal, ainda que em muito menor escala, parece também manifestar se esta mesma tendência de crescimento em diversos aquíferos.

Dentro desta categoria de poluentes podem citar se ainda os fosfatos, os sulfatos, os cloretos (provenientes, por vezes, em Portugal, nas regiões costeiras, de cunhas salinas causadas por sobre-exploração) e os cianetos, compostos muito tóxicos cuja proveniência pode ser da responsabilidade da indústria petroquímica, siderurgias, etc.

Os metais pesados como o cobre, o ferro e o zinco, que aparecem como poluentes de tipo industrial, não se julga que tenham um efeito tóxico muito acentuado sobre o homem, conferem

sobretudo gosto desagradável à água para consumo. Já o mesmo não acontece com o crómio, que constitui um produto de rejeição de oficinas de cromagem, metalurgia e galvanoplastia, e que é reconhecido como metal cancerígeno. Citemos ainda, entre muitos outros, o arsénio que pode provir de pesticidas, o cádmio que aparece como produto final de certas indústrias cerâmicas, de corantes e de metalurgia e que tem um efeito tóxico muito agudo; o chumbo, o mercúrio, o selénio (este derivado das indústrias de insecticidas) são outros poluentes perigosos cujo controlo deve ser cuidadoso.

Outra classe de poluentes químicos engloba os pesticidas (nos quais se incluem produtos como os insecticidas, herbicidas e fungicidas) e os seus produtos de decomposição, e ainda os fenóis e os difenois e os hidrocarbonetos. A evolução dos pesticidas no solo é ainda mal conhecida, embora seja possível com os meios analíticos de que se dispõe actualmente, pesquisar e determinar facilmente, de forma precisa, a sua concentração em todo o tipo de águas e ciclos hidrogeológicos. Os fenóis e os difenois, que também aparecem como poluentes de origem química, são rapidamente degradados no subsolo. Os hidrocarbonetos estão ligados a contaminações acidentais derivadas de quase todos os tipos de actividades humanas, e a sua eliminação, uma vez contaminado um aquífero, é extremamente problemática, pois apresentam um comportamento atípico no subsolo, que reveste formas ainda não completamente compreendidas.

De acordo com Matthess (1985) as substâncias anteriores apresentam os seguintes períodos de vida média.

Outras substâncias químicas poluentes, que citamos apenas com fins preventivos, têm feito a sua aparição e sido detectadas nas águas dos países desenvolvidos e são descritas na literatura estrangeira da especialidade. Trata-se dos compostos organohalogenados voláteis, ligados quase sempre a uma origem industrial. São geralmente compostos clorados de metano, de etano e de etileno, (tricloroetano, tricloroetileno, e tetracloroetileno) e apresentam grande estabilidade, resistindo à biodegradação. Não são retidas pelos solos, propagando-se facilmente sem qualquer atenuação ou depuração de percurso, mesmo em aquíferos porosos.

Os poluentes biológicos como as bactérias, vírus e outros agentes patogénicos provêm geralmente de fossas sépticas, de descargas de águas usadas em aplicações diversas, nomeadamente, nas criações de animais, etc. São muito facilmente transportados em sistemas aquíferos de tipo fissurado (motivo pelo qual a vigilância deste tipo de poluição em águas minerais naturais tem que se revestir de critérios estritos e muito meticolosos).

As bactérias poluentes são, em geral, eliminadas nos aquíferos subterrâneos, sobretudo nos que se designam por porosos. Estes seres podem sobreviver no subsolo durante algum tempo, variável com a espécie, mas a partir de determinado período começam a desaparecer, ou extinguir-se, de modo exponencial. É, porém, normal considerar que, juntamente com o tempo de

sobrevivência dos diferentes organismos constituintes do cortejo poluidor microbiológico, se deverá conjugar o tempo de transferência e conseqüentemente de atenuação do corpo ou mancha poluidora. Sabe se, além disso, que a sobrevivência das bactérias e vírus no solo é influenciada pela humidade, que prolonga a vida da bactérias, pela baixa temperatura, que aumenta as capacidades de sobrevivência dos dois tipos de organismos, pelo pH, cujos valores baixos encurtam aquele período relativamente às bactérias, e o aumentam no caso dos vírus, e pela radiação solar que elimina muitas das bactérias.

De acordo com Matthess (1988) as bactérias apresentam as seguintes constantes de eliminação, para calcular a redução das suas concentrações em sete unidades logarítmicas, a uma temperatura de, cerca de, 10° C. A fórmula aplicada para cálculo é $C_t = C_0 \exp(-k \cdot t)$, em que C_t designa a concentração no tempo t , C_0 e t_0 respectivamente a concentração e o tempo inicial anterior ao começo da depuração, e, k designa a constante de eliminação de bactérias ou de inactivação dos vírus.

Do cálculo a partir das constantes de eliminação para sete unidades logarítmicas adoptadas para algumas espécies de bactérias mais comuns.

Cita se, apenas para fins elucidativos, algumas das muitas espécies patogénicas de microrganismos que podem contaminar uma água.

Calcula se facilmente, aplicando a fórmula anterior, que existe um período de meia vida para as bactérias de cerca de 1 a 20 dias. No caso dos vírus chega se a durações de 10 a 100 dias (generalizando muito). Em todo o caso, Moreau (1980) assinala que existem estudos que mostram que os tempos de sobrevivência de poliovirus variam de 63 a 175 dias.

A ideia do poder depurador de certos tipos de rochas, relativamente aos vírus, pode ser explicitada no quadro abaixo. Apresentam se as profundidades de penetração e de recuperação numa coluna de areia de diferentes estirpes de enterovirus que podem ter uma ideia da sua susceptibilidade de atenuação. Necessariamente as condições de experiência foram ideais, não podendo os valores indicados generalizar se nem quanto às diferentes espécies de vírus nem quanto aos diferentes tipos de terrenos atravessados (mesmo os porosos) na infiltração e transporte de água num ciclo hidrogeológico no que respeita à relativa facilidade de absorção constatada.

5.

DA PROVENIÊNCIA DA POLUIÇÃO

A Agricultura

Os produtos derivados das actividades agrícolas apresentam se sob a forma sólida ou líquida concentrada ou diluída. A poluição típica das zonas agrícolas é constituída pelos nitratos que

representam geralmente um excedente nutritivo, levado às culturas sob a forma de adubo. Estes compostos têm também origem na transformação do azoto orgânico contido no solo, por acção de bactérias, esta forma de mineralização pode mesmo constituir a origem mais importante de nitratos durante as épocas de lavradio das terras. As criações intensivas de animais apresentam também focos de contaminação de nitratos e fosfatos, e por vezes, de certos metais, utilizados nas rações para alimentação. Os sulfatos podem também aparecer como contaminantes no seguimento de utilização de sulfato de amónio nas culturas.

De modo geral, pode dizer se que existe um risco diminuto de contaminação fecal, por pastagem de bovinos ou outros animais de menor porte, dispersos em prados que ficam sobre sistemas aquíferos instalados a alguma profundidade, desde que a concentração de animais não seja importante; isto porque as bactérias nitrificantes, geralmente do género Nitrosomonas, decompõem os detritos orgânicos em nitritos, actuando em seguida as nitrobactérias que convertem os nitritos em nitratos. Parte destes nitratos são fixados pelas plantas, e outra parte é decomposta pelas chamadas bactérias desnitrificantes em azoto que reverte para a atmosfera sob a forma de gás. Quando não existe equilíbrio de actuação ou a carga nitrada aparece em excesso, os nitratos penetram então, como se disse, nos aquíferos, ou escorrem para os corpos de água superficiais, provocando fenómenos graves de eutrofização. Para além do uso intensivo de adubos e o lavrar dos solos com a penetração cada vez mais profunda dos arados, o problema da criação de animais torna-se pois grave quando estes são concentrados como em certas formas de pastorícia e de criações artificiais dentro de cercados. Mesmo em casos de captações bem protegidas a concentração de matéria orgânica, sob qualquer forma, nitrada ou não, pode ser tão elevada em explorações agrícolas, perto de silos, criações de gado etc. que os contaminantes e as águas com grandes carências de COB, podem provocar efeitos graves nas águas subterrâneas, sendo transportados a grande distância.

Os diversos pesticidas, pelo menos os mais comuns que foram intensivamente estudados, embora o seu comportamento no subsolo seja ainda deficientemente compreendido, parecem causar apenas um efeito superficial, sem penetrações significativas nos sistemas aquíferos profundos, de acordo com os diversos autores consultados, pelo que não serão tratados neste trabalho.

Indústrias extractivas (minas e pedreiras)

Em geral a extracção de pedra de qualquer tipo, produz excedentes inertes do ponto de vista químico. A água que circula através desses detritos não se modifica quimicamente. Pode carregar-se de material sólido em suspensão, que é, porém, facilmente eliminado. Mas a exploração de uma pedreira pode aumentar a vulnerabilidade à poluição de uma dada região, na medida em que obriga a remoções de solo e aterros de camadas superficiais que servem de material atenuador ou depurador no início dos ciclos de água subterrâneos. Se ocorrem focos de poluição esta pode atingir com facilidade os aquíferos superficiais (se não forem tomados os cuidados necessários). As contaminações aparecem geralmente sob a forma de derivados de

hidrocarbonetos, provenientes sobretudo de derramamentos de combustíveis e óleos de motores, e, de produtos de rejeição de instalações sanitárias mal concebidas. Estes efeitos agravam-se se os materiais extraídos constituírem blocos maciços em rochas fissuradas. A cavidade formada pela pedreira pode também representar um foco de poluição por simples efeito topográfico, pela chamada e acumulação de águas superficiais de todas as proveniências que para ela têm tendência a escorrer e a acumular se.

No caso das minas os produtos de rejeição e os contaminantes presentes, constituem um muito maior perigo poluente, devendo salientar-se neste capítulo as minas de metais pesados e de carvão. Os métodos modernos de lixiviação de minas de metais tornam a actividade mineira ainda mais potencialmente perigosa para os sistemas aquíferos.

Pode considerar-se de forma resumida e muito simples, dada a complexidade do assunto, que a contaminação mineira tem por base química, geralmente, numa oxidação de sulfuretos e a sua transformação em sulfatos e o abaixamento do pH; estas condições químicas favorecem a passagem de iões de ferro e manganês para solução, e, mais grave ainda, de quase todos os metais do cortejo parage-nético da mina explorada.

As soluções percolam as rochas e podem contaminar os aquíferos relacionados com a zona mineira com grande variedade de elementos químicos, alguns extremamente nocivos.

Passaremos em claro as dificuldades provocadas pela exploração dos hidrocarbonetos já que no nosso país não se iniciou a sua exploração. Sobre a contaminação química e física (por calor) ligada à exploração dos fluidos geotérmicos, queremos salientar que no continente português, onde esta actividade começa agora a dar os primeiros passos, não haverá certamente a temer qualquer perigo, mesmo potencial, de poluição de origem química, mas, no caso da temperatura, haverá que acautelar a descarga de efluentes quentes para os cursos de água, como é prática comum em certos estabelecimentos termais. Esta actividade tem, aliás, dois aspectos negativos: o primeiro, relacionado apenas com a actividade termal, consiste na descarga para o ambiente águas que podem estar contaminadas com vírus e bactérias patogénicas, adquiridos durante os tratamentos ou práticas termais (a desinfecção que já se pratica também em muitos estabelecimentos termais nas águas e equipamentos utilizados, pode neutralizar este perigo); o segundo aspecto, que se prende já com a temperatura dos fluidos rejeitados, pode ocasionar a mudança, embora local, da fauna e flora dos cursos de água. Este efeito terá apenas uma importância localmente restrita se a quantidade de fluidos e a sua temperatura se mantiver baixa, como é o caso da actividade termal normal no nosso país (aliás, em explorações termais tradicionais o ambiente está adaptado a descargas primárias de água a temperaturas superiores à do ambiente normal). No entanto, se forem consideradas utilizações geotérmicas típicas, em que intervêm grandes quantidades de fluidos quentes, poderá ser causado um maior impacto; mas as modernas tendências de utilização dos fluidos geotérmicos em "cascata", retirando as calorias (temperatura) ao fluido quente primário e utilizando-o em aplicações cada vez menos

exigentes em temperatura, até que aquela baixa para valores pouco afastados do ambiente, causarão um impacto potencial desprezível.

Actividade doméstica

Nas águas de lixiviação de detritos orgânicos de origem doméstica aumenta a concentração de sulfatos, cloretos, e de amoníaco, que atinge um ponto culminante após o começo da actividade poluidora. A contaminação bacteriológica e viral proveniente desta actividade é, por vezes, muito importante. A concentração destes poluentes nos aquíferos superficiais confinantes com os fluidos rejeitados, diminui depois gradualmente, com flutuações sazonais. Concomitantemente com esta situação, que pode ser grave, assiste-se a uma fixação e portanto atenuação de concentrações de metais pesados e de hidrocarbonetos, por fixação (complexação) em materiais orgânicos de origem vegetal e animal e, designadamente, de papel. A contaminação por detergentes apresenta um aspecto curioso que cumprirá referir, já que, em geral, as diversas substâncias que se incluem neste tipo de compostos, dadas as propriedades físicas que lhes são características, designadamente, de modificadores de tensão superficial da água, não apresentam, em geral, tendência a uma penetração profunda nos sistemas aquíferos. Os diversos autores têm constatado até que a contaminação por detergentes apresenta, por vezes, um percurso ascendente no subsolo, migrando para os níveis superiores na zona suturada e, mercê das flutuações sazonais, acabam por contaminar os corpos superficiais de água; é neste caso, então, que a carga poluidora dos detergentes se poderá revelar prejudicial, agindo alguns dos compostos que deles fazem parte ou derivam, nomeadamente os fosfatos, como nutrientes que provocam a eutrofização de lagos, lagoas, rios, etc.

A actividade comercial apresenta um panorama semelhante à actividade doméstica e não se considera importante especificá-la aqui.

Deverá agrupar se nesta categoria de detritos ditos domésticos, com toda a lógica, os chamados detritos urbanos, que não representam mais que um paroxismo de variedade, quantidade, concentração e, conseqüentemente, de nocividade dos efeitos que falámos. Os recentes domínios de engenharia de tratamento de águas e de detritos urbanos, tem progredido de tal forma, podendo citar se as estações de tratamento de águas residuais, reciclagem de materiais, incineração e aterros sanitários, que o desenvolvimento deste assunto constituiria um fim em si, tal a sua especialização, bem interessante sem dúvida, mas que sai fora da divulgação que aqui (apenas) de pretende fazer.

Actividade da industria transformadora

É a causadora de todo o tipo de poluição, desde o aparecimento de resíduos de cianetos das oficinas metalúrgicas, até aos sulfitos, mercúrio, cádmio, chumbo, selénio, e outros metais pesados, difenois policlorados, fenois, detergentes e, mesmo, resíduos de pesticidas. Encontram se ainda materiais em suspensão que têm tendência a contaminar as águas superficiais. Não será demais salientar que não sendo necessária, no contexto sucinto deste trabalho, a descrição

e gravidade de todos os tipos de poluição causada pelas indústrias transformadoras, se deve recomendar com insistência que nos planos de ordenamento ambiental a diversos níveis administrativos, se preveja, descreva e se consignem limites para as concentrações de matérias nocivas dos efluentes industriais e se regulamentem tratamentos a nível individual e sectorial da indústria e a nível Autárquico, por forma a que estes efluentes possam sofrer tratamento em estações convenientemente concebidas e dimensionadas. Assim os produtos de rejeição final dessas estações poderão ser libertados para o ambiente provocando um impacto admissível (e, sobretudo, calculado) no tocante à sua conservação. Não será prudente confiar se, apenas no poder depurador dos circuitos subterrâneos da água, pode este é, como se disse, facilmente ultrapassável e, além do mais, certos tipos de substâncias poluentes modernas, parecem atravessar os circuitos naturais, mesmo em ambientes de tipo poroso, sem qualquer fixação.

6.

DOS SISTEMAS AQUÍFEROS

A Em condições normais um sistema aquífero está em equilíbrio dinâmico. A exploração de furos, poços, etc., modifica esse estado de equilíbrio e provoca um rebaixamento na sua superfície.

Para determinar as características de um sistema aquífero será necessário conhecer, de modo geral e na medida do possível:

- A litologia do aquífero e a espessura do seu nível produtivo;
- A direcção e velocidade dos fluxos dinâmicos da água;
- Conhecimento de gradientes de quimismo natural para diversas substâncias;
- A origem do recurso com conhecimento das zonas de alimentação e de percurso;
- Partes do percurso ou zonas em que o aquífero é livre ou cativo;
- Os parâmetros hidrodinâmicos;
- Níveis máximos e mínimos anuais;
- Limites dos reservatórios, interacção com níveis primários ou secundários de base, e relações com outros sistemas aquíferos, nomeadamente superficiais, que possam ser considerados independentes do que é estudado;

- Sentido das trocas com sistemas aquíferos relacionados e, se possível, a sua relação consoante os regimes de exploração respectivos;
- A interferência recíproca com captações que exploram outros aquíferos.

Para além destes, no caso particular das nascentes deverá conhecer se ainda:

- A bacia de alimentação;
- As variações sazonais de débito, temperatura, condutividade, etc;
- O balanço hídrico e a infiltração eficaz na bacia de recepção;
- O modelo conceptual de funcionamento do sistema aquífero.

7.

CRITÉRIOS DE DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS E ZONAS DE PROTECÇÃO

Pode recorrer-se a vários tipos de raciocínios no âmbito geral da hidrogeologia para estabelecer os critérios que podem servir para delimitar as zonas que constituirão os perímetros de protecção. Pode assim considerar-se:

- **O poder depurador ou protector do recobrimento e das rochas constituintes do aquífero**

Integra mecanismos de ordem física, química e biológica que podem baixar ou eliminar o teor em elementos indesejáveis, como é o caso dos diversos poluentes. Os constituintes do solo apresentam-se nas três fases clássicas, sólida com os seus componentes minerais e orgânicos, líquida que ocupa os seus poros e na fase gasosa, representada pelas gazes do ar que penetraram no solo. Os mecanismos que intervêm na eliminação das causas de poluição podem ser natureza física ou mecânica agindo fundamentalmente sobre o transporte de partículas sólidas, retendo-as de vários modos. Podem revestir também uma natureza biológica que tem efeito sobre o transporte de bactérias e vírus e ainda sobre a acção daquelas na desnitrificação e degradação de compostos orgânicos. Podem ainda basear-se em mecanismos hidrogeoquímicos que inter-ferem sobre o trânsito das soluções químicas e nas quais se podem integrar, embora com uma certa impropriedade de linguagem, os mecanismos de absorção e adsorção, de precipitação e dissolução em que intervêm iões e moléculas orgânicas e inorgânicas. São estes mecanismos de depuração que permitem a recuperação das águas usadas e cuja compreensão profunda conduziu à concepção e dimensionamento de unidades de

tratamento superficial de águas residuais (ETAR). Uma eficiente depuração (ou um bom tratamento) será aquela que permita a reintrodução das águas nos circuitos hidrogeológicos de onde ela possa emergir no fim do seu ciclo subterrâneo com uma pureza que foi adquirindo ao longo do seu percurso que tem, por vezes, milhares de metros e milhares de anos. Neste caso, o poder depurador da zona não saturada do subsolo tem importância relevante. É verdade que as concentrações em poluentes podem diminuir drasticamente durante a sua passagem pelo solo e pela zona não saturada, mesmo antes de uma água que se infiltrar num aquífero, mas, como se disse, os limites de atenuação são facilmente atingíveis e a capacidade depuradora dos circuitos naturais subterrâneos está, em muitos casos e em muitas regiões, mormente as mais desenvolvidas, a revelar-se insuficiente. Poderão, em casos destes, ter os responsáveis de ser levados a tomar decisões de carácter grave, como a de condenar um ou mais aquíferos a receber as cargas de poluentes insuficientemente tratadas ou, mesmo, a entrar em contacto com resíduos radioactivos. É relevante, no entanto, chamar a atenção para a necessidade que decisões destas se fundamentem, entre outros factores, no conhecimento primordial, tão perfeito e minucioso quanto possível, desses sistemas aquíferos e, sobretudo, das suas relações com outros, pois as consequências de uma falha nesse tipo de conhecimentos poderão revelar-se gravíssimas.

- **Rebaixamento provocado**

Ligado aos conceitos de zonas de influência e de chamada de captações. É necessário fazer uma delimitação o mais precisa possível das zonas que rodeiam as captações de uma exploração, porque qualquer tipo de poluição que nelas penetre irá inexoravelmente atingir essas captações. A forma e dimensões destas zonas dependem do débito de exploração praticado e dos parâmetros hidráulicos dos aquíferos.

- **Tempo de transporte**

Baseia-se no tempo que leva um poluente para se deslocar do ponto de entrada no sistema até à sua chegada a uma captação. É necessário que o tempo de transporte seja calculado, incluindo o solo e a zona não saturada do subsolo; a esse tempo corresponderá uma distância horizontal, que deve então ser delimitada, entre a captação e o limite de uma zona do perímetro de protecção.

No estudo dos tempos de transporte são tidos em conta um maior número de fenómenos físicos que para os outros critérios a estudar.

A extensão de uma mancha de poluição num sistema aquífero depende do regime de escoamento natural da água, que implica um transporte da substância por translação e da sua dispersão (isto é do seu avanço no sistema aquífero mesmo que o fluxo de escoamento fosse estagnante). Dependendo da velocidade de fluxo num sistema aquífero, serão, pois, aplicados

preferencialmente conceitos de convecção e translação para regimes rápidos, em regimes lentos serão sobretudo tidos em conta os conceitos complexos de dispersão, cuja importância será, por sua vez, dependente da velocidade de escoamento da água no sistema aquífero e das suas características litológicas e estruturais. A relevância destes fenómenos de dispersão depende também do tipo de poluição; assim, no caso dos poluentes químicos, a respectiva concentração depende da sua solubilidade, que pode ser modificada pela formação de complexos orgânicos ou pela intervenção de fenómenos de precipitação derivados de modificações das condições químicas dos fluidos de um sistema aquífero. A dispersão dos metais sob a forma iónica é muitas vezes influenciada por fenómenos de adsorção em argilas, ácidos húmicos e por hidróxidos no solo e na zona não saturada. Acontecem fenómenos chamados de desadsorção de certos elementos provocada pelo aparecimento de outros. A fixação de aniões é, em geral, mais fraca que a dos cations; é esta a causa do longo transporte de nitratos, no caso das épocas de chuvas em que os sistemas aquíferos se recarregam.

Quanto aos poluentes orgânicos, estes são mantidos em geral em solução sob a forma molecular, em compostos não polares insolúveis; podem desaparecer dos solos e da água subterrânea por degradação em que o composto é transformado em substâncias mais simples e, geralmente, menos nocivas; por outro lado, podem tornar-se mais tóxicos através de fenómenos complexos que recebem o nome global de activação que os transformam em substâncias mais perigosas para o ambiente em geral e para a saúde pública em particular. Os hidrocarbonetos, em particular, apresentam comportamentos específicos, ligados às condições do sistema aquífero; podem, por exemplo, devido à sua densidade menor que a água, ser fixados na zona não saturada e devido às flutuações das toalhas livres, entrarem periodicamente em solução em aquíferos, revelando-se a sua acção esporádica e periodicamente durante períodos muito longos; podem também, em condições hidrogeológicas diferentes, contaminar francamente um sistema aquífero, comportando-se como focos de poluição contínua.

Os tempos de transporte estão, como se pode constatar pelo que atrás foi exposto, eminentemente ligados aos conceitos de depuração, protecção e atenuação, no caso de estabelecimento de critérios e fins definidores de zonas de protecção.

Os poluentes microbiológicos são geralmente eliminados por filtração e por adsorção. A filtração dependerá objectivamente das características de permeabilidade e de porosidade das rochas do aquífero. Este fenómeno será mínimo nas zonas cársicas e fissuradas.

A adsorção dos vírus e das bactérias começa geralmente a acontecer logo nos primeiros momentos da sua circulação subterrânea, mas a sua fixação por este processo é reversível e os esporos podem, dadas certas modificações de pH e temperatura e, mesmo, de velocidade de fluxo, ser libertados e reactivados.

- **Distância**

Critério empírico, embora prático, a que recorrem algumas das legislações mais evoluídas da União Europeia (cf. Alemanha). Este critério tem o inconveniente de não tomar em conta nem o tempo de transferência nem o tempo de difusão dos poluentes.

- **Direcção dos fluxos no aquífero**

Dizem respeito às particularidades físicas, topográficas ou hidrogeológicas que controlam a deslocação de massas de água nos sistemas aquíferos.

A título de conclusão acerca dos conceitos acima expostos dir-se-á que a escolha de um ou de vários critérios de delimitação descritos depende, por um lado, dos dados de ordem técnica presentes, e, por outro, de imperativos sócio económicos e de ordenamento, adoptando se o que melhor responda aos fins em vista que se referirão adiante.

8.

FINS A ATINGIR COM A FIXAÇÃO DE UM PERÍMETRO DE PROTECÇÃO

Podem conseguir-se meios de defesa e efeitos de diversa ordem na fixação de perímetros de protecção; isto significa que as finalidades a atingir podem ser várias e que dependem de factores tão variados como o grau de conhecimentos sobre a zona, considerações de tipo de ordenamento territorial, vulnerabilidade reconhecida e causas poluentes actuantes ou potenciais. Pode assim considerar-se:

- a) A delimitação de zonas que permitam um tempo de intervenção suficiente para que a captação não seja afectada por poluição. O critério de definição principal será o tempo de transporte.
- b) A delimitação de zonas através das quais a concentração de poluentes ficará atenuada antes de atingir a captação. O critério de definição principal deverá basear-se no poder depurador e protector (adsorção, filtração, biodegradação, diluição, período de vida dos microrganismos, etc.).
- c) A definição de um campo protector em redor da zona de captação em grande parte da zona de chamada de águas. O critério de definição principal é o rebaixamento e zona de chamada.
- d) Protecção de toda a zona de alimentação do sistema de captações. O critério de definição principal baseia-se nos limites de fluxo ou da bacia de recepção. Pode afectar a origem a fenómenos de sobre protecção.

A escolha dos critérios de definição dos perímetros deverá ter em conta, os conhecimentos em presença e a facilidade de obter dados novos.

De notar que a interferência não é aqui muito focada e, de resto, não aparece contemplada nas legislações que estudámos e que mais tarde consideraremos.

Constata-se a tendência nos países europeus e, mesmo, a nível da Comissão da UE, para a implementação de uma gestão das águas subterrâneas como um todo. Tendencialmente, essa protecção deverá conjugar-se com a protecção das águas superficiais, estabelecendo-se, em princípio, métodos e perímetros conjugados de protecção de toda a água.

9.

MÉTODOS USADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DAS ZONAS DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO

Cálculo do poder depurador

Consiste num conjunto de métodos empíricos que se destinam a estimar em que medida um poluente que é introduzido à superfície do solo ou muito perto dela, diminui a sua concentração após um percurso vertical até ao sistema aquífero e depois num percurso aproximadamente horizontal até à captação. Existem índices e quadros de cálculo de poderes depuradores das rochas em relação com diversos poluentes. Cita-se o método de Rhese (1977) em que as diferentes categorias de solo que podem ser encontradas, foram classificadas em função da sua granulometria. O autor estabeleceu as diferentes espessuras de solos necessárias em condições não saturadas para uma depuração das águas poluídas. Também organiza um quadro de casos para os trajectos dentro dos sistemas aquíferos, relacionados com a sua velocidade efectiva. Os índices atribuídos aos diferentes tipos de solos e de rochas estão, portanto, implicitamente ligados à permeabilidade e ao poder de retenção dos seus constituintes, os quais devem necessariamente ser tomados em conta no que respeita à sua espessura.

O cálculo do poder depurador pode relacionar-se com o conceito de vulnerabilidade citado acima e, deste modo, será lícito fazer ligações com o novo método de cálculo de índices de vulnerabilidade designado por DRASTIC. Cada índice corresponde à média ponderada de 7 valores correspondentes aos seguintes parâmetros hidrogeológicos: **D** - Profundidade da zona não saturada do solo; **R** - Recarga profunda dos aquíferos; **A** - Material do Aquífero; **S** - Tipo de solo; **T** - Topografia; **I** - Impacto da zona não saturada; **C** - Condutividade hidráulica. Atribuem-se valores de 1 a 10 a cada parâmetro, em função dos valores locais que se podem obter nas tabelas publicadas. Valores elevados correspondem a maior vulnerabilidade. O índice local é calculado multiplicando o valor atribuído ao parâmetro por um peso ou ponderação, cujo valor

também é encontrado nas tabelas fornecidas que diferem consoante a poluição considerada, e, perante a qual se quer estabelecer a vulnerabilidade da área. Isto é, os pesos dos diversos parâmetros variam com os tipos de vulnerabilidade específica que se querem determinar. O índice **DRASTIC** é então obtido com o seguinte cálculo:

$$\text{DRASTIC} = D \cdot pD + R \cdot pR + A \cdot pA + S \cdot pS + T \cdot pT + I \cdot pI + C \cdot pC$$

Existem diferentes pesos ou coeficientes de ponderação (pD , pR , etc.) calculados para o caso de poluentes normais e para pesticidas.

Determinação gráfica da zona de chamada

Deverá conhecer-se a piezometria antes e após testes de bombagem. Traçam-se curvas de igual rebaixamento em função do débito e deduzem-se as linhas de fluxo que indicam qual a zona de chamada. Como se referiu precedentemente toda a poluição que incida nesta zona irá atingir as captações. O método de determinação gráfica baseia-se geralmente, com maior ou menor grau de refinamento, na conhecida fórmula de Theiss.

Determinação dos tempos de transporte

Por cálculo como os métodos de Hofmann e Lillich (1973) e de Wyssling (1979); por métodos expeditos, aplicando ábacos como apresentam Sauty e Thiery (1975) ou utilizando os ainda mais fáceis nomogramas de Pettyjohn (1987) e de Van Waegeningh e Van Duijvenbooden (1978) e, finalmente, por modelização matemática p. ex. Prickett e numerosa literatura especializada de que se destaca Thiery (1987). São, portanto, diferentes os métodos que se propõem para calcular a distância correspondente a um tempo de transporte que é proposto como limite de uma área do perímetro de protecção. Será um erro considerar que os que envolvem cálculos complexos darão resultados mais concordantes com a realidade; por vezes o simples cálculo com nomograma, para além de ser rápido, produz resultados com um grau de confiança maior que um cálculo por computador ou calculadora; é que, se por um lado a geologia não é uma ciência exacta e os factores indeterminados são muitos, não adianta enveredar por cálculos precisos sobre dados cuja pouca precisão se constata mas é inelutável, sendo apenas um facto da (difícil de compreender) realidade que é inerente à geologia. Geralmente, no entanto, a carência de dados precisos pode ser remediada por estudos, e será tarefa dos projectistas de perímetros decidir aqueles cujo tempo de realização e sobretudo os custos se adequam aos fins em vista.

Na maioria dos países considera-se para os fins de determinação das zonas médias de perímetros de protecção um tempo de transporte clássico de 50 a 60 dias, que derive, como se verá, da legislação Alemã. Este é considerado o tempo mínimo necessário para a eliminação de

uma poluição bacteriológica e que permite um período de tempo considerado suficiente para intervenção no caso de poluição química.

Aliás, grande parte das legislações nacionais dos diversos países baseia-se (nomeadamente nas zonas que se podem designar por intermédias) no de cálculo de tempos de transporte.

Um dos meios de cálculo de tempos de transporte chamado método de Wyssling (1979) consiste numa determinação preliminar da zona de chamada da captação, e, depois, no cálculo da distância correspondente ao tempo de transporte que se pretende que exista numa determinada direcção. Este método, bastante completo, exige a realização de uma bombagem de teste e de certos dados, como a porosidade eficaz, a permeabilidade, a espessura do aquífero, o gradiente hidráulico. É um método do mesmo tipo de que falaremos adiante que foi iniciado pela EPA (Environmental Protection Agency) dos EUA, a qual consiste na determinação da zona de chamada, e depois um limite a montante da captação correspondente a um tempo de transporte determinado.

Será útil referir que diferentes critérios e mecanismos de definição de um perímetro de protecção e respectivas zonas, a aplicar isoladamente de modo exclusivo ou em conjunto, constituindo estudos específicos para cada caso, deverão ser estabelecidos de acordo com os conhecimentos existentes sobre o local e com aqueles que puderem ser conseguidos, recorrendo a métodos cuja importância e custos estejam de acordo com a vulnerabilidade, riscos de poluição e importância económica (e estratégica) da exploração.

10.

REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA SOBRE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO PARA AS ÁGUAS MINERAIS NATURAIS E DE NASCENTE

Transcrevem-se a seguir, do conjunto legislativo português, publicado a 16 de Março de 1990, sobre os recursos geológicos, os artigos de Lei que se aplicam especificamente aos perímetros de protecção e respectivas zonas, relativamente a águas minerais naturais e águas de nascente (para facilidade conjugou-se o enunciado destas Leis).

▪ **DECRETO LEI DOS RECURSOS GEOLÓGICOS N° 90/90, DE 16 DE MARÇO**

Art° 12° - Protecção dos recursos e condicionamento das actividades

4 - Sem prejuízo das disposições constantes de legislação própria, são desde já estabelecidos os seguintes princípios:

a) Nos casos de exploração de recursos hidrominerais, será fixado, com fundamento em estudo hidrogeológico, um perímetro de protecção para garantir a disponibilidade e características da água, bem como condições para uma boa exploração;

b) O perímetro de protecção previsto na alínea anterior abrangerá três zonas: zona imediata, zona intermédia e zona alargada;

Sempre que tal se justifique, poderá a atribuição de licença de estabelecimento relativa a exploração de nascente ser condicionada à constituição de um perímetro de protecção, como referido nas alíneas anteriores.

Artº 42º - Zona imediata de protecção

1 - Na zona imediata referida na alínea b) do nº 4 do artigo 12º, são proibidos, salvo o disposto no nº 3 seguinte:

a) As construções de qualquer espécie;

b) As sondagens e trabalhos subterrâneos;

c) A realização de aterros, desaterros ou de outras operações que impliquem ou tenham como efeito modificações no terreno;

d) A utilização de adubos orgânicos ou químicos, insecticidas, pesticidas, ou quaisquer outros produtos químicos;

e) O despejo de detritos e de desperdícios e a constituição de lixeiras;

f) A realização de trabalhos para a condução, tratamento ou recolha de esgotos.

2 - Na zona imediata ficam condicionados a prévia autorização das entidades competentes da Administração, o corte de árvores e arbustos, a destruição de plantações e a demolição de construções de qualquer espécie.

3 - As obras e os trabalhos a que se referem as alíneas a) b) c) e f) do nº 1, quando aproveitem à conservação de exploração do recurso, poderão ser autorizados pelas entidades competentes da Administração.

ARTº 43º - Zona intermédia de protecção

Na zona intermédia referida na alínea b) do nº4 do artigo 12º, são proibidas as actividades referidas nos nºs 1 e 2 do artigo anterior, salvo quando devidamente autorizadas pela Entidade competente da Administração, se da sua prática, comprovadamente, não resultar interferência no recurso ou dano para a exploração.

Artº 44º - Zona alargada de protecção

Por despacho do Ministro da Economia e do Emprego poderão ser proibidas na zona alargada referida na alínea b) do nº4 do artigo 12º as actividades mencionadas nos nº 1 e 2 do artigo 42º, quando estas representem riscos de interferência ou contaminação para o recurso.

▪ **ÁGUAS DE NASCENTE, DECRETO LEI Nº 84/90, DE 16 DE MARÇO**

Artº 5º - Perímetro de protecção

1 - Sempre que a adequada protecção do aquífero assim o exija, deverá a DGEG definir um perímetro de protecção, nos termos do disposto no Artº 12º do DL 90/90 de 16 de Março, e tendo em atenção a proposta mencionada na alínea b) do nº1 do Artº 4º deste diploma.

2 - O perímetro de protecção mencionado no número anterior e as respectivas zonas serão susceptíveis de revisão a requerimento do titular da respectiva licença ou por iniciativa da DGEG.

▪ **ÁGUAS MINERAIS NATURAIS DECRETO LEI Nº 86/90, DE 16 DE MARÇO**

Artº 27º - Perímetro de protecção

1 - O perímetro de protecção e as respectivas zonas, previstos no nº 4 do artigo 12º do Decreto Lei nº 90/90, de 16 de Março são fixados por Portaria dos membros do Governo competentes, sob proposta do concessionário.

2 - A Proposta a que se refere o número anterior deverá ser apresentada pelo concessionário na DGEG, instruída, nomeadamente com os seguintes elementos:

a) Estudo hidrogeológico no qual se fundamente, baseado no modelo conceptual de funcionamento do sistema aquífero;

b) Planta topográfica, em escala adequada, com a indicação das zonas imediata, intermédia e alargada.

3 – A DGEG, após obtenção de todos os esclarecimentos que, fundamentadamente, tiver por necessários, submeterá a proposta à aprovação pelo Ministro.

4 - O perímetro de protecção e as respectivas zonas serão susceptíveis de revisão, a requerimento do concessionário ou por iniciativa do Estado.

Artº 28º - Reserva de direito

1 - Nas zonas imediatas e intermédia de protecção só o concessionário poderá proceder a trabalhos de prospecção e pesquisa, mediante prévia autorização do Ministro, devendo o respectivo requerimento ser entregue na DGEG, instruído com a necessária fundamentação técnica.

Artº 29º - Protecção dos recursos

Constitui obrigação do concessionário, relativamente às zonas de protecção legalmente definidas, comunicar à DGEG, para efeitos de garantia da efectiva protecção dos recursos, quaisquer factos ou situações nelas verificados.

11.

REGULAMENTAÇÃO INTERNACIONAL DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO

Esta resenha baseia se em informações cuja data mais moderna é de 1999, e é divulgada partindo sobretudo das obras de compilação de A. Lallemand Barrès (1989) e de Van Waegeningh (1983) e da consulta a documentos legais originais dos países que figuram abaixo.

O critério de selecção baseou se no tipo de legislação relativa aos perímetros de protecção considerada da maior importância e sendo representativa de uma corrente de pensamento distinta sobre este assunto. Para que conste, grande parte do material aqui exposto é, por vezes, apenas uma tradução dos trabalhos de A. Lallemand Barrès e Roux(1989).

▪ **ALEMANHA**

A última regulamentação principal que se conhece data de 1975, com aditamentos em 1984. São aplicados por organismos próprios de cada Estado Federal ("Lander").

Determina a existência de:

Nas zonas consideradas de ambiente poroso (s.l.)

Zona I - Deve ter pelo menos 10 metros (ou mesmo 20, se tal se revelar necessário) em redor da captação ou a montante de uma nascente, os terrenos devem ser arrelvados e fechados com vedação. São proibidas nesta zona toda uma série de actividades minuciosamente descritas das quais citamos quase todas: Circulação pedestre; utilização agrícola do terreno; construções de qualquer espécie, silos; estábulos; estradas e caminhos-de-ferro; terrenos de campismo e de desporto; corpos superficiais de água (espelhos de água); cemitérios; pedreiras e quaisquer escavações; explorações mineiras; transporte de materiais radioactivos; derramamentos de hidrocarbonetos; pastorícia; utilização não controlada de adubos; transporte de águas residuais; fossas com água; fossas de esgoto; lagos; aplicações de pesticidas; depósitos de hidrocarbonetos e estações de serviço automóvel; terrenos de aviação e de actividades militares; estações de tratamento de águas residuais; furos de captação de hidrocarbonetos; canalizações de produtos tóxicos; depósitos de materiais radioactivos; refinarias e indústrias químicas

Zona II - Corresponde a uma distância de transporte de 50 dias. Esta grandeza foi arbitrada, porque trabalhos elaborados no princípio do século mostravam que a maior parte dos organismos patogénicos, que geralmente contaminam a água, é eliminada depois deste tempo de trajecto. Esta distância pode, segundo Lander, ser diminuída se houver cobertura. No cálculo do tempo de transporte de 50 dias, considera-se inicialmente um percurso vertical e, a seguir, horizontal, até à captação. São apenas permitidas as duas primeiras actividades citadas para a Zona I, mantendo-se as proibições de todas as outras.

Pode subdividir-se conforme as diferentes condições naturais: Se o aquífero estiver a uma profundidade inferior a 4 metros e se a velocidade efectiva do fluido for menor que 10 metros por dia, mantém-se o limite citado de 50 dias ou uma distância a montante de uma nascente natural igual ou maior que 100 metros. As servidões são as que descrevemos em geral para a zona II. Caso a velocidade do fluido seja superior a 10 metros/dia, é definida uma zona IIA à distância de transporte de 10 dias, com as servidões semelhantes às atrás anunciadas, e uma zona IIB com a distância de transporte de 50 dias, sendo já, neste caso, permitidas explorações agrícolas.

No caso do aquífero estar a uma profundidade superior a 4 metros (caso geral) a definição das zonas IIA e IIB são independentes da velocidade de fluxo e entra-se em linha de cálculo com o poder depurador do solo e zona não saturada. Os limites das zonas parecerão assim mais próximos das captações. As restrições são as mesmas para as zonas IIA e IIB definidas acima.

Zona III - Zona de protecção afastada - Deve proteger de toda a contaminação química ou radioactiva. A regulamentação fez apelo aos conceitos habituais de profundidade do aquífero (maior ou menor que 4 metros); simplificando, pode dizer-se que para os aquíferos superficiais,

foi arbitrado um perímetro um máximo de 2 km para montante da captação, ou, no caso da zona designada por IIIB pelo limite da bacia de recepção; no caso de aquíferos profundos entra se em linha de conta com o poder depurador do solo. Na zona IIIA só são proibidos ou regulamentados os cemitérios, as pedreiras, estábulos e todas as citadas na lista acima, a seguir à aplicação de herbicidas (inclusive). A zona IIIB só admite como proibido ou regulamentado o depósito de hidrocarbonetos, as canalizações de produtos tóxicos, os depósitos de materiais radioactivos e as refinarias e indústrias químicas. Em meio cársico pode dizer se que as dimensões das zonas são superiores e se devem adaptar às zonas de alimentação; assim, por exemplo, a zona I deverá ter 30 por 30 metros, as zonas II devem estar definidas a pelo menos 300 metros a montante das captações ou a 1000 metros das nascentes; se os limites das bacias de recepção que constituirão as zonas III, indicarem um período de transporte até às captações de menos de 50 dias, adoptam se as servidões das zonas II.

▪ HOLANDA

Até 1944 as águas subterrâneas pertenciam à propriedade privada, inseparável do solo onde se encontravam. No entanto, no seguimento de diversas medidas administrativas estes direitos foram fortemente restringidos e severamente regulamentados. A última Lei sobre protecção das águas data de 1985 (17 de Julho). Segundo essa Lei são as províncias que definem um plano de protecção das águas subterrâneas como um todo e que as gerem de acordo com os critérios definidos; são elas que dão autorização para a sua captação sendo necessária uma licença. Normalmente definem se zonas de protecção para todas as águas. Até 1977 o regulamento de definição dos perímetros de protecção era igual ao alemão (no geral, 50 dias, 2 km). Como esta última distância não tem qualquer fundamento legal nem, sobretudo técnico científico, e, provocava muita controvérsia, foi criado um sistema regulador baseado no tempo de transporte. Neste caso foram tomadas em conta a duração de vida dos microrganismos em geral e vírus em particular e foi definida uma "zona imediata" de 60 dias ou de 100 ou, mesmo, de um ano, quando possível. Esta zona é severamente controlada e são interditas grande número de actividades. Nas condições hidrogeológicas gerais do pequeno território da Holanda este transporte representa uma distancia prática de 30 a 150 metros.

A segunda zona, chamada "zona de protecção" corresponde a um tempo de transporte de 10 anos. Uma vez que esta zona não é suficiente, muitas vezes, para assegurar uma boa protecção pode criar se outra de 25 anos. Nas condições da Holanda estas zonas têm uma distância respectiva às captações de, praticamente, 800 e 1200 metros. Julga se que elas protegem as captações das acções dos produtos químicos pouco degradáveis. Existe ainda uma zona afastada que corresponde aos limites das bacias de alimentação.

Se os terrenos não são porosos, ou seja, são cársicos, aplica se então ainda a lei Alemã (50 dias, 2 km).

Este é talvez o programa de definição de perímetros de protecção mais severo e restrito da Europa; se por um lado é necessário num país de dimensões tão pequenas, que favorecem, é certo, a fiscalização, também a sua aplicação se encontra facilitada pela grande uniformidade geológica de todo o território. A Holanda é conhecida pela qualidade dos trabalhos científicos que os seus investigadores têm apresentado sobre a qualidade e protecção da água (cf. com a bibliografia apresentada).

▪ **SUIÇA**

O sector é regulado pela Lei Federal de 8 de Outubro de 1971, com alterações de 1 de Abril de 1985. O Office Federal de la Protection de l'Environnement publicou guias em 1977 e 1982 para a determinação prática das "zonas de protecção"

As leis Suíças visam evitar toda a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas independentemente do seu uso.

Compreende sectores de protecção das águas subterrâneas, independentemente do seu interesse.

Compreende ainda zonas de protecção que correspondem aos perímetros segundo a linguagem comum.

A determinação dos perímetros é feita por cada Cantão.

Assim, em meio poroso:

Zona I - Com 10 a 20 metros de raio em redor de uma captação vertical. Deve garantir que nenhuma substância poluente chega à captação sem que intervenham fenómenos de depuração. Deve ser adquirida pelo explorador e fechada com cerca.

Zona II - Com um tempo de transferência de 10 dias ou igual ou superior a 100 metros a montante da captação. Deve garantir que a maior parte dos microrganismos e dos vírus são eliminados e que as substâncias não degradáveis não chegarão à captação.

Zona III - Zona tampão sem dimensões definidas, deve calcular se de modo que possam intervir fenómenos de atenuação e diluição.

As actividades proibidas ou regulamentadas são semelhantes às previstas na legislação Alemã, no entanto a sua aplicação é mais estrita, embora as zonas tenham tendência a ser de menor dimensão. Mesmo na zona III, só não são proibidas ou regulamentadas as seguintes actividades de todas as listas publicadas para a Zona I da Alemanha, o uso de adubos orgânicos ou líquidos,

a construção de silos e de estrumeiras, o uso de produtos fitosanitários, a construção de estradas e caminhos e as descargas de material inerte.

Nas zonas cársicas (não é aplicado aqui o conceito de fissurado) existe o cuidado de proteger todos os pontos de penetração com zonas satélites de categoria I. Toda a bacia de alimentação será incluída na zona II, mas como tal não é geralmente prático esta zona é regulamentada como a zona III..

▪ **BÉLGICA**

Foi promulgada uma Lei na Flandres em 1985. Na Valónia vai foi publicada uma lei semelhante. A legislação diz respeito à gestão dos recursos de águas subterrâneas, implicando o controlo da exploração e a protecção das águas contra a poluição. Distingue:

Zona de captação - 20 metros em redor da captação

Zona de protecção I - Tempo de transporte de 24 horas

Zona de protecção II - Tempo de transferência de 60 dias, ou seja, 150 metros para os aquíferos artesianos e um mínimo de 300 metros para os outros.

Zona de protecção III - Limite da bacia de alimentação com uma distância máxima de 2 km.

▪ **DINAMARCA**

Na Dinamarca qualquer utilização da água é sujeita a autorização. A Lei de utilização da água que se pode traduzir em "Water Supply Act" de 8 de Junho de 1978 dispõe que as autorizações de utilização são conferidas por um Conselho Regional, de tal forma que toda a utilização de água subterrânea é submetida a controlo público. O "Environment Protection Act" de Janeiro de 1983 especifica que o conselho regional deve definir um perímetro de protecção, no interior do qual certas actividades são proibidas ou regulamentadas. Na prática a forma e dimensões do perímetro são ditadas pelas condições hidrogeológicas locais.

▪ **FRANÇA**

Foi publicada legislação de 1902 que introduzia já a noção de necessidade de estabelecer um perímetro de protecção. Uma circular de 1924 estendia a noção de estabelecimento de perímetros de protecção a todas as captações de águas subterrâneas e dava indicações precisas ao chamado hidrogeólogo homologado por cada departamento do território francês, para o estudo dos projectos de captação por meio de uma pesquisa hidrogeológica minuciosamente regulamentada. Recomendava ainda um estudo criterioso para o

estabelecimento dos perímetros de protecção que distinguia na altura em perímetro próximo que deveria ter uma forma de sector circular com 10 e 250 metros de raio e que tivesse definido o ângulo que subentendia o sector e qual o seu azimute; estabelecia ainda necessidade de fixar um perímetro geral mas não fornecia qualquer método ou orientação para o fixar, que não fossem as do seu dimensionamento criterioso.

A Lei de 16 de Dezembro de 1964 fixa actualmente a necessidade de estabelecer um perímetro próximo, imediato e afastado; nova Lei publicada em 1967 estabelece novas regulamentações a respeito dos perímetros de 1964 mas não indica quaisquer dimensões para os mesmos. Estuda-se actualmente a legislação sobre vedações obrigatórias e regulamentação precisa de acções a proibir ou regulamentar na zona próxima. De acordo com as últimas informações que possuímos, está prestes a ser publicada legislação regulamentadora de perímetros de protecção especificamente aplicada a águas minerais naturais e de nascente.

▪ REINO UNIDO

Não existe regulamentação à escala nacional inglesa para a protecção das captações. Cada Autoridade que superintende cada bacia hidrográfica possui a sua própria regulamentação, sendo algumas mais têm definidas que outras. Estas sofrem revisões contínuas. Está em curso no governo uma discussão para ser apresentada no Parlamento para a regulamentação de zonas de protecção relativas aos nitratos.

No entanto, o "Control of Pollution Act 1979" regulamenta o armazenamento de substâncias poluentes. Em dez Autoridades que superintendem nas bacias com aquíferos exploráveis, só duas possuem regulamentos rigorosos segundo Lallemand Barrès et all. (1989):

Yorkshire Water Authority - Define uma zona correspondente a um tempo de transporte de 150 dias dos quais 50 dias em zona não saturada

Severn Trent Authority - Uma zona de 1 km em redor da captação

Southern Water Authority - Uma zona correspondente a um tempo de transporte de 50 dias o que equivale, segundo esta entidade, a uma distancia entre 110 a 410 metros em zonas porosas e a 370 2200 metros em meios cársicos. Normalmente são definidas zonas com as dimensões arredondadas para 500 metros num caso e, no outro entre 1 e 2,5 km.

As duas últimas entidades definem zonas exteriores às que foram definidas que classificam consoante a vulnerabilidade e interesse hidrogeológico e regulamentam certo tipo de actividades que nelas podem ser levadas a cabo. É um sistema completamente fora das normas de qualquer país europeu.

▪ **EUA**

Foi publicada em 1974 uma Lei básica para a protecção das águas para a alimentação humana, denominada "Safe Drinking Water Act" de 1974. Esta lei designa o "Environmental Protection Agency" (EPA) para enunciar as normas de potabilidade e os modos de os aplicar. O SDWA solicita à EPA para definir zonas em que determinado aquífero é a única fonte de água de alimentação que não pode, em nenhum caso ser poluída ("sole source aquifer"). Existe uma nova lei "SDWA Amendments" de 1986 que reforça a anterior, regulamenta o tipo de injeções que se pode fazer no subsolo e estabelece um programa para a definição de zonas de protecção às captações. Os artigos 1427 e 1428 referem se a esses perímetros de protecção. Além disso, em cada Estado americano foi publicado até 1990, ou pelo menos deveria tê-lo sido, regulamentação a submeter à Administração com programas de definição e implementação de perímetros e protecção. Estes programas deverão comportar, pelo menos, os seguintes capítulos:

- Definição dos deveres das Agências Federais, dos governos locais e dos distribuidores de água;
- Determinação da dimensão das zonas de protecção;
- Determinação de todas as fontes potenciais de poluição;
- Descrição dos procedimentos que se podem pôr em prática para se proteger a água da poluição, no interior das zonas do perímetro de protecção;
- Indicação de todos os recursos de socorro em caso de con-taminação das captações;
- Enumeração de todas as fontes de poluição que devem ser tidas em conta antes da construção de uma captação.

A Administração Central forneceu em 1987 um guia para a definição dos referidos perímetros de protecção. Este trabalho é inspirado em trabalhos europeus, alemães, holandeses e ingleses.

A EPA recomenda um perímetro de protecção imediata de 30 metros em redor da captação. A zona intermédia deverá corresponder a um tempo de transporte de 50 dias (ou 165 metros). O limite do perímetro de protecção afastado deve corresponder a um tempo de transporte de 15 anos, ou 20, se for possível.

Quanto ao regime de propriedade da água, este difere de Estado para Estado; de modo geral, pode dizer se que nos estados da Costa Leste e Centro dos EUA, se aplica a "riparian doctrine", com fundamentação no direito anglo saxão de propriedade pública da água; nos Estados da

Costa Oeste aplica-se a "appropriation doctrine" que estabelece que os "descobridores" da água têm propriedade sobre ela.

- **ITÁLIA**

Não possui regulamentação específica para a construção de perímetros de protecção. Estes perímetros são, no entanto definidos, mediante regras e critérios que variam com o tipo de aquífero e captação. Há tendência para se utilizarem critérios semelhantes aos que se inferem da Lei Alemã ou Austríaca. Define-se geralmente um perímetro de protecção imediata com raio em redor da captação não inferior a 5 metros, e uma zona intermédia com raio não inferior a 200 metros. Na Lombardia são tomadas mais em conta as características hidrogeológicas e definem-se dois perímetros: um para 60 dias e outro que se designa por "afastado" para 365 dias.

Apresenta-se em seguida um Quadro-Resumo sobre Perímetros de Protecção de Captações em diferentes países:

PAÍS	PERÍMETRO DE PROTECÇÃO			
Ex- Alemanha Ocidental	Zona I	Zona II	Zona IIIA	ZONA IIIB
	10 m	50 dias	2 Km	
Ex- Alemanha Oriental	Zona I	Zona II	Zona IIIA	ZONA IIIB
	5 a 10 m	60 dias	10 anos	25 anos
Suíça	Zona I	Zona II	Zona IIIA	ZONA IIIB
	10 a 20 m	10 dias ou 100 m	200 m	
Holanda	Área de captação	Zona de Protecção I	Zona de Protecção II	
	50 a 60 doas ou 30 a 150 m	10 anos ou 800 m	25 anos ou 1200m	
França	Perímetro de Protecção Imediata	Perímetro de Protecção Intermediária	Perímetro de Protecção Afastado	
	10 a 20 m	100 dias ou 200 a 500 m	1 a 2 Km	
Áustria	Área de Protecção Imediata	Área de Protecção	Área de Protecção Parcial	
		50 dias		
Bélgica	Área de Protecção Imediata	Área de Protecção Intermediária	Área de Protecção Remota	
	24 h ou 100m	50 dias ou 30 a 1000 m		
Finlândia	Área Imediata	Área de Protecção Interna	Área de Protecção Externa	
Ez- Tchecoslováquia	Zona de Protecção Sanitária	Zona Secundária Interna de Protecção Sanitária	Zona Secundária Externa de Protecção Sanitária	
	10 a 50 m			
Suécia	Área do Poço	Área de Protecção Interna	Área de Protecção Externa	
		60 dias ou 100 m		
Hungria	Zona de Protecção	Área de Protecção Hidrogeológica		
	50 dias	25 a 100 anos		
E.U.A.	Zona de influência ou remediação	Zona de transporte ou Atenuação	Zona de Contribuição ou Gerenciamento	
	Específico por Estado			

Adaptado de (Coelho e Duarte, 2003)

12.

BIBLIOGRAFIA

COELHO, Virginia M. T. et Uriel Duarte - PERÍMETROS DE PROTEÇÃO PARA FONTES NATURAIS DE ÁGUASMINERAIS Inst. de Geociências da Universidade de São Paulo;

CUSTODIO, E., et al. (1977). "Combined use of surface and groundwater in Barcelona, Metropolitan Area (Spain)." Int. Ass. Hydrogeologists. Birmingham. V. XIII, 1, p. C14-27.

CRUZ, José F.A. (1999) – "Objectivos e Critérios para a Elaboração das Propostas de Fixação dos Perímetros de Protecção." Sessões Técnicas;

GONÇALVES, Eduardo Jorge dos Santos (2009)- Caracterização hidrogeológica e definição de perímetros de protecção às captações de Ermida (Vilar da Veiga - Gerês);

HENRIQUES, M.J., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2009) - "Delimitação de Perímetros de Protecção de Captações de Abastecimento Público de Água do Concelho de Pombal: Furos 12D(SL2), 12B(JK1) e 12C(MF7)". Relatório 49/2009-NAS, 42 pp

HENRIQUES, M.J., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2009) - "Delimitação de Perímetros de Protecção de Captações de Abastecimento Público de Água do Concelho de Pombal: Furos SO5 e 31D(MF16)". Relatório 393/2009-NAS, 42 pp.

LIMA, A. S.; OLIVEIRA, A. C.; COSTA, J. A. (2007) - Delimitação de Perímetros de Protecção de Recursos Hidrominerais: Proposta Metodológica Aplicada à Ocorrência de Caldas da Saúde (Noroeste de Portugal). Actas do 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, São Paulo, Brasil, 25 a 29 de Novembro de 2007, 20 p., publicação em CD-ROM;

MAGNO, Carlos E. F.(1999) – "Perímetros de Protecção de Águas Minerais Naturais" – Sessões Técnicas;

WAEGENINGH, H. G. van (1985) Overview of the protection of groundwater quality. In:MATTHESS, G.; FOSTER, S. S. D.; SKINNER, A. C. Theoretical Background,Hidrogeology and Praticce of Groundwater Protection Zones. Hannover: Heise. UNESCO, International Association of Hydrogeologists, v. 6, p. 159-166.

2012

COLECÇÃO CADERNOS TÉCNICOS

CONHEÇA TODA A COLECÇÃO DE
CADERNOS TÉCNICOS SOBRE
PROSPECÇÃO, PESQUISA,
EXPLORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DE ÁGUAS MINERAIS NATURAIS E
DE ÁGUAS DE NASCENTE

EM WWW.APIAM.PT