

HIDROGEOLOGIA

Água Subterrânea

Conhecer para Proteger e Preservar



INDICE

<i>Distribuição da Água na Terra</i>	3
<i>Ciclo Hidrológico</i>	4
<i>Reservatórios de Água Subterrânea</i>	6
Porosidade e Permeabilidade	9
Aquíferos em Diferentes Formações	10
<i>Poluição das Águas Subterrâneas</i>	11
Poluição Urbana e Doméstica	12
Poluição Agrícola	13
Poluição Industrial	14
Contaminação Induzida por Bombeamento	14
<i>Interacção Água Subterrânea – Água Superficial</i>	14
<i>Os Recursos Hídricos Subterrâneos em Portugal</i>	16
<i>Águas Minerais Naturais e de Nascente</i>	17
Águas Minerais Naturais	17
Águas de Nascente	21
<i>Carta Europeia da Água</i>	23



DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA

DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NA TERRA

Onde está a água e em que formas existe?

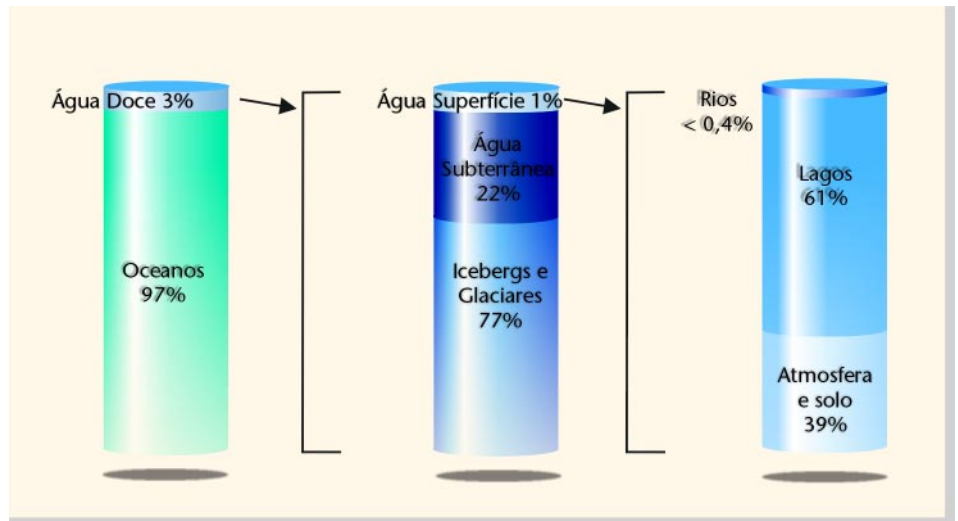


FIGURA 1
DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NA TERRA

O bloco da esquerda mostra que cerca de 97% de toda a água existente está nos oceanos.

O bloco do meio representa os restantes 3%. Dessa porção 77% está retida nos glaciares e *icebergs* e 22% constituem a água subterrânea.

A distribuição do restante 1% está representada no bloco da direita. Dessa porção 61% corresponde a lagos, 39% distribui-se pela atmosfera e solos e <0,4% aos rios.

Na tabela seguinte, podes ver como se distribui a água no planeta em termos de volume armazenado nos diferentes reservatórios:

Reservatórios	Volume aproximado de água em Km ³	Porcentagem da água total
OCEANOS	1340 000 000	96.4
GLACIARES	24 000 000	1.72
ÁGUA SUBTERRÂNEA (AQUÍFEROS)	24 000 000	1.72
HUMIDADE DO SOLO	16 500	0.001
LAGOS E PÂNTANOS	176 400	0.013
RIOS	2 120	0.00015
ATMOSFERA	13 000	0.001
ÁGUA BIOLÓGICA	1 120	0.0001
Volume de água total	1 390 000 000	100%

DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NA TERRA
(UNESCO, 1978)

Se excluirmos as reservas de gelo das calotes polares e glaciares, a água doce utilizável representa apenas 1,7% (24,2 milhões de Km³) da água do nosso planeta, que se reparte desigualmente pelas diversas regiões continentais (Unesco, 1978).

Destes 24,2 milhões de Km³ de água doce utilizável, 99% correspondem a águas subterrâneas, enquanto que os rios e lagos representam 0,7 %.

CICLO HIDROLÓGICO

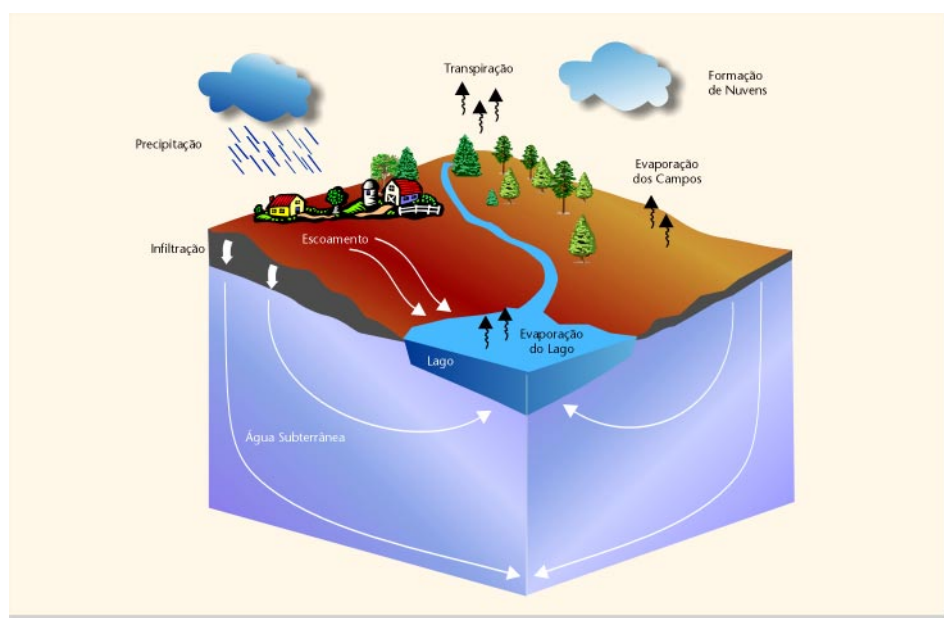


FIGURA 2 – CICLO HIDROLÓGICO

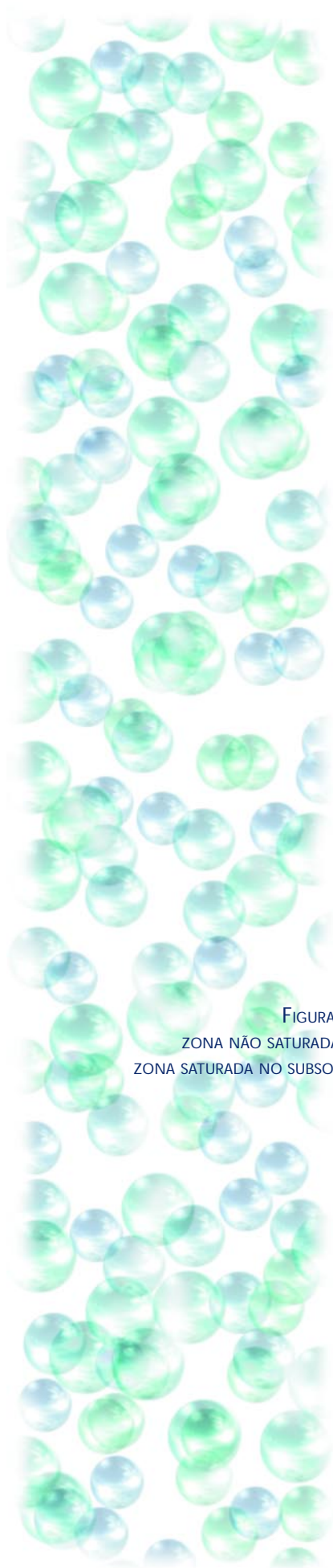
O conceito de ciclo hidrológico (figura 2) está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotes de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera.

Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (*evaporação*), e à gravidade, que faz com que a água condensada caia (*precipitação*) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (*escoamento superficial*) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fracturas (*escoamento subterrâneo*).

Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, volta a evaporar-se.

A água que se infiltra no solo é sujeita a evaporação directa para a atmosfera e é retida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera.

Este processo chamado *evapotranspiração* ocorre no topo da *zona não saturada*, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água.



A água que continua a infiltrar-se e atinge a *zona saturada* das rochas, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (*recarga dos aquíferos*).

Como podes ver na figura 3 na zona saturada (aquífero) os poros ou fracturas das formações rochosas estão completamente preenchidos por água (saturados).

O topo da zona saturada corresponde ao *nível freático*.

A água subterrânea pode ressurgir à superfície (nascentes) e alimentar as linhas de água ou ser descarregada directamente no oceano.

A quantidade de água e a velocidade a que esta circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos factores como, por exemplo, o coberto vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia.

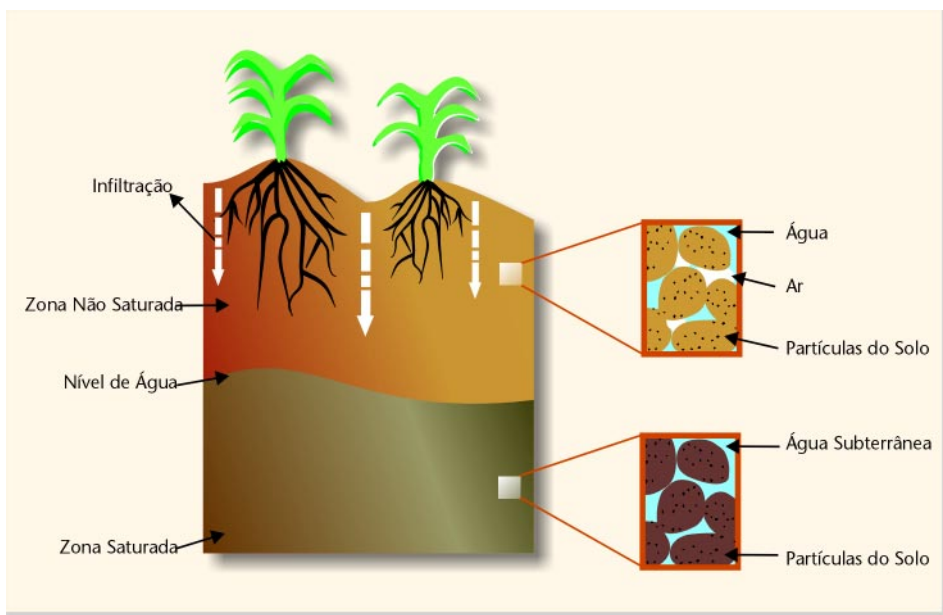


FIGURA 3
ZONA NÃO SATURADA E
ZONA SATURADA NO SUBSOLO

RESERVATÓRIOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Um reservatório de água subterrânea, também designado por **aquífero**, pode ser definido como toda a formação geológica com capacidade de armazenar e transmitir a água e cuja exploração seja economicamente rentável.

Existem essencialmente 2 tipos de aquíferos:

Aquífero livre

Formação geológica permeável e *parcialmente* saturada de água. É limitado na base por uma camada impermeável. O nível da água no aquífero está à pressão atmosférica.

Aquífero Confinado

Formação geológica permeável e *completamente* saturada de água. É limitado no topo e na base por camadas impermeáveis. A pressão da água no aquífero é superior à pressão atmosférica.

Se as formações geológicas não são aquíferas então podem ser definidas como:

Aquitardo

Formação geológica que pode armazenar água mas que a transmite lentamente não sendo rentável o seu aproveitamento a partir de poços.

Aquicludo

Formação geológica que pode armazenar água mas não a transmite (a água não circula).

Aquífugo

Formação geológica impermeável que não armazena nem transmite água.

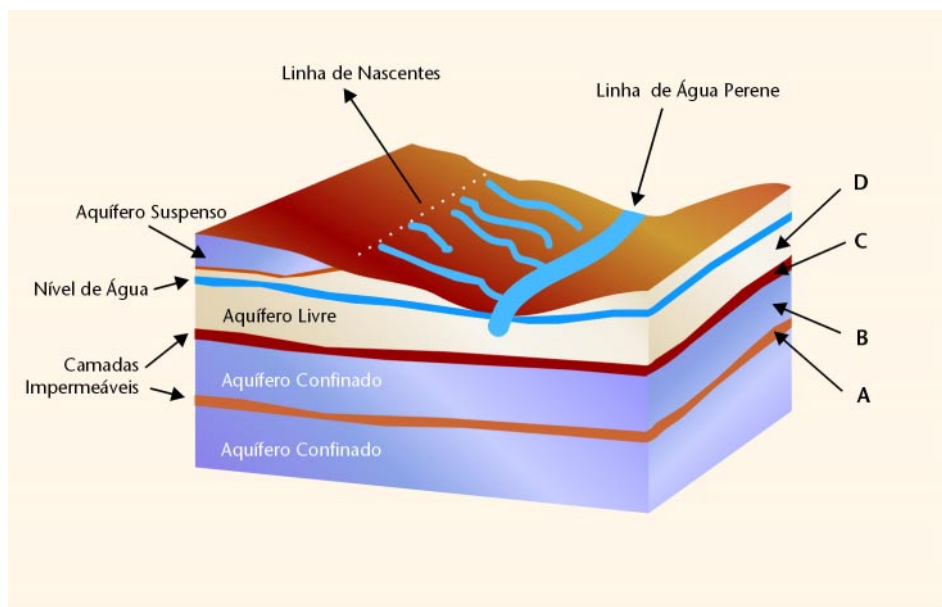
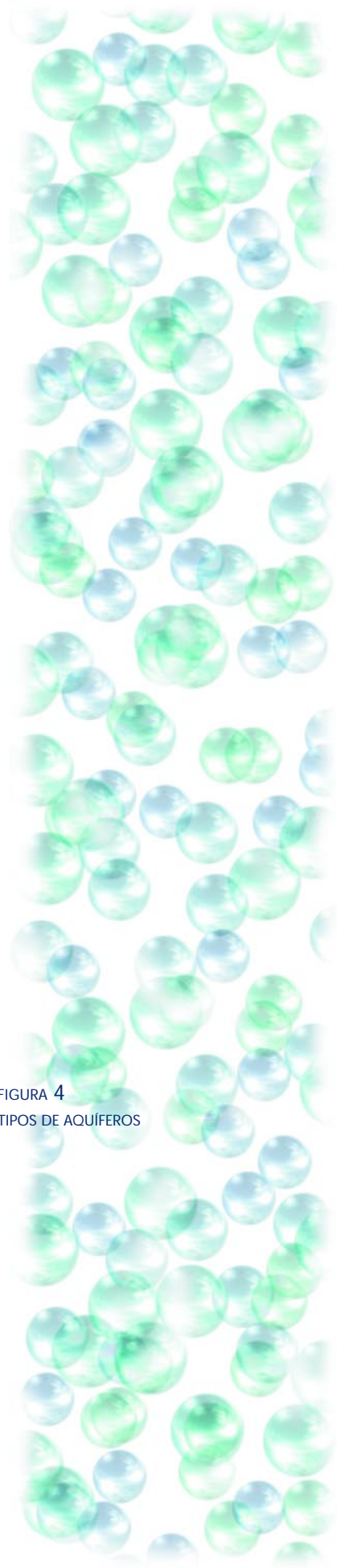


FIGURA 4
TIPOS DE AQUÍFEROS



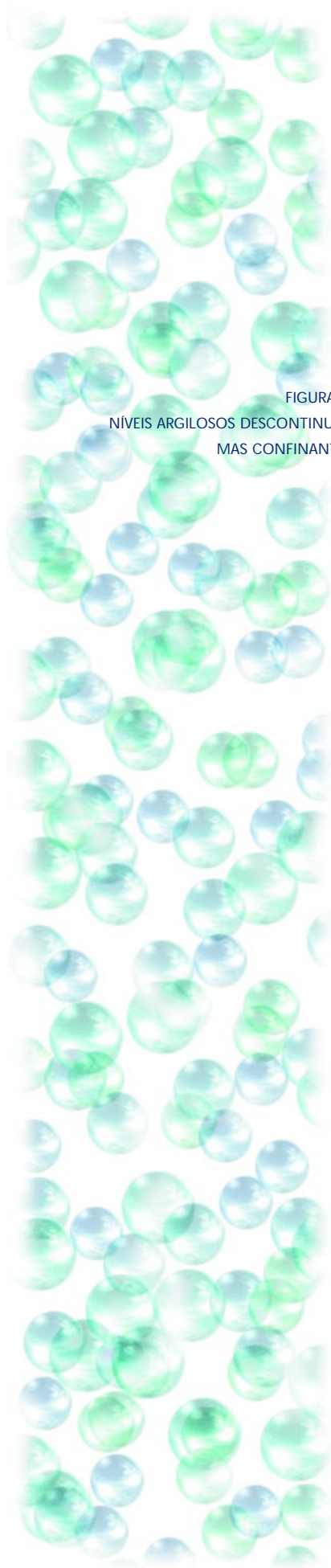


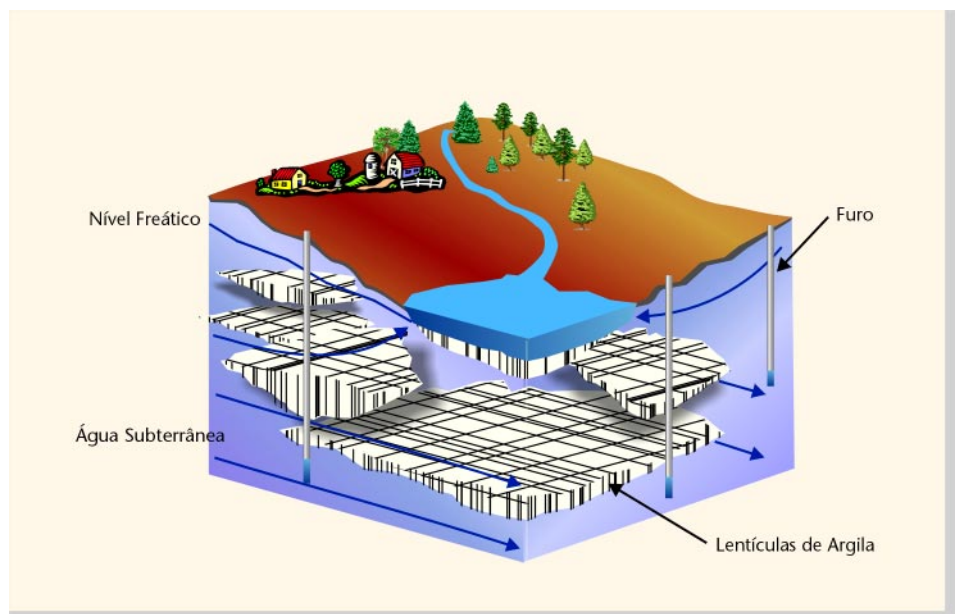
FIGURA 5
NÍVEIS ARGILOSOS DESCONTÍNUOS
MAS CONFINANTES

Na figura 4 estão representados um aquífero confinado e um livre.

Repara que o aquífero confinado, camada B, é limitado no topo e na base por camadas impermeáveis C e A, respectivamente.

O aquífero livre é formado pela camada D, e limitado na base pela camada impermeável C.

Na natureza as camadas impermeáveis nem sempre se apresentam como as observas na figura 4. Elas podem ser descontínuas e irregulares (figura 5) e do mesmo modo confinarem os aquíferos.



Se efectuarmos furos nestes dois tipos de aquíferos (figura 6), verificamos que:

- No furo do aquífero confinado a água subirá acima do tecto do aquífero devido à pressão exercida pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. A altura a que a água sobe chama-se *nível piezométrico* e o *furo* é *artesiano*. Se a água atingir a superfície do terreno sob a forma de repuxo então o *furo artesiano* é *repuxante*.
- No furo do aquífero livre o nível da água não sobe e corresponde ao nível da água no aquífero pois a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível da água designa-se por *nível freático*.

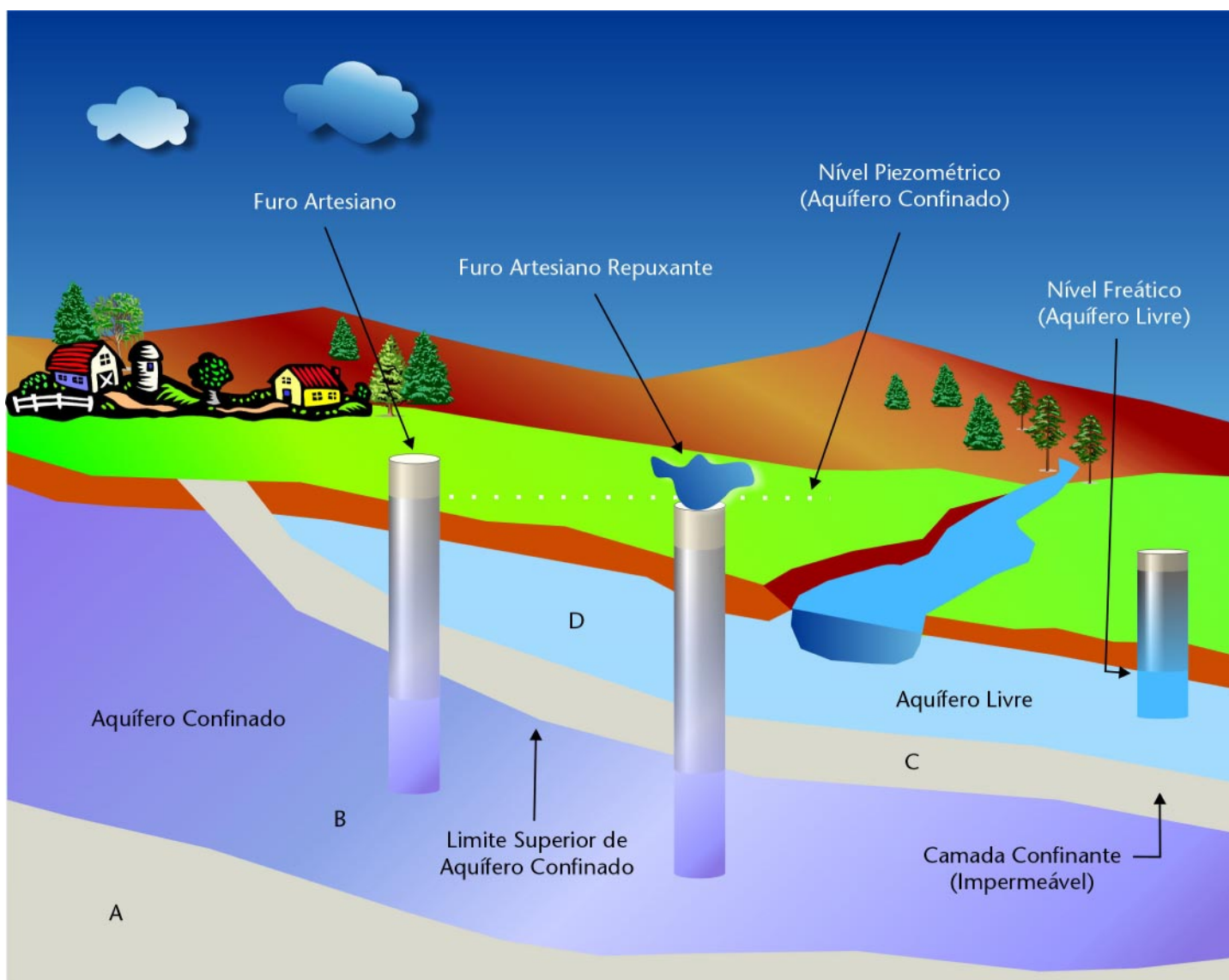


FIGURA 6
COMPORTAMENTO DOS FURUS REALIZADOS
NOS AQUÍFEROS LIVRES E CONFINADOS

O nível da água nos aquíferos não é estático e varia com:

- A precipitação ocorrida;
- A extracção de água subterrânea;
- Os efeitos de maré nos aquíferos costeiros;
- A variação súbita da pressão atmosférica, principalmente no Inverno;
- As alterações do regime de escoamento de rios influentes (que recarregam os aquíferos);
- A evapotranspiração, etc.

POROSIDADE E PERMEABILIDADE

PROPRIEDADES ASSOCIADAS AO TIPO DE AQUÍFEROS

Para existir água subterrânea ela terá de conseguir atravessar e circular através das formações geológicas que têm de ser porosas e permeáveis.

Diz-se que uma formação é porosa quando é formada por um agregado de grãos entre os quais existem espaços vazios que podem ser ocupados pela água. Aos espaços vazios chamamos poros. Existem outras formações formadas por material rochoso onde os espaços vazios correspondem a diaclases e fracturas e não propriamente a poros (figura 7).

A **porosidade** das formações será então a razão entre o volume de vazios e o volume da formação.

Os espaços vazios podem estar conectados ou podem estar semi-fechados condicionando a passagem de água através da formação (figura 7), esta característica designa-se por **permeabilidade**.

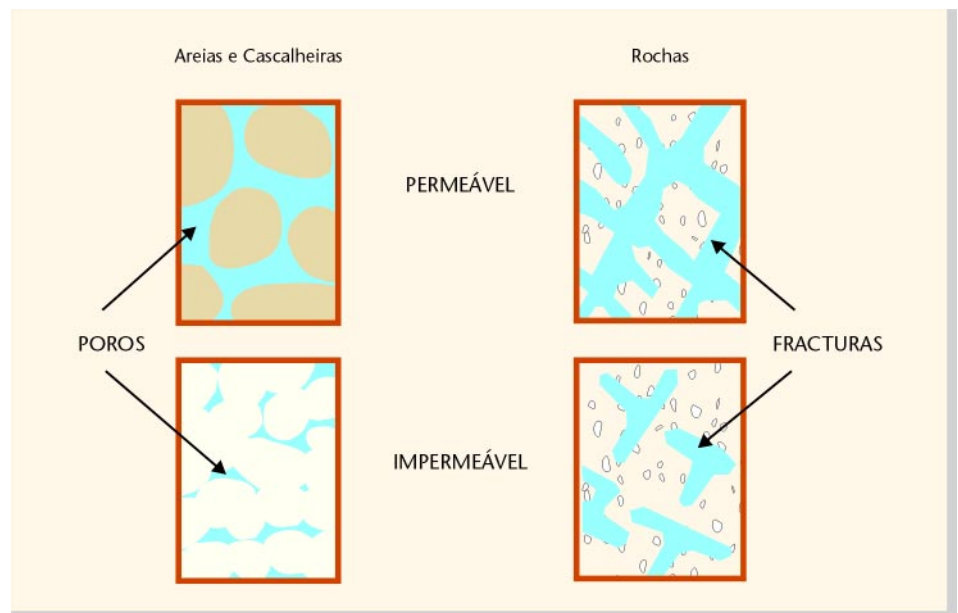


FIGURA 7
POROSIDADE E PERMEABILIDADE

Um terreno muito poroso pode ser muito permeável se os seus poros são grandes e bem interconectados, tal como sucede nas areias limpas, ou pode ser quase impermeável se apesar de ter muitos poros, eles forem pequenos e se encontrarem semi-fechados, como sucede nas rochas ígneas e metamórficas.

Em geral os terrenos de baixa porosidade tendem a ser pouco permeáveis uma vez que as conexões entre os poros são difíceis de estabelecer.

Se por um lado o armazenamento e circulação de água subterrânea dependem da porosidade e da permeabilidade das formações, por outro esta ao circular vai interferir nestas propriedades porque ao longo do seu percurso vai interagindo com as rochas que atravessa, dissolvendo determinadas substâncias e precipitando outras. Por exemplo as grutas são antigas condutas onde a água ao circular foi dissolvendo minerais como a calcite e a dolomite, alargando cada vez mais a conduta.

A canalização das habitações muitas vezes está entupida porque a água foi, ao longo do tempo, precipitando calcite nos canos.

Na tabela seguinte encontra os valores de porosidade e permeabilidade de algumas rochas.

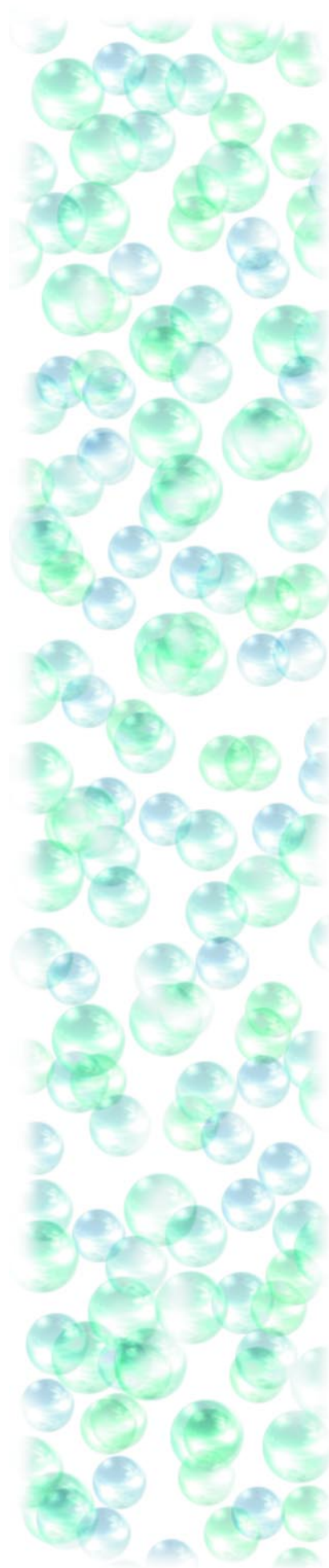
Valores de porosidade e permeabilidade de algumas rochas

<i>Tipo de Rocha</i>	<i>Porosidade (%)</i>	<i>Permeabilidade (m/dia)</i>
Cascalheira	30	>1000
Areia	35	10 a 5
Argila	45	<0.001

AQUÍFEROS EM DIFERENTES FORMAÇÕES

Podemos dizer que existem essencialmente três tipos de aquíferos (figura 8):

- Porosos, onde a água circula através de poros.
As formações geológicas são areias limpas, areias consolidadas por um cimento também chamadas arenitos, conglomerados, etc;
- Fracturados e/ou fissurados, onde a água circula através de fracturas ou pequenas fissuras.
As formações são granitos, gabros, filões de quartzo, etc;
- Cársicos, onde a água circula em condutas que resultaram do alargamento de diaclases por dissolução.
As formações são os calcários e dolomitos.



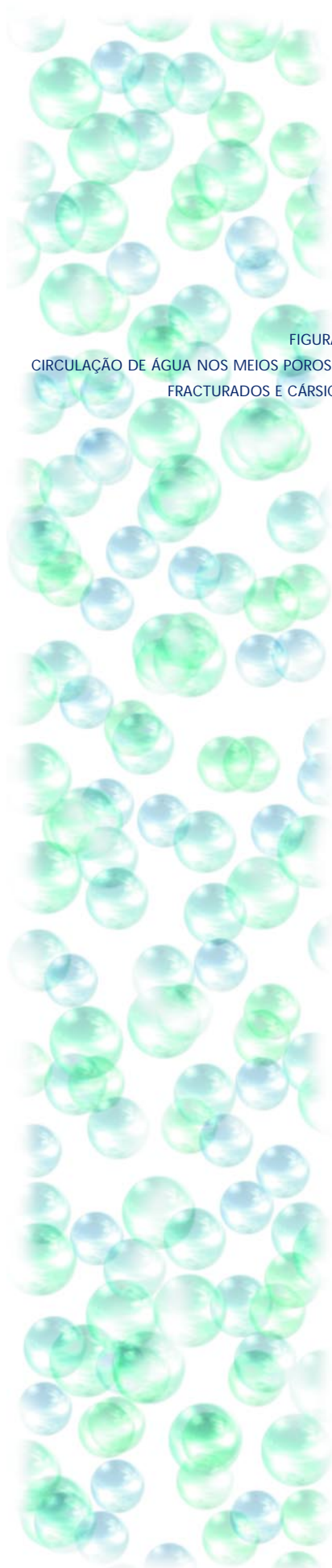
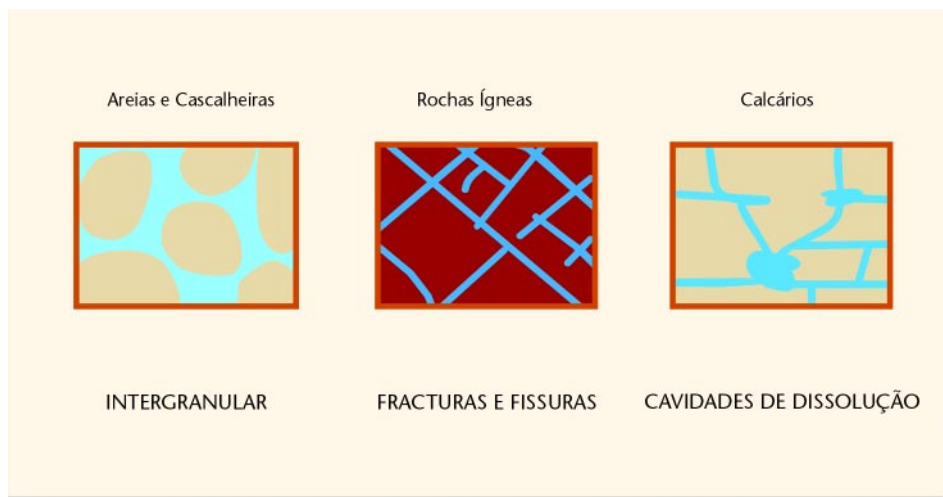


FIGURA 8
CIRCULAÇÃO DE ÁGUA NOS MEIOS POROSOS,
FRACTURADOS E CÁRSICOS



Muitas vezes os aquíferos são simultaneamente de mais de um tipo. Por exemplo um granito pode ter uma zona superior muito alterada onde a circulação é feita através dos poros e uma zona inferior de rocha sã onde a circulação é feita por fracturas.

Os calcários e dolomitos podem ser cársicos e fissurados circulando a água através de fissuras da própria rocha e de condutas cársicas.

POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Se tiveres um furo ou um poço cheio de água isto não significa que podes bebê-la.

A água é um excelente solvente e pode conter inúmeras substâncias dissolvidas. Ao longo do seu percurso a água vai interagindo com o solo e formações geológicas, dissolvendo e incorporando substâncias. Por esta razão a água subterrânea é mais mineralizada (tem mais minerais) que a água de superfície.

Apesar do solo e da zona não saturada apresentarem excelentes mecanismos de filtragem podendo reter inúmeras partículas e bactérias patogénicas, existem substâncias e gases dissolvidos que dificilmente deixarão a água subterrânea podendo ser responsáveis pela sua poluição.

Uma *água está poluída* quando a sua composição foi alterada de tal maneira que a torna imprópria para um determinado fim.

A deterioração da qualidade da água subterrânea pode ser provocada de maneira directa ou indirecta, por actividades humanas ou por processos naturais, sendo mais frequente a acção combinada de ambos os factores (figura 9).



As causas fundamentais da poluição das águas subterrâneas ocasionada pela actividade humana podem agrupar-se em quatro grupos dependendo da actividade humana que as originou e que seguidamente se descrevem.

FIGURA 9
POLUIÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
COM DIFERENTES ORIGENS

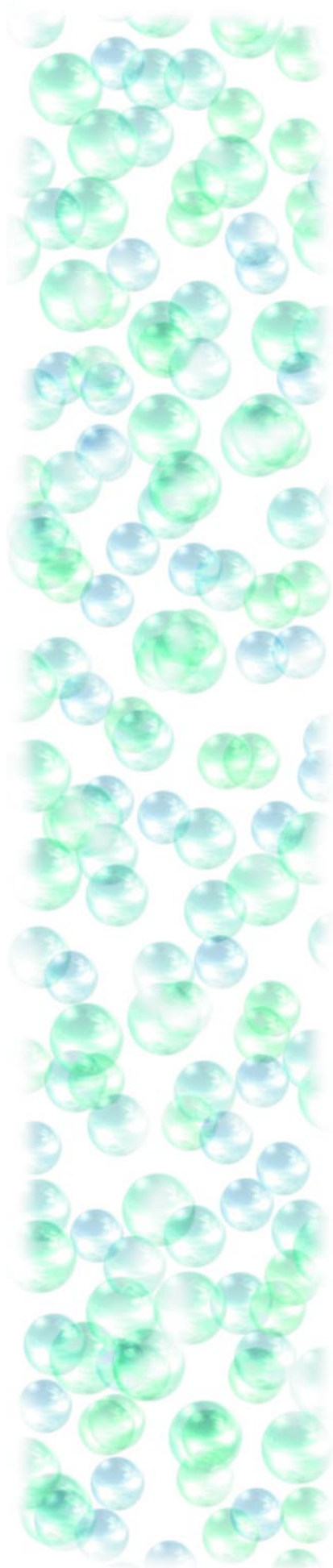
POLUIÇÃO URBANA E DOMÉSTICA

É provocada pela descarga de efluentes domésticos não tratados na rede hidrográfica, fossas sépticas e lixeiras.

Os efluentes domésticos contêm sais minerais, matéria orgânica, restos de compostos não biodegradáveis, vírus e microorganismos fecais.

Os lixiviados das lixeiras, resultantes da circulação de água através da lixeira, são altamente reductores e enriquecidos em amónio, ferro ferroso, manganês e zinco, para além de apresentarem valores elevados da dureza, do total de sólidos dissolvidos e da concentração de cloreto, sulfato, bicarbonato, sódio, potássio, cálcio e magnésio.

A decomposição da matéria orgânica na lixeira origina a produção de gases como o dióxido de carbono e o metano.



Este tipo de poluição ao atingir o aquífero origina um aumento da mineralização, elevação da temperatura, aparecimento de cor, sabor e odor desagradáveis.

POLUIÇÃO AGRÍCOLA

Este tipo de poluição, consequência das práticas agrícolas, será a mais generalizada e importante na deterioração da água subterrânea. A diferença entre este tipo de poluição e os outros é o facto de apresentar um carácter difuso, sendo responsável pela poluição a partir da superfície de extensas áreas, ao passo que os outros tipos correspondem a focos pontuais de poluição.

Os contaminantes potencialmente mais significativos neste campo são os fertilizantes, pesticidas e indirectamente as práticas de regadio. A reciclagem e reutilização da água subterrânea para regadio provoca um aumento progressivo da concentração de sais que, a longo prazo, a inutiliza para este fim.

Outros contaminantes de menor significado mas por vezes muito importantes são os associados às actividades pecuárias, sendo a sua poluição semelhante à doméstica.

Os fertilizantes inorgânicos como o amoníaco, sulfato de amónio, nitrato de amónio e carbonato de amónio e os orgânicos, como a ureia, são os responsáveis pelo incremento de nitrato, nitrito e amónio nas águas subterrâneas. Isto deve-se ao facto da quantidade de fertilizantes aplicada ser superior à quantidade necessária para o desenvolvimento das plantas. Os nitratos são, em Portugal, um problema crescente tanto em extensão como em intensidade e persistência.

O incremento de sulfatos, cloretos e fósforo nas águas subterrâneas é um problema menos importante que o dos compostos nitrogenados e está relacionado com a aplicação de fertilizantes como o sulfato de amónio, cloreto de potássio, carbonato de potássio e compostos de fósforo.

Dentro dos pesticidas e produtos fitossanitários, os pesticidas organoclorados como o DDT são os mais perigosos devido à sua persistência e elevada toxicidade.

Resumindo, os principais problemas de poluição por actividades agrícolas são:

- A utilização inadequada de fertilizantes nitrogenados e fosforados em zonas de regadio com solos permeáveis e aquíferos livres, traduzido em aumentos consideráveis de nitratos no aquífero;
- Elevada taxa de reciclagem de águas subterrâneas em áreas de regadio intensivo;
- Lançamento indiscriminado de resíduos animais sobre o solo em zonas vulneráveis;
- Utilização incorrecta ou exagerada de pesticidas em solos muito permeáveis com escassa capacidade de adsorção.

POLUIÇÃO INDUSTRIAL

A poluição industrial apresenta um carácter tipicamente pontual e está relacionada com a eliminação de resíduos de produção através da atmosfera, do solo, das águas superficiais e subterrâneas e de derrames durante o seu armazenamento e transporte.

As principais indústrias poluentes são as indústrias alimentares, metalúrgicas, petroquímicas, nucleares, mineiras, farmacêuticas, electroquímicas, de fabricação de pesticidas e insecticidas etc.

CONTAMINAÇÃO INDUZIDA POR BOMBEAMENTO

A intrusão salina é um fenómeno que ocorre em regiões costeiras onde os aquíferos estão em contacto com a água do mar. Na verdade enquanto a água doce se escoia para o mar, a água salgada, mais densa, tende a penetrar no aquífero, formando uma cunha sob a água doce (figura 10).

Este fenómeno pode acentuar-se e ser acelerado, com consequências graves, quando, nas proximidades da linha de costa, a extracção de grandes volumes de água doce subterrânea provoca o avanço da água salgada no interior do aquífero e a consequente salinização da água dos poços ou dos furos que nele captem.

INTERACÇÃO

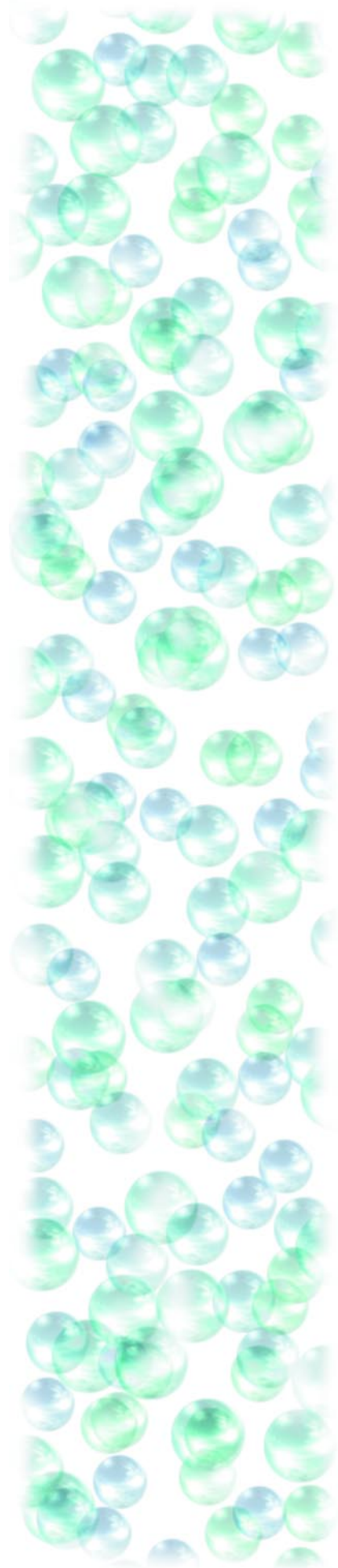
ÁGUA SUBTERRÂNEA – ÁGUA SUPERFICIAL

Independentemente da importância das águas subterrâneas, não devemos esquecer que existe uma grande interacção entre estas e as águas superficiais.

Muitos rios e ribeiras são alimentados por nascentes, o que faz com que esses rios apresentem caudal durante todo o ano, mesmo quando não ocorre precipitação.

Os rios, por sua vez, podem em determinada altura do seu percurso contribuir para recarregar os aquíferos (rios influentes).

Assim, a má qualidade que por vezes se verifica nas águas superficiais pode ser transmitida às águas subterrâneas e *vice-versa*.



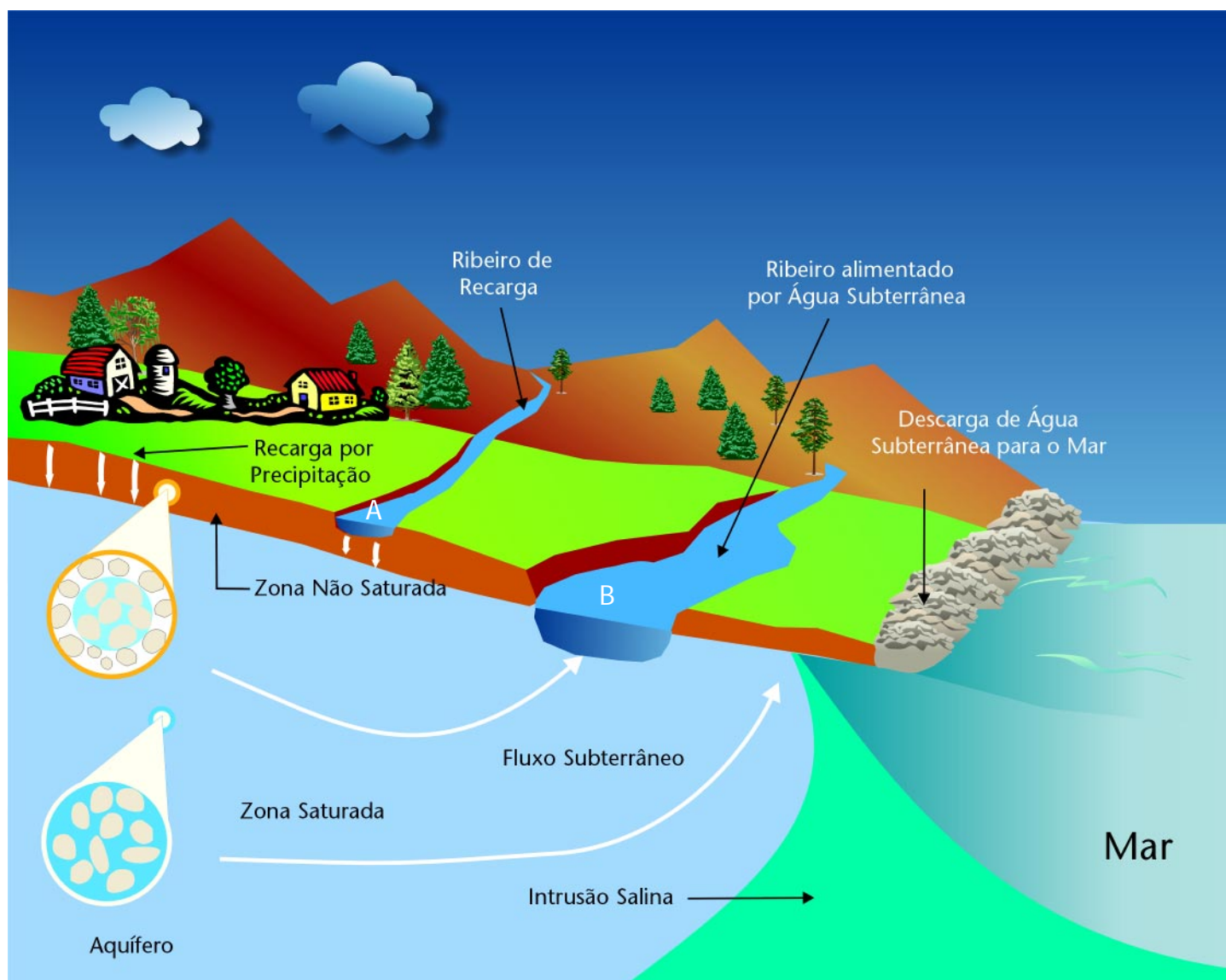


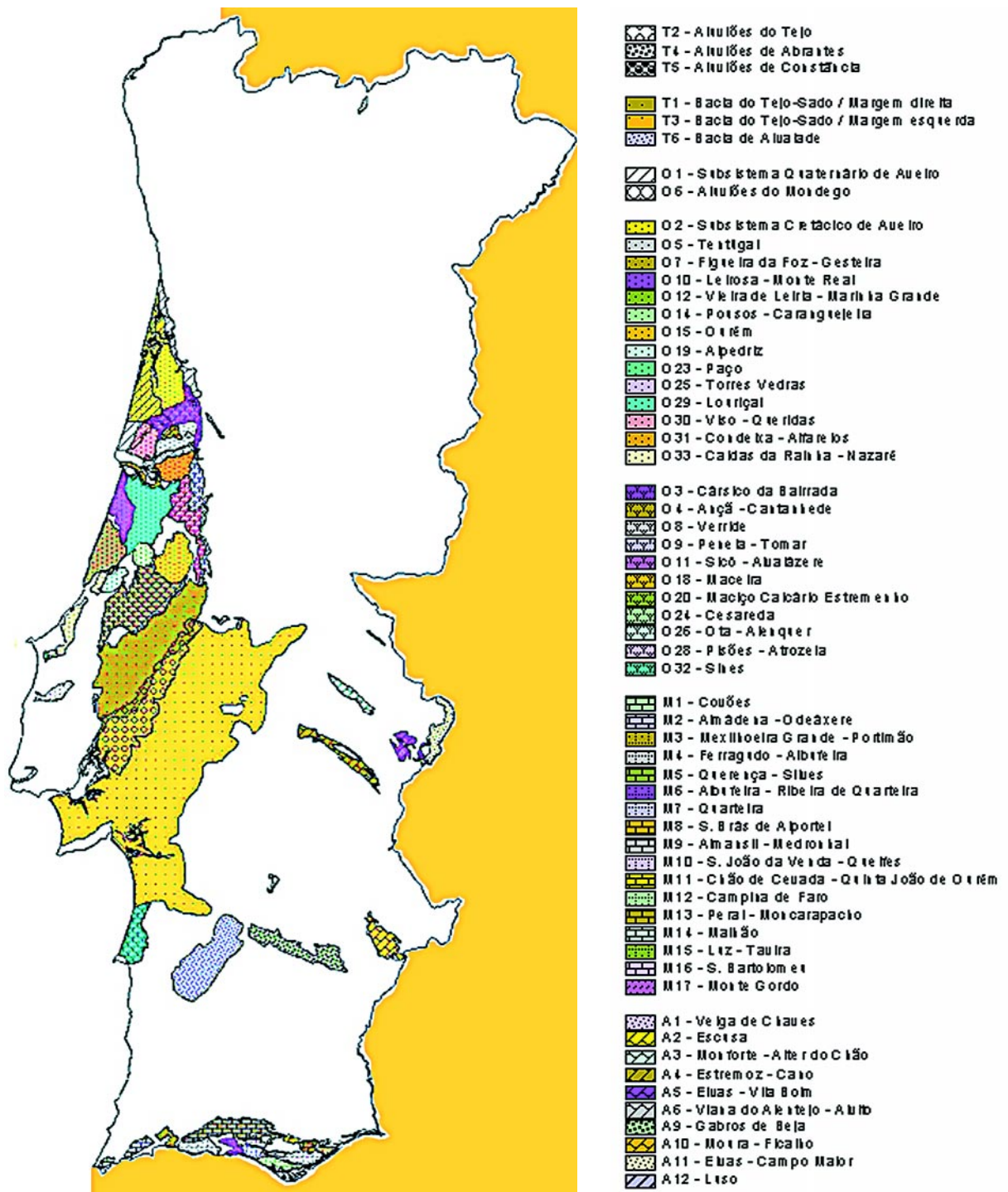
FIGURA 10
INTRUSÃO SALINA E INTERACÇÃO ENTRE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ÁGUAS SUPERFICIAIS

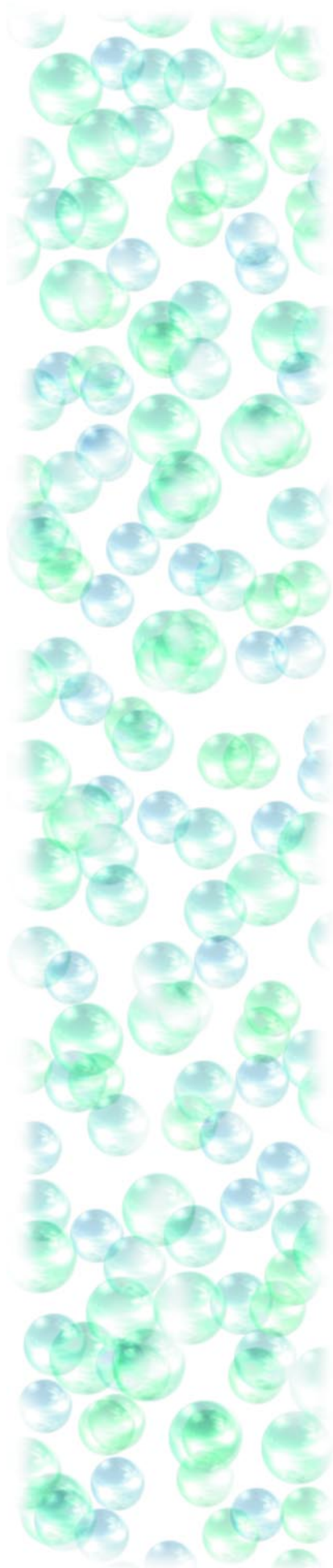
Na figura 10 encontra-se exemplos de um rio que recarrega um aquífero (situação A), e de uma descarga de água subterrânea, através de nascentes, que alimenta um rio (situação B).

OS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM PORTUGAL

Na figura 11 podes observar como é que os principais aquíferos se distribuem em Portugal, que nome têm e como estão codificados pelo Instituto da Água (INAG/FCUL - 2001).

FIGURA 11
DISTRIBUIÇÃO DOS PRINCIPAIS AQUÍFEROS
EM PORTUGAL CONTINENTAL





ÁGUAS MINERAIS NATURAIS E DE NASCENTE

Ambas as águas minerais naturais e de nascente estão enquadradas pelo D.L. 90/90, de 16 de Março. No entanto, uma Água Mineral Natural integra-se no domínio público do Estado, ao contrário das Águas de Nascente, que são objecto de propriedade privada, pelo que os seus diplomas específicos são diferentes (Decretos-Lei nº 86/90 e 84/90, ambos de 16 de Março, respectivamente).

ÁGUAS MINERAIS NATURAIS

Uma Água Mineral Natural é uma:

Água considerada bacteriologicamente própria de circulação subterrânea, com particularidades físico-químicas estáveis na origem dentro da gama de flutuações naturais de que podem eventualmente resultar propriedades terapêuticas ou simplesmente efeitos favoráveis à saúde.

Pela sua diversidade geológica, o nosso país é muito rico em águas minerais. Grande parte das águas minerais encontram-se localizadas na zona norte do país estando a sua distribuição intimamente relacionada com grandes acidentes tectónicos, como é o caso da falha Penacova-Régua-Verin.

A maior parte das águas minerais qualificadas são, do ponto de vista físico-químico, sulfúreas, conforme se pode observar na figura 12, na página seguinte.

Uma água mineral natural pode ter como tipo de utilização o termalismo, o engarrafamento, ou ambos.

Actualmente existem 62 águas minerais concedidas, das quais 43 estão em actividade, encontrando-se as restantes em suspensão de exploração. Das 43 em actividade, 39 são exploradas só para fins termais, 14 são utilizadas só para engarrafamento, apresentando as restantes uma actividade mista, ou seja, termalismo e engarrafamento.

As características físico-químicas destas águas são muito importantes, constituindo um factor a ter em conta na escolha do estabelecimento termal a frequentar, uma vez que os médicos hidrologistas afirmam estarem as propriedades terapêuticas das águas minerais intimamente relacionadas com essas características.

Na figura 13 podes ver onde existem estâncias termais em Portugal e qual é o perfil químico dessas águas.

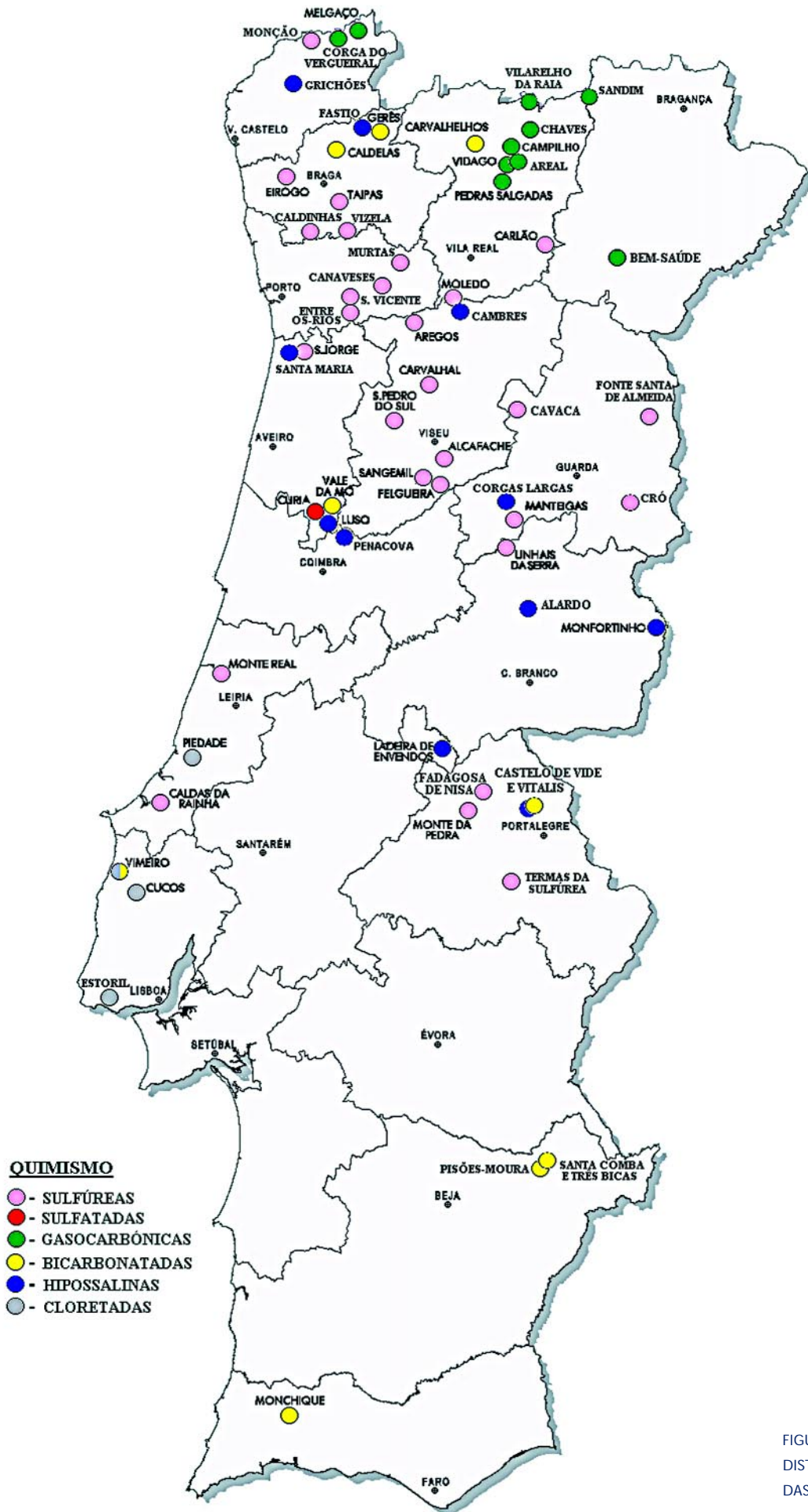


FIGURA 12
DISTRIBUIÇÃO E QUIMISMO
DAS ÁGUAS MINERAIS NATURAIS EM PORTUGAL

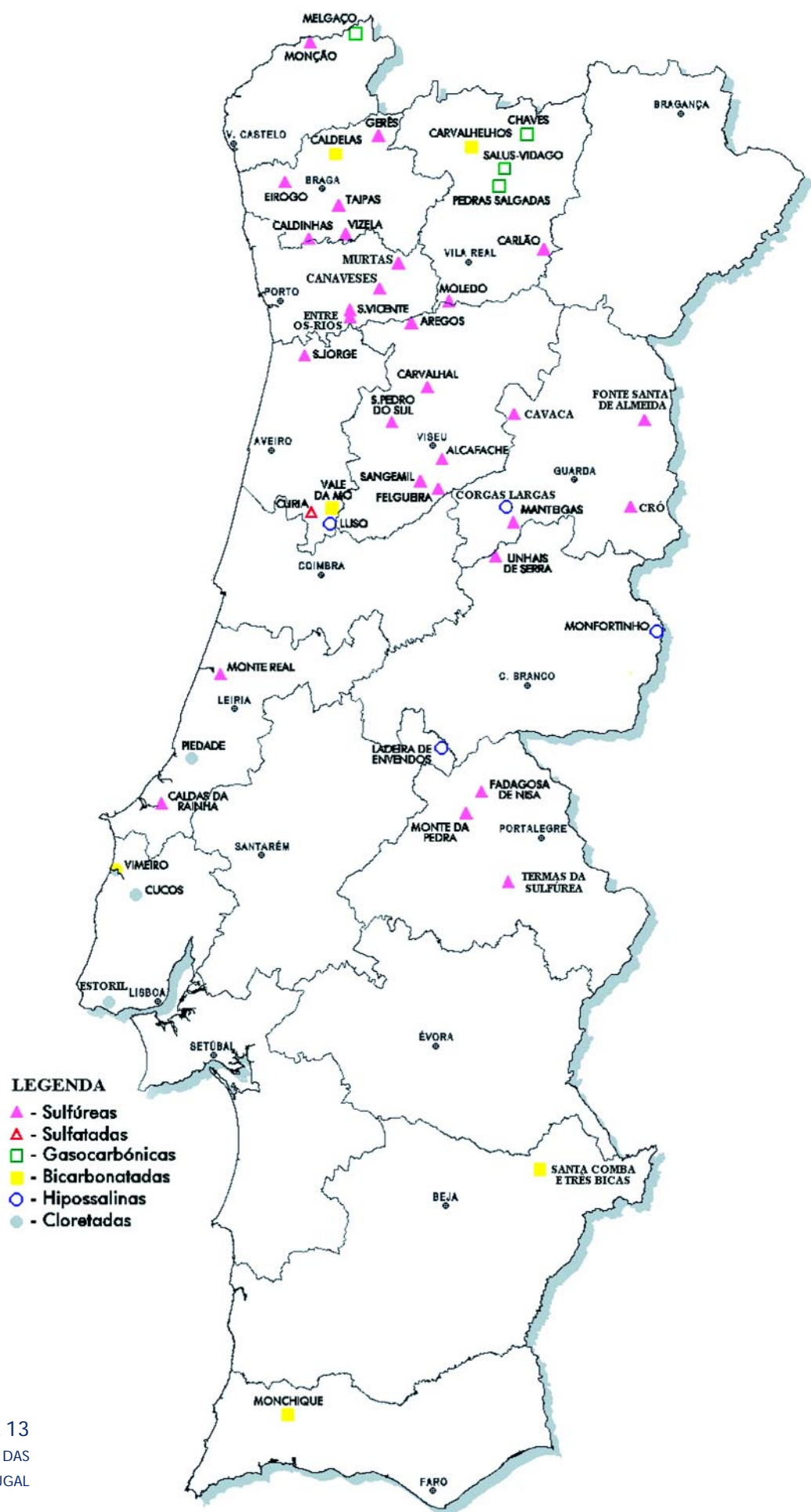
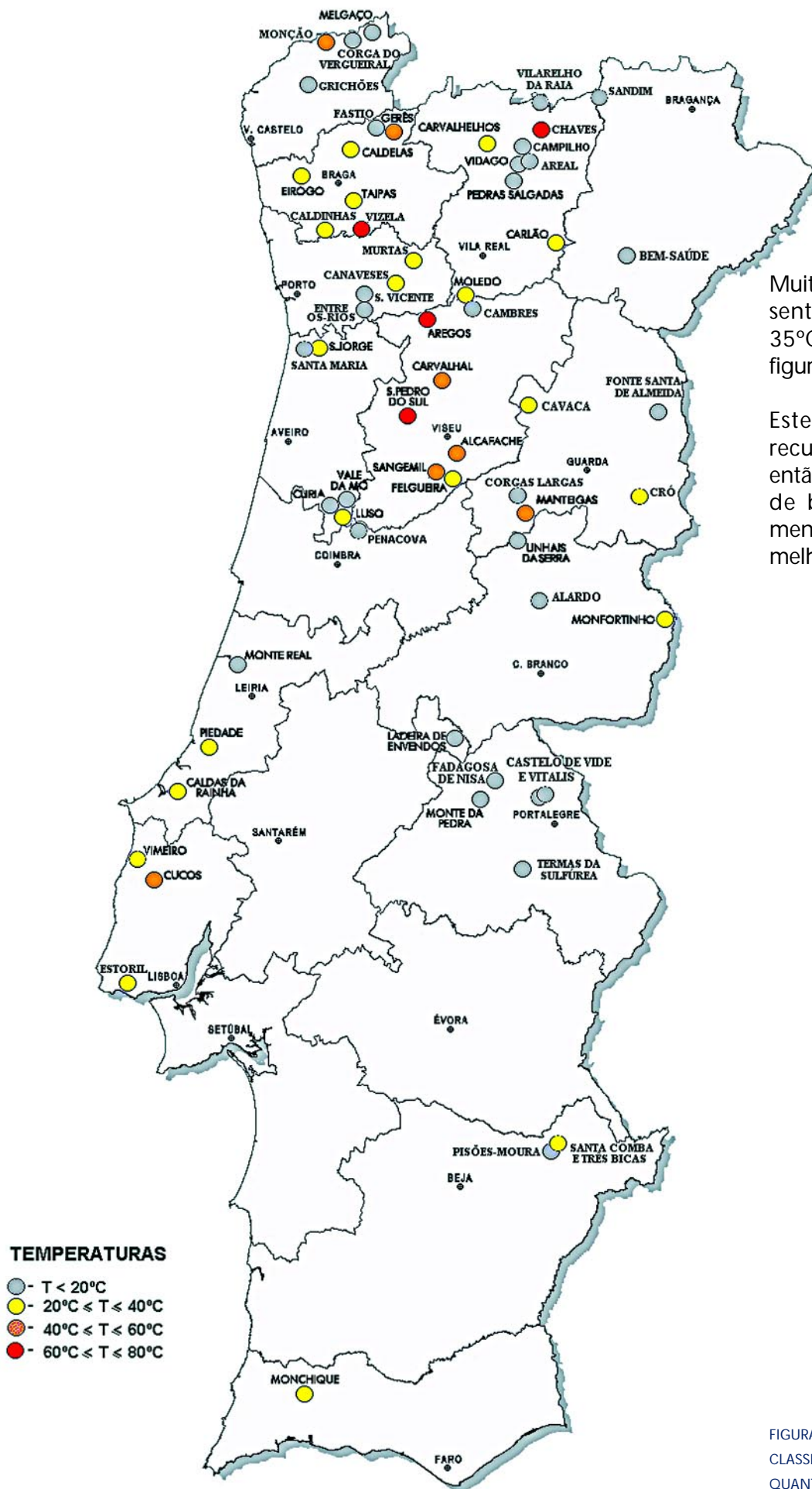


FIGURA 13
LOCALIZAÇÃO DAS
ESTÂNCIAS TERMAIS DE PORTUGAL



Muitas das águas minerais apresentam temperatura superior a 35°C , conforme se observa na figura 14.

Este facto torna-as, potenciais recursos geotérmicos, podendo então serem exploradas para fins de balneoterapia e aproveitamento de calor, permitindo uma melhor gestão do recurso.

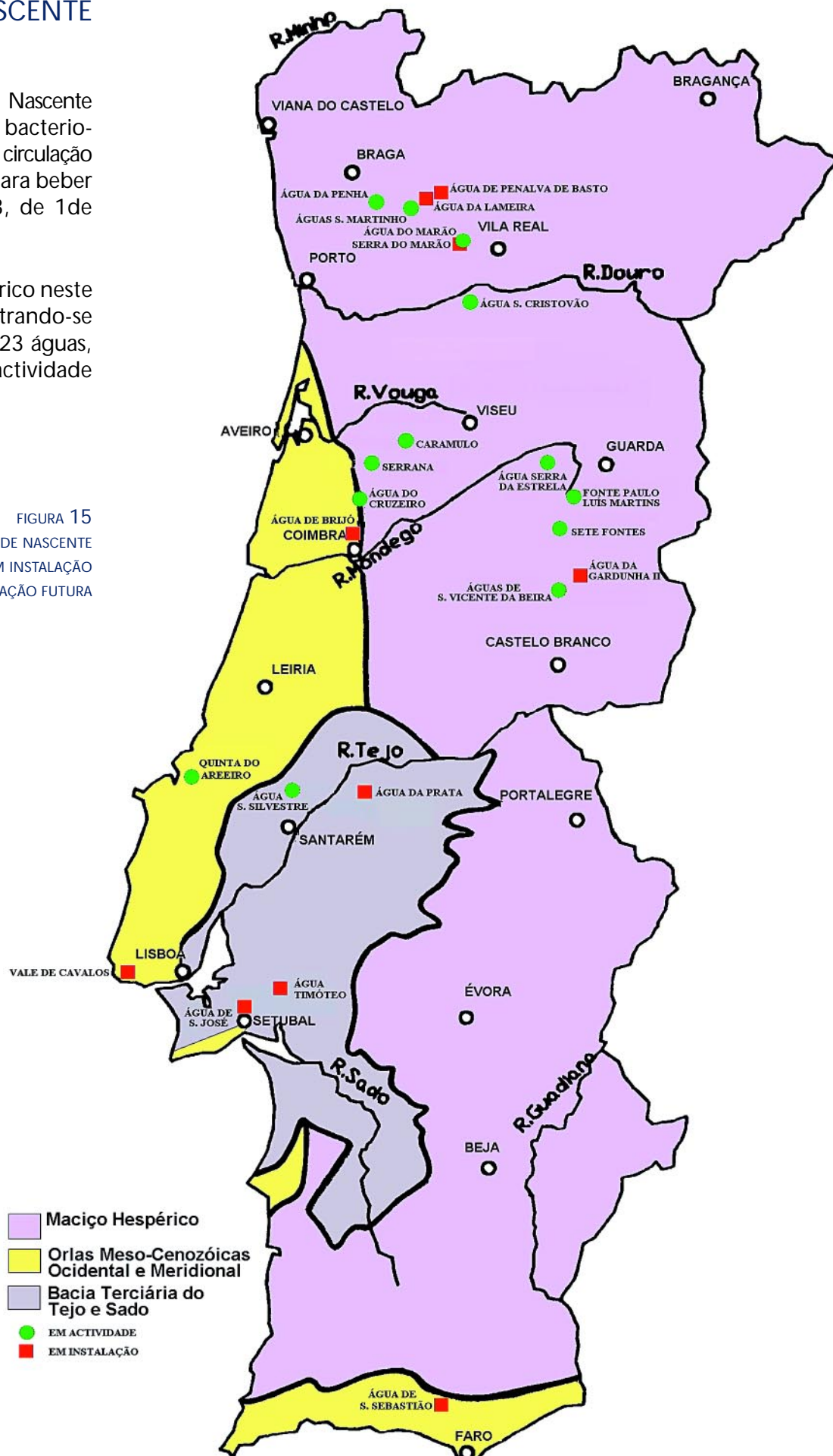
FIGURA 14
CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS MINERAIS NATURAIS QUANTO À TEMPERATURA.

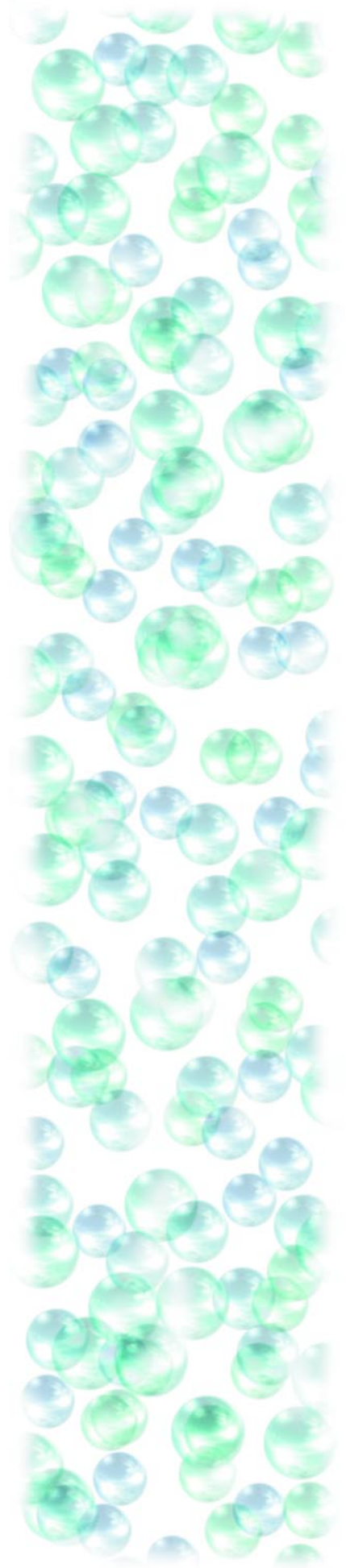
ÁGUAS DE NASCENTE

Por seu lado, as Águas de Nascente são águas consideradas bacteriológicamente próprias, de circulação subterrânea e próprias para beber (Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto).

O nosso país também é rico neste tipo de recurso, encontrando-se actualmente licenciadas 23 águas, das quais 13 estão em actividade (figura 15).

FIGURA 15
DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS DE NASCENTE
EM ACTIVIDADE E EM INSTALAÇÃO
PARA EXPLORAÇÃO FUTURA





Carta Europeia da Água

Água Água Água

- I. Não há vida sem água. A água é um bem precioso, indispensável a todas as actividades humanas.
- II. Os recursos de águas doces não são inesgotáveis. É indispensável preservá-los, administrá-los e, se possível, aumentá-los.
- III. Alterar a qualidade da água é prejudicar a vida do homem e dos outros seres vivos que dependem dela.
- IV. A qualidade da água deve ser mantida a níveis adaptados à utilização para que está prevista e deve, designadamente, satisfazer as exigências da saúde pública.
- V. Quando a água, depois de utilizada, volta ao meio natural, não deve comprometer as utilizações ulteriores que dela se farão, quer públicas quer privadas.
- VI. A manutenção de uma cobertura vegetal adequada, de preferência florestal, é essencial para a conservação dos recursos de água.
- VII. Os recursos aquíferos devem ser inventariados.
- VIII. A boa gestão da água deve ser objecto de um plano promulgado pelas autoridades competentes.
- IX. A salvaguarda da água implica um esforço crescente de investigação, formação de especialistas e de informação pública.
- X. A água é um património comum, cujo valor deve ser reconhecido por todos. Cada um tem o dever de a economizar e de a utilizar com cuidado.
- XI. A gestão dos recursos de água deve inscrever-se no quadro da bacia natural, de preferência a ser inserida no das fronteiras administrativas e políticas.
- XII. A água não tem fronteiras. É um recurso comum que necessita de uma cooperação internacional.

Carta proclamada pelo Conselho da Europa, em Estrasburgo, a 6 de Maio de 1968.



Instituto Geológico e Mineiro

Publicação sob o projecto N.º P-IV-1052
do Programa Ciência Viva

COORDENAÇÃO DE PROJECTO
Dra. Carla Midões
Dra. Judite Fernandes

COLABORAÇÕES
Div. de Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos do IGM
INAG/FCUL

CONCEPÇÃO GRÁFICA E MAQUETAGEM
Regina Falcão

IMPRESSÃO
GrafTime

TIRAGEM
200 exemplares

