



**Task Force da ONU/CEE sobre Monitorização e Avaliação**

com base na Convenção sobre Protecção e Utilização de Cursos de Água Transfronteiriços e Lagos Internacionais (Helsínquia, 1992)

Programa de trabalho 1996-1999

# **Directrizes sobre Monitorização e Avaliação de Águas Subterrâneas Transfronteiriças**

ISBN 9036953154

Lelystad, Países Baixos, Março de 2000

---

## Colofon

### Configuração:

Thieme Deventer

### Desenho da capa:

Panthera BNO  
G.E. Arnold (RIZA)

### Imagens da capa:

KNMI  
NITG-TNO  
Leon Lamers (KUN)  
Srécko Bořilovič

### Impresso por:

Thieme Deventer

### Editorial:

A assistência editorial foi fornecida pelo Secretariado da ONU/CEE, pelos membros do Grupo Nuclear sobre Águas Subterrâneas e por Ilonka Záborszky

A reprodução apenas é permitida se for indicado claramente que se trata de uma citação.

Cópias adicionais destas Directrizes ou os 4 volumes podem ser solicitados ao RIZA, Instituto para a Gestão de Águas Internas e Tratamento de Águas Residuais, secretariado de projecto do Task Force da ONU/CEE para Monitorização e Avaliação, Caixa Postal 17, 8200 AA Lelystad, Países Baixos. Fax: +31 (0)320 247642

- Volume 1: Inventory of transboundary groundwaters (ISBN 9036952743) (Inventário de águas subterrâneas transfronteiriças)
- Volume 2: Problem-oriented approach and the use of indicators (ISBN 9036952751) (Abordagem orientada para os problemas e utilização de indicadores)
- Volume 3: Application of models (ISBN 903695276X) (Aplicação de modelos)
- Volume 4: State of the art on monitoring e assessment of groundwaters (ISBN 9036952778) (Estado da técnica na monitorização e avaliação de águas subterrâneas)

### NOTA:

As designações utilizadas e a apresentação do material nesta publicação não implicam a emissão de qualquer tipo de opinião por parte do Secretariado das Nações Unidas relativamente ao estatuto legal de qualquer país, território, cidade ou área, ou relativamente à delimitação das suas fronteiras ou limites.

---

## Prefácio

---

Estas Directrizes sobre monitorização e avaliação de águas subterrâneas transfronteiriças foram elaboradas pelo antigo Task Force da CEE para Monitorização e Avaliação que teve os Países Baixos como país coordenador, (actualmente conhecido como Grupo de Trabalho para Monitorização e Avaliação), e foram adoptadas durante o sétimo encontro em Bled (Eslovénia), como parte integrante do plano de trabalho 1996-1999 com base na Convenção sobre Protecção e Utilização de Cursos de Água Transfronteiriços e Lagos Internacionais (Helsínquia, 1992). Estas Directrizes foram homologadas pelas Partes participantes na Convenção durante o seu segundo encontro (Haia, Países Baixos, 23-25 de Março de 2000).

Com vista à implementação do programa do Task Force sobre monitorização e avaliação de águas subterrâneas transfronteiriças foi criado um Grupo Nuclear, chefiado por G.E. Arnold (Instituto para a Gestão de Águas Internas e Tratamento de Águas Residuais (RIZA), Países Baixos).

Estas Directrizes foram elaboradas por J.J. Ottens (Instituto para a Gestão de Águas Internas e Tratamento de Águas Residuais (RIZA), Países Baixos), G.E. Arnold (Instituto para a Gestão de Águas Internas e Tratamento de Águas Residuais (RIZA), Países Baixos), Zs. Buzás (Ministério dos Transportes, Comunicação e Gestão de Águas, Hungria), J. Chilton (Prospecção Geológica Britânica/Reino Unido-Organização de Saúde Colaboradora Centro-Mundial), R. Enderlein (secretariado da CEE), E. Havas-Szilágyi (Ministério dos Transportes, Comunicação e Gestão de Águas, Hungria), P. Ronák (Instituto Hidrometeorológico Eslovaco, Eslováquia), O. Tarasova (Ministério para a Protecção Ambiental e Segurança Nuclear, Ucrânia), J.G. Timmerman (Instituto para a Gestão de Águas Internas e Tratamento de Águas Residuais (RIZA), Países Baixos), B. Toussaint (Agência de Heidelberg para o Ambiente, Alemanha) e M. Varela (Ministério do Ambiente, Espanha).

As Directrizes baseiam-se em estudos de actividades actuais de monitorização e avaliação e em resultados de sub-projectos, chefiados por diversos membros do grupo nuclear, os quais foram compilados em quatro relatórios de fundo:

- Inventário de águas subterrâneas transfronteiriças (chefe de sub-projecto Zs. Buzás);
- Abordagem orientada para os problemas e utilização de indicadores (chefe de sub-projecto J.J. Ottens);
- Aplicação de modelos (chefe de sub-projecto P. Ronák);
- Estado da técnica na monitorização e avaliação de águas subterrâneas (chefe de sub-projecto G.E. Arnold).

Estas Directrizes destinam-se a ser testadas numa série de projectos-piloto.

---

---

## Conteúdo

---

### **Prefácio**

#### **1. Introdução 7**

- 1.1 Antecedentes 7
- 1.2 Acerca destas Directrizes 7
- 1.3 Aspectos específicos da monitorização de águas subterrâneas 9
- 1.4 Abordagem integrada 11
- 1.5 Fontes de informação 12
- 1.6 Revisão das Directrizes 15

#### **2. Identificação de tópicos sobre gestão de águas subterrâneas 16**

- 2.1 Funções, pressões e objectivos 16
- 2.2 Estabelecimento de prioridades 18

#### **3. Necessidades de informação 19**

- 3.1 Especificação de necessidades de informação e monitorização 19
- 3.2 Utilização de indicadores 22
- 3.3 Desenvolvimento das necessidades de informação e monitorização 23
- 3.4 Objectivos e tipos de monitorização 23

#### **4. Estratégias para monitorização e avaliação 26**

- 4.1 Aspectos estratégicos-chave 26
- 4.2 Elementos de estratégias de monitorização e avaliação 27

#### **5. Programas de monitorização 32**

- 5.1 Aspectos gerais 32
- 5.2 Requisitos específicos de desenho para diferentes tipos de monitorização 41

#### **6. Gestão de dados 44**

- 6.1 Etapas na gestão de dados 44
- 6.2 Dicionário de dados 45
- 6.3 Validação de dados 45
- 6.4 Armazenamento de dados e meta-informação 45
- 6.5 Análise e interpretação de dados 46
- 6.6 Intercâmbio de dados 46
- 6.7 Relatórios 47

#### **7. Gestão de qualidade 48**

- 7.1 Objectivos da gestão de qualidade 48
- 7.2 Política de qualidade 48
- 7.3 Sistema de qualidade 48
- 7.4 Protocolos 49
- 7.5 Requisitos de produtos 49
- 7.6 Estandardização e harmonização 50

---

**8. Acção conjunta ou coordenada e convénios institucionais 51**

8.1 Planos e programas concertados de acção 51

8.2 Órgãos mistos e suas actividades 52

8.3 Outros convénios a nível nacional e/ou local 54

**Bibliografia complementar 57**

**Glossário de termos 61**

**Anexo 63**

Indicadores utilizados internacionalmente

---

# 1. Introdução

---

## 1.1 Antecedentes

A Convenção sobre Protecção e Utilização de Cursos de Água Transfronteiriços e Lagos Internacionais (Helsínquia, 1992) contém importantes disposições sobre a monitorização e avaliação de águas transfronteiriças, sobre a avaliação do efeito das medidas tomadas para prevenir, controlar e reduzir o impacto transfronteiriço, e sobre o intercâmbio de informação sobre a água e respectiva monitorização. Outros aspectos relevantes dão conta da harmonização das regras para a implementação e funcionamento de programas de monitorização, os quais incluem sistemas e instrumentos de medição, técnicas analíticas, processamento de dados e técnicas de avaliação. As necessidades de monitorização vão aumentando, uma vez que a Convenção tem como objectivo a protecção de ecossistemas, os quais podem estar intimamente interligados com águas subterrâneas e com a protecção de fontes abastecedoras de água para consumo humano.

A monitorização e avaliação fazem também parte do Protocolo de 1999 sobre Água e Saúde para a Convenção sobre Protecção e Utilização de Cursos de Água Transfronteiriços e Lagos Internacionais. Este Protocolo contém disposições relativas ao estabelecimento de sistemas conjuntos ou coordenados de vigilância e alerta antecipado para identificação de incidentes ou focos de doenças relacionados com a água ou ameaças significativas de tais focos ou incidentes (incluindo os que resultam de poluição da água ou de temperaturas extremas). O Protocolo prevê também o desenvolvimento de sistemas de informação e bases de dados integrados, o intercâmbio de informação e a partilha de conhecimentos e experiências de tipo técnico ou legal.

## 1.2 Acerca destas Directrizes

Estas Directrizes dizem respeito a águas subterrâneas transfronteiriças. Fazem parte de um conjunto de Directrizes para a monitorização e avaliação de rios, águas subterrâneas, lagos e estuários.

Estas Directrizes possuem um carácter mais estratégico do que técnico <sup>1</sup>. Destinam-se a apoiar as direcções da CEE e órgãos mistos no desenvolvimento de regras harmonizadas para a implementação e funcionamento de sistemas para monitorização e avaliação de águas

---

Nota:

<sup>1</sup> Para detalhes técnicos devem ser consultados os relatórios de antecedentes preparados pelo Grupo Nuclear de Águas Subterrâneas, e a literatura e manuais internacionais sobre práticas operacionais de monitorização e avaliação (consultar a bibliografia complementar).

---

subterrâneas transfronteiriças. O grupo-alvo inclui responsáveis políticos em ministérios, organizações e instituições responsáveis por assuntos ambientais, hidrogeológicos ou relacionados com a água e todos aqueles que também são responsáveis pela gestão de águas subterrâneas transfronteiriças. As Directrizes têm também como objectivo oferecer aconselhamento aos responsáveis pelo desenvolvimento de esquemas sustentáveis de gestão de águas ou outras pessoas envolvidas nos mesmos.

Estas Directrizes pretendem ser concisas e realistas; não pretendem ser prescritivas. Elas oferecem uma abordagem para a identificação de problemas e orientação para corresponder a necessidades de informação. As Directrizes abordam sobretudo as necessidades de monitorização e avaliação surgidas no âmbito da Convenção. São também levadas em conta, tanto quanto possível, as necessidades de monitorização e avaliação surgidas no âmbito do Protocolo sobre Água e Saúde. Contudo, uma consideração extensiva sobre este último ponto só poderá ser possível quando existir mais experiência sobre assuntos relacionados com a água e saúde humana.

**Definições utilizadas nestas Directrizes:**

• *monitorização*

Monitorização trata-se do processo de observação repetitiva, para objectivos definidos de um ou mais elementos ambientais de acordo com esquemas espaciais e temporais pré-definidos e utilizando metodologias comparáveis para percepção ambiental e recolha de dados. Fornece informação relativa ao estado actual e tendências anteriores em termos de comportamento ambiental.

• *avaliação*

Avaliação do estado hidrológico, químico e/ou micro-biológico das águas subterrâneas em relação às condições de fundo, efeitos humanos e as utilizações actuais ou pretendidas, as quais podem afectar a saúde humana ou o ambiente de forma adversa.

• *prospecção*

Programa intensivo com duração finita para medir, avaliar e relatar o estado do sistema de águas subterrâneas para um objectivo específico.

A abordagem geral do ciclo de monitorização (figura 1.1), tal como apresentado nas Directrizes sobre monitorização e avaliação de rios transfronteiriços<sup>2</sup>, será também seguida nestas Directrizes.

O ciclo de monitorização oferece um guia do leitor para estas Directrizes e uma abordagem valiosa para a elaboração de programas para a monitorização e avaliação de águas subterrâneas transfronteiriças.

O intercâmbio de informação (e avaliação/modelos conjuntos) entre partes ribeirinhas, apenas é significativo se os dados forem comparáveis. Isto poderá ser atingido se todos os componentes das actividades de

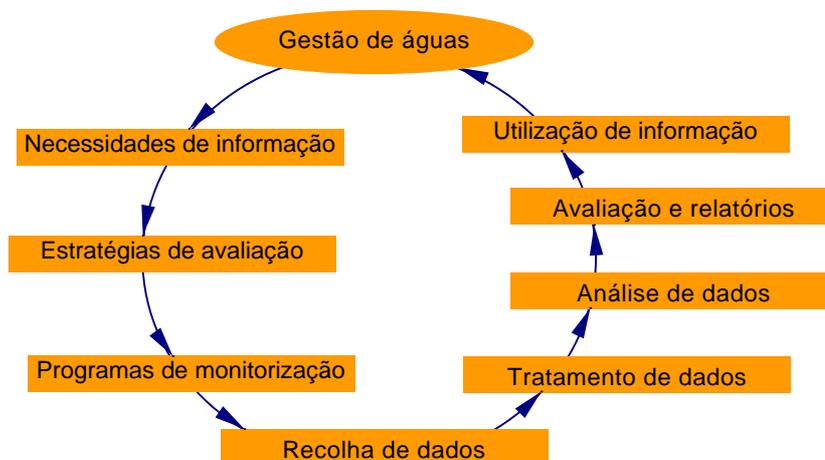
---

**Nota:**

<sup>2</sup> Nestas Directrizes foi, tanto quanto possível, utilizada as experiências obtidas com a implementação das Directrizes sobre Monitorização e Avaliação de Rios Transfronteiriços em projectos-piloto e sua versão actualizada.

monitorização de águas subterrâneas de ambos os lados da fronteira utilizarem princípios similares ou adoptarem uma abordagem tal como o ciclo de monitorização apresentado abaixo.

Figura 1.1  
Ciclo de Monitorização



### 1.3 Aspectos específicos da monitorização de águas subterrâneas

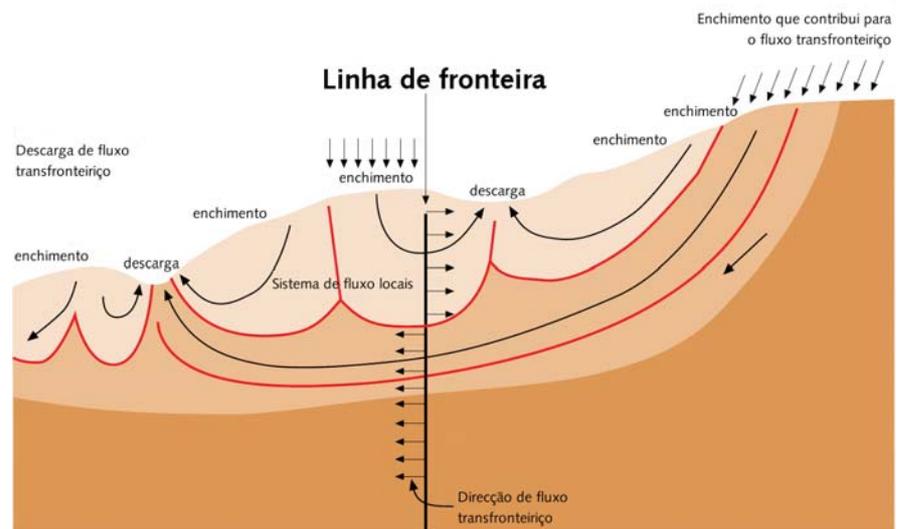
Ao implementar programas de monitorização e avaliação transfronteiriços, é essencial apresentar a hidrogeologia em modelos conceptuais e/ou esquemas gráficos. Isto deve compreender uma caracterização do aquífero transfronteiriço (geometria), as condições do fluxo, incluindo áreas de enchimento e descarga e a evolução da qualidade da água subterrânea.

A caracterização e descrição de sistemas aquíferos transfronteiriços relevantes constituem pré-requisitos para monitorização e avaliação de águas transfronteiriças em geral e de águas subterrâneas transfronteiriças em particular. As características que influenciam a forma como as águas subterrâneas são monitorizadas e avaliadas e que as distinguem das águas de superfície são:

- o movimento lento (tempo de permanência longo) das águas subterrâneas aumenta o potencial para a modificação da sua qualidade através da interacção entre a água e o material aquífero circundante. Para além disso, uma vez que as águas subterrâneas se encontrem poluídas, elas poderão manter-se nesse estado durante muitos anos, sendo difícil intervir efectivamente neste processo;
- a interacção entre o material aquífero e a água faz com que a hidrogeoquímica natural se desenvolva à medida que a água subterrânea se vai infiltrando. De forma a conseguir detectar e quantificar os impactos sobrepostos da actividade humana, a qualidade "básica" da água subterrânea com as suas variações em termos de espaço e profundidade tem de ser avaliada;
- o fluxo das águas subterrâneas pode ser intergranular e/ou através de fracturas. O fluxo das águas subterrâneas é muito mais rápido mas mais variável e difícil de calcular no caso de rochas bastante fracturadas. O

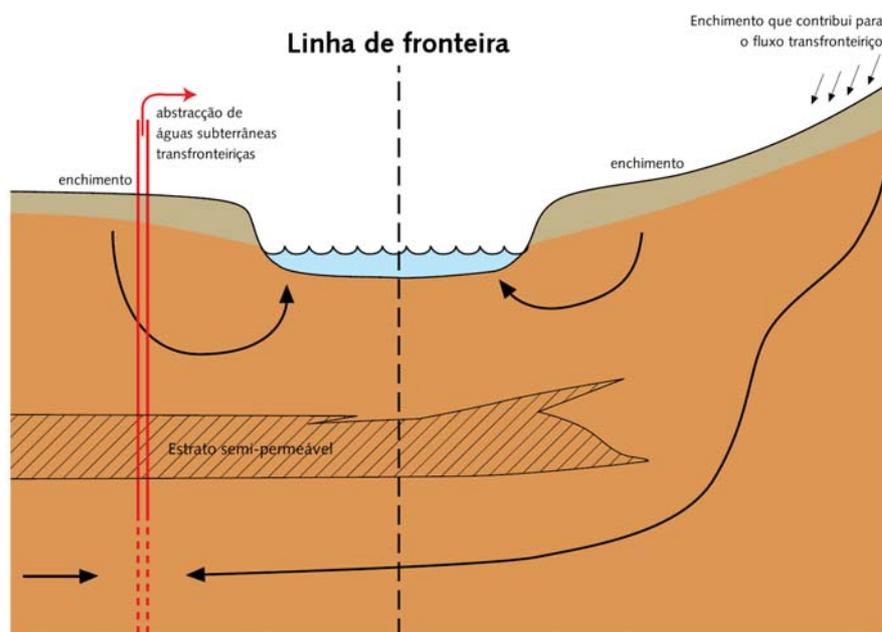
- fluxo intergranular das águas subterrâneas aumenta o potencial para uma interacção entre o material aquífero e as águas subterrâneas;
- as áreas de enchimento e descarga têm de ser determinadas e as actividades que podem afectar a quantidade ou qualidade das águas subterrâneas têm de ser compreendidas. O conhecimento do sistema de fluxo de águas subterrâneas significa em particular a localização das zonas de enchimento e descarga das águas subterrâneas, e a forma como as águas subterrâneas se deslocam através de aquíferos de zona para zona (figura 1.2). As actividades nas áreas de enchimento de um lado da fronteira podem afectar de forma adversa a qualidade ou quantidade das águas subterrâneas do outro lado (ver figura 1.3). De forma a determinar as condições de enchimento e descarga em algumas áreas, a interacção entre águas de superfície e águas subterrâneas tem de ser compreendida;
  - as condições antecedentes variam com o tempo e estas variações espaciais, temporais e de profundidade têm de ser determinadas antes de ser possível detectar qualquer impacto de actividade humana;
  - sistemas multi-nível. Quando existe mais do que um aquífero separado por estratos semi-permeáveis ou outro material menos permeável, os caminhos de passagem ou ligações possíveis entre eles devem ser entendidos.

.....  
**Figura 1.2**  
 Sistemas de fluxo de águas subterrâneas transfronteiriças



Assim, de forma a caracterizar a ocorrência de águas subterrâneas, é necessária informação sobre geologia, geofísica e hidrogeologia da área transfronteiriça. Para além disso, deve ser entendida a dinâmica do sistema de fluxo de águas subterrâneas, como por exemplo as reacções sazonais ou de longo prazo e variações e alterações no nível ou direcção do fluxo causadas por actividades humanas, principalmente a abstracção de águas subterrâneas. A qualidade das águas subterrâneas é infinitamente variável no espaço e no tempo, mas em escalas espaciais e temporais diferentes das águas de superfície, e esta variedade torna-se mais complexa devido às interacções acima mencionadas.

**Figura 1.3**  
Efeito de um estrato semi-permeável transfronteiriço no fluxo de águas subterrâneas



#### 1.4 Abordagem integrada

Deve ser considerada a harmonização das redes de monitorização de águas de superfície e águas subterrâneas, de forma a conseguir gerir e proteger os recursos hídricos transfronteiriços de forma efectiva. A monitorização de tipo básico/de referência e de concordância devem ser ligadas da forma mais apropriada.

As águas subterrâneas devem ser avaliadas de uma forma integrada, com base em critérios que abrangem a qualidade e quantidade de água para diferentes tipos de utilização humana, bem como requisitos de ecossistemas. Devem ser compreendidos os assuntos relevantes e as relações de causa-efeito entre assuntos e tipos de utilização.

A especificação de necessidades de informação, as quais devem conduzir a objectivos de monitorização, poderão ser bastante similares para as monitorizações de águas subterrâneas e águas de superfície. Após terem sido determinadas as necessidades de informação, poderão ser escolhidos os tipos de estratégia de monitorização e avaliação (águas subterrâneas/águas de superfície; qualidade da água/quantidade de água; monitorização/pesquisa, etc.).

No desenvolvimento de programas de monitorização, devem ser tomados em consideração os seguintes aspectos que permitem uma maior integração:

- *integração de recolha e armazenamento de dados*

A monitorização de águas de superfície e águas subterrâneas e de qualidade e quantidade de água é frequentemente efectuada por diferentes autoridades e a informação resultante deveria ser avaliada de forma combinada (e descrita em modelos conjuntos).

---

- *Interacção águas subterrâneas - águas de superfície*

A monitorização e avaliação das águas de superfície e águas subterrâneas deveria ser ainda mais integrada, especialmente nos casos em que o enchimento se faz através de infiltração de águas de superfície ou no caso de ecossistemas vulneráveis.

- *quantidade - qualidade*

Existem frequentemente relações e interacções claras entre a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas. São utilizadas medições de quantidade de águas subterrâneas, tais como níveis e escoamento, de forma a caracterizar o sistema de fluxo de águas subterrâneas, quer no seu estado natural, quer sob influência de actividades humanas, especialmente a exploração de águas subterrâneas. Esta exploração pode também exercer impacto sobre a qualidade, como por exemplo entrada de água salina num aquífero intensamente explorado, e estes impactos (e quaisquer medidas para os minorar) podem assim ser avaliados mais efectivamente através da observação conjunta da quantidade e qualidade das águas subterrâneas.

- *outros sectores*

Uma gestão integrada da água compreende aspectos relacionados com a quantidade e com a qualidade da água. Foca as funções e utilizações da água e relaciona-as num planeamento ecológico e físico. A avaliação ligada a este objectivo envolve monitorização integrada que fornece informação sobre uma grande variedade de assuntos/aspectos (utilizações, funções, hidrogeologia, regimes de fluxos, progresso em relação a objectivos políticos). Este tipo de abordagem integrada será facilitada com a utilização de indicadores.

A análise, planeamento e gestão dos recursos hídricos de uma forma global e trans-fronteiras envolve muitas disciplinas, factores e interveniente. Para aquíferos e bacias hidrográficas transfronteiriços, com as suas dinâmicas e sistemas de fluxos inter-relacionados, esta abordagem é e tornar-se-á gradualmente mais importante, uma vez que a água constitui um dos factores-chave para um desenvolvimento sustentável na Europa. A gestão sustentável dos recursos hídricos deve relacionar o desenvolvimento social e económico com a protecção dos ecossistemas naturais. Uma gestão efectiva liga as utilização de terra e de água através de toda a extensão de uma bacia fluvial ou aquífero subterrâneo. Isto constitui também um dos pontos de partida da Convenção sobre Protecção e Utilização de Cursos de Água Transfronteiriços e Lagos Internacionais (Helsínquia, 1992).

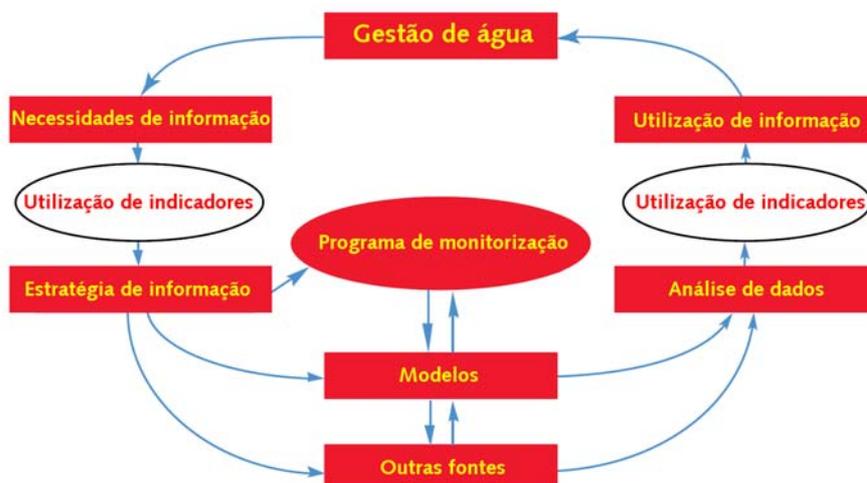
## **1.5 Fontes de informação**

A informação sobre águas subterrâneas transfronteiriças pode ser obtida através de fontes primárias, tais como programas de monitorização, computação e previsões através de modelos e outros tipos de fontes (por exemplo bases de dados) que contenham informação estatística ou administrativa (figura 1.4).

Em última análise, nem toda a informação será recolhida através de redes de monitorização. Ao especificar as necessidades de informação (em cujo

processo os indicadores podem ser muito úteis) o método específico de recolha será clarificado e documentado na estratégia de informação.

Figura 1.4  
Fluxo de informação



A utilização destas fontes de informação, em combinação umas com as outras, oferece as condições perfeitas para um bom equilíbrio em termos de custos-eficácia. Num contexto transfronteiriço deve-se realçar que não é possível a combinação ou integração destas fontes no caso de não ter havido uma harmonização de (bases de) dados ou se esta não tiver sido prevista antes de serem iniciadas efectivamente as actividades de avaliação ou de elaboração de modelos conjuntos.

A informação básica de tipo geral encontra-se disponível na base de dados ambientais da Europa (CORINE, EIONET), em atlas internacionais e numa série de mapas sobre geologia, balanços hidrológicos, vegetação, utilização de solos e de terras e em numerosos tipos de data de teledetecção (consultar também "Bibliografia complementar"). As escalas variam de 1:1,000,000 a 1: 20,000,000. Para além disso, podem ser utilizados outros mapas e atlas nacionais e internacionais. O sub-projecto "Inventário de águas subterrâneas transfronteiriças" inclui também mapas informativos para a região CEE, bem como a "Monografia sobre qualidade e quantidade de águas subterrâneas na Europa".

No entanto, alguns destes mapas e bases de dados oferecem informação a um nível que não é suficientemente alargado para um problema transfronteiriço. Para informação de fundo sobre geologia, hidrogeologia e utilização de terras eles poderão oferecer alguma informação de fundo com valor, mas não podem substituir fontes de informação locais ou regionais.

Em geral, podem distinguir-se quatro tipos diferentes de fontes de informação: mapas (informação em termos de área), registos (fontes de pontos como por exemplo registos de perfuração), relatórios (dados globais) e diversos (por exemplo comunicações pessoais, pesquisas de campo e investigação de ONGs).

Nos anos mais recentes foram elaborados muitos inventários e estudos relacionados com o assunto da monitorização e avaliação dos recursos

---

hídricos subterrâneos. As principais fontes consultadas para informação sobre actividades de monitorização e avaliação estão mencionadas abaixo:

- o programa fluvial do estudo da ONU/CEE sobre Cursos de Água e Lagos Transfronteiriços é o precursor do presente programa sobre águas subterrâneas transfronteiriças. Em particular o volume 5 "State of the Art on Monitoring and Assessment of Rivers" (Niederländer et al., 1996) (Estado da Arte na Monitorização e Avaliação de Rios) oferece um resumo dos princípios de desenho de uma rede de monitorização. Este relatório contém também informação acerca da análise química e tratamento de amostras segundo standards internacionais;
- a Rede Europeia de Organizações de Pesquisa de Águas Doces (EurAqua) dedicou a sua segunda análise técnica à "Optimização de Redes de Monitorização de Águas Doces incluindo Ligações com Construção de Modelos" (EurAqua, 1995). Esta análise técnica inclui relatórios de 14 países Europeus acerca das suas redes de monitorização, tanto para águas de superfície como para águas subterrâneas. O relatório oferece uma impressão das dimensões das redes nacionais existentes (incluindo as suas estruturas organizacionais), os objectivos subjacentes e declarações acerca da necessidade de pesquisa futura para monitorização;
- o relatório "Groundwater Monitoring in Europe" (Koreimann et al., 1996) (Monitorização de Águas Subterrâneas na Europa) é o resultado de um inventário elaborado pelo Centro Temático Europeu sobre Águas Interiores (CTE/AI) da Agência Ambiental Europeia (AAE). Foca especialmente a monitorização de águas subterrâneas, tanto em termos de qualidade como de quantidade. Trata-se de um inventário de redes existentes dos estados membros da AAE (países da UE, Noruega e Islândia) e contém bastantes detalhes técnicos. Com base no inventário anterior sobre Monitorização de Águas Subterrâneas na Europa, o CTE/AI apresentou uma proposta para o desenho de uma rede de monitorização de águas subterrâneas nos países membros da AAE que é apresentada no relatório "European Freshwater Monitoring Network Design" (Nixon, 1996) (Desenho de Redes de Monitorização de Águas Doces). O procedimento de desenho proposto baseia-se num resumo e avaliação dos procedimentos actuais de monitorização;
- Em 1994 e 1996 tiveram lugar duas conferências, "Monitorização à Medida I" e "Monitorização à Medida II", respectivamente. As actas de ambas as conferências, Adriaanse et al. (1994) e Ottens et al. (1997) respectivamente, contêm novos desenvolvimentos em termos de monitorização e avaliação, tanto em águas de superfície como em águas subterrâneas;
- a 'proposta para uma directiva do Conselho para o estabelecimento de um quadro de acções Comunitárias no domínio da política sobre a água', a seguir referida como "Directiva sobre Quadro de Acção sobre a Água", estabelece Directrizes num dos seus anexos para desenho de redes de monitorização de águas subterrâneas, com referências específicas sobre aquíferos transfronteiriços. As actividades operacionais de monitorização, a ser levadas a cabo nos períodos entre os programas de monitorização de vigilância, encontram-se detalhadas no texto.

---

## 1.6 Revisão das Directrizes

O Encontro dos Participantes na Convenção deverá avaliar o progresso efectuado na implementação das Directrizes e, se necessário, estabelecer providências para as rever.

Para tal fim, estas Directrizes serão revistas com base nas experiências adquiridas com a sua implementação em projectos-piloto em alguns aquíferos transfronteiriços na região CEE. Para além disso, os resultados preliminares de projectos-piloto para a implementação das Directrizes sobre Rios auxiliará consideravelmente no estabelecimento e revisão da implementação das Directrizes sobre Águas Subterrâneas. Em alguns casos, poderá ser possível incorporar estas Directrizes nos projectos-piloto sobre rios, de forma a conseguir uma monitorização e avaliação de águas transfronteiriças verdadeiramente integrada, a qual poderá ser baseada nos órgãos mistos já existentes.

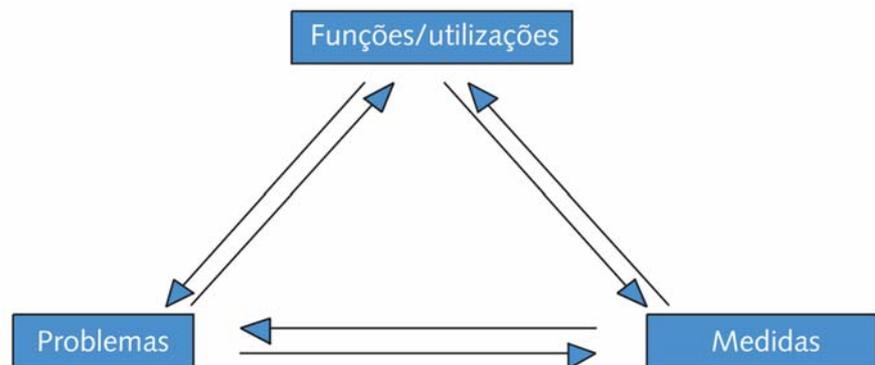
## 2. Identificação de tópicos sobre gestão de águas subterrâneas

As funções, pressões e objectivos de aquíferos transfronteiriços devem ser identificados e as prioridades devem ser estabelecidas.

### 2.1 Funções, pressões e objectivos

A gestão de águas subterrâneas faz parte integrante da gestão e protecção dos recursos hídricos. Os elementos nucleares na gestão de águas (subterrâneas) são as funções e as utilizações dos corpos de águas subterrâneas (aquíferos), os problemas e pressões (ameaças) e o impacto das medidas sobre o funcionamento geral do corpo hídrico (figura 2.1). Uma monitorização que satisfaça as necessidades de informação, deve cobrir estes elementos nucleares. Deverá também considerar a forma como a informação é utilizada no processo de tomada de decisões. As medidas podem incluir investigações dos problemas e ameaças, análises de riscos, recuperação, programas de monitorização existentes, controle de actividades poluentes ou de extracção excessiva.

Figura 2.1  
Elementos nucleares da gestão de águas



Exemplos de elementos nucleares da gestão de **águas subterrâneas**:

- *funções/utilizações*: conservação de zonas pantanosas (função), água para consumo humano ou irrigação (utilização);
- *problemas*: diminuição dos lençóis freáticos, poluição com substâncias perigosas;
- *medidas*: redução da extracção de águas e/ou enchimento artificial (infiltração), controle ou recuperação da poluição.

Durante o estabelecimento de estratégias de monitorização de águas subterrâneas, os seguintes aspectos devem ser identificados e acordados conjuntamente:

- a) o aquífero transfronteiriço e as relações com a água de superfície e ecossistemas associados;
- b) utilizações humanas específicas de águas subterrâneas transfronteiriças;
- c) função ecológica dos recursos de águas subterrâneas transfronteiriças;

- d) pressões que tenham um impacto sobre as acima mencionadas utilizações humanas e sobre o funcionamento de ecossistemas que estão dependentes de águas subterrâneas (tabela 2.1);
- e) objectivos de gestão quantificados, ou então claramente definidos, que possam permitir o estabelecimento de restrições e que possam ser implementados dentro de um período de tempo especificado.

Esta abordagem conjunta permite que o progresso obtido pelos países ribeirinhos possa ser comparado, tendo em conta o contexto muitas vezes específico do país ou região.

**Tabela 2.1**  
Funções/utilizações e problemas de sistemas de águas subterrâneas

Problemas	Funções/utilizações			
	água para consumo humano	águas industriais	agricultura	Ecossistemas / natureza
Acidificação	*	*	*	*
Nutrientes excessivos	*			*
Poluição com substâncias perigosas	*	*	*	*
Salinização				
Diminuição dos lençóis freáticos	*	*	*	*
	*	*	*	*

Algumas funções podem também ter um efeito adverso sobre outras funções, e os problemas não se restringem necessariamente aos sistemas de águas subterrâneas. A lista da tabela 2.1 não é exaustiva, evidentemente, e pode ser adaptada à medida (ou ser mais especificada) para regiões transfronteiriças específicas.

A especificação das utilizações humanas e do funcionamento ecológico, a identificação de pressões e de problemas e a determinação de objectivos, devem incluir quer aspectos qualitativos, quer aspectos quantitativos. As utilizações humanas de águas subterrâneas podem ser de tipo consumptivo ou não-consumptivo. Um exemplo do primeiro tipo é como recurso para água para consumo humano, indústria ou irrigação. A utilização não-consumptiva pode ser o controle dos lençóis freáticos para gestão de construções e para a agricultura, ou uma fronteira de água doce em zonas costeiras como barreira contra a entrada de água salgada.

Geralmente, os problemas acima mencionados fazem parte das agendas políticas. São frequentemente desenvolvidas políticas destinadas a tais problemas, as quais incluem investigação, pesquisa, monitorização etomada de medidas.

---

## 2.2 Estabelecimento de prioridades

Deve ser dada prioridade aos temas e objectivos relacionados com a gestão de águas subterrâneas, tendo em conta a Convenção e outros acordos relevantes – a diferentes níveis/escalas (por exemplo a nível da região CEE, a nível regional e local transfronteiriço, a nível aquífero). Estes assuntos prioritários determinam em larga escala as necessidades de informação que constituirão a base para a monitorização. No seguinte capítulo, serão discutidas metodologias e métodos de estabelecimento de prioridades para temas e objectivos.

Para cada aquífero transfronteiriço podem ser estabelecidos alvos que correspondam aos objectivos da Convenção. Tal como no caso da gestão de águas de superfície, pode ser estabelecida uma unidade de gestão para as águas subterrâneas. Isto será baseado em modelos conceptuais matemáticos e em conjuntos de dados sobre elementos do ciclo da água, elementos topográficos, informação pedológica e geológica, utilização de terras e unidades administrativas/legais. Nesta caracterização devem também ser incluídos os padrões de oferta e procura relacionados com as utilizações. Os objectivos por unidade podem ser estabelecidos num plano de acção estratégico coordenado por um órgão misto, constituído pelas partes ribeirinhas, o qual deverá também ser responsável pelo estabelecimento de prioridades.

### 3.Necessidades de informação

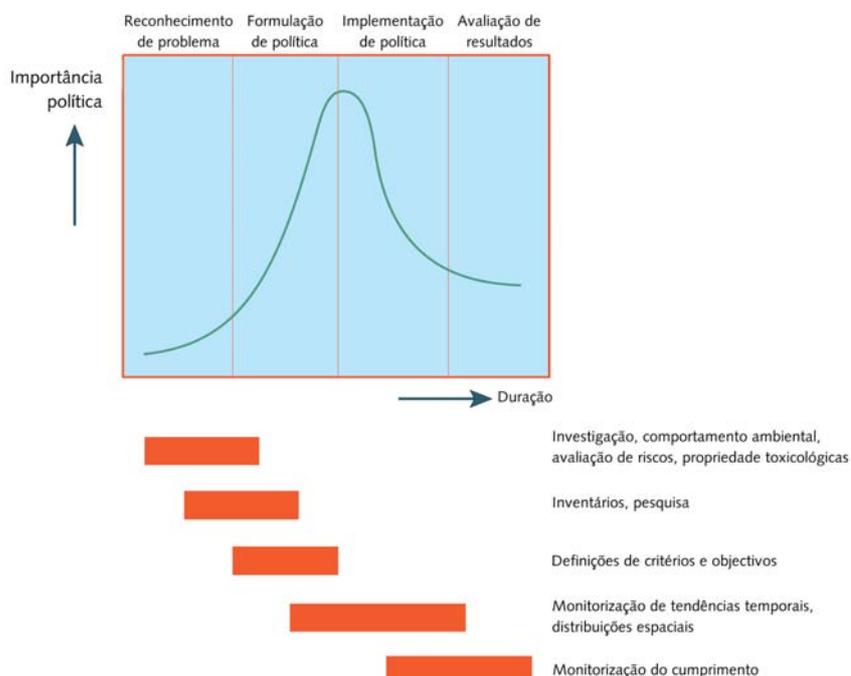
Para a identificação correcta de necessidades de informação é necessário que os interesses e os processos de tomada de decisões dos utilizadores da informação estejam previamente definidos.

#### 3.1 Especificação de necessidades de informação e monitorização

A informação necessária para a monitorização e avaliação de águas subterrâneas transfronteiriças deve ser estruturada com base em problemas e no nível que determinado problema tenha atingido no ciclo de vida de uma política (figura 3.1).

No primeiro nível, a questão é verificar se existe um verdadeiro problema ambiental. Quando a admissão do problema aumenta, é formulada uma política. Neste segundo nível, o foco do público sobre a capacidade de resolução de problemas dos responsáveis pela tomada de decisões é bastante acentuado, o que se reflecte pelo peso político. No terceiro nível, a política é implementada e são tomadas medidas para a resolução do problema. O quarto nível centra-se sobre o problema ambiental quase resolvido. O primeiro e segundo níveis exigem dados e pesquisa, de forma a reconhecer o problema e coerência causal.

**Figura 3.1**  
Ciclo de vida de uma política (segundo Winsemius, 1986 e Cofino, 1995)



O terceiro e quarto níveis exigem dados mais precisos de forma a seleccionar as medidas mais efectivas e a quantificar o seu efeito. Em todos os níveis é necessária alguma forma de monitorização. No primeiro e

segundo níveis isto será feito mais com base em pesquisas, enquanto que nos níveis seguintes o foco passa para a monitorização do cumprimento e, em menor grau, para a monitorização de vigilância e de restabelecimento.

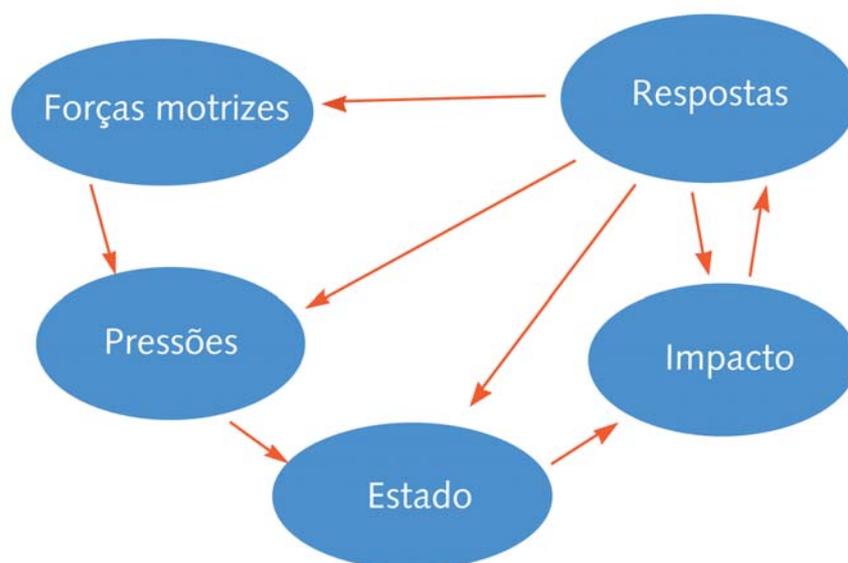
Para a identificação correcta de necessidades de informação é necessário que os interesses e os processos de tomada de decisões dos utilizadores da informação estejam previamente definidos. Os objectivos de monitorização desenvolver-se-ão a partir da especificação estruturada das necessidades de informação. Esta abordagem inclui também a utilização de uma tabela de função/problema de forma a clarificar o impacto de pressões sobre as funções.

A especificação das necessidades de informação inclui:

- O estabelecimento de critérios de avaliação. Estes critérios devem conduzir ao desenvolvimento de uma estratégia de avaliação. Os critérios de avaliação definidos para cada utilização, determinam a escolha da metodologia de avaliação (por exemplo considerações para o estabelecimento de standards ou critérios para a escolha de condições de alarme para alerta antecipado);
- a quantificação das necessidades de informação para avaliar a efectividade do produto de informação, esclarecendo qual o nível de detalhe relevante para a tomada de decisões. Isto afectará a frequência e precisão das medições, etc.
- a especificação de requisitos para elaboração de relatórios e apresentação do produto de informação (por exemplo visualização, nível de agregação e índices).

Na focalização de um problema específico de gestão de águas, é necessária informação sobre a origem e os efeitos do problema e sobre as medidas tomadas. As correntes de causalidade, como a estrutura DPSIR (figura 3.2), distinguem os diferentes aspectos de um problema. As necessidades de informação podem ser especificadas para um ou mais destes aspectos.

.....  
**Figura 3.2**  
A estrutura DPSIR



---

As forças motrizes descrevem a actividades humanas, como a intensificação da agricultura e produção química industrial, as quais constituem importantes fontes de problemas e ameaças. As pressões descrevem a tensão que os problemas colocam sobre as funções/utilizações do aquífero. O estado do aquífero é descrito em termos de concentrações ou características hidráulicas (nível de água subterrânea). O impacto descreve a perda de funções/utilizações como potabilidade ou utilização como fonte de água para consumo humano. As respostas descrevem as políticas que foram ou estão a ser desenvolvidas de forma a resolver o problema. As abordagens sumariadas acima podem auxiliar na especificação das necessidades de informação. Estas são complementares uma vez que, parte de uma abordagem, tal como os problemas, também faz parte de outra abordagem, tal como esquematizado na tabela de funções-problemas e ciclo de vida de uma política. As pressões fazem parte do DPSIR e parte do “problema” (tabela função/problema) e parte do primeiro estágio do ciclo de vida de uma política.

**Etapas na especificação de necessidades de informação:**

1. Identificar funções ou utilizações (tais como fonte de água para consumo humano) e problemas (como a acidificação e diminuição dos lençóis freáticos) do sistema de águas subterrâneas.
2. Estabelecer uma tabela função-problema de forma a verificar se os problemas estão em conflito com as funções dos sistemas de águas subterrâneas. Os objectivos da gestão devem ser formulados e acordados para protecção destes recursos de águas subterrâneas. Quando os orçamentos são restritos, pode ser utilizada uma tabela função-problema como ferramenta para estabelecimento de prioridades. A urgência de um problema e os meios disponíveis (técnicos e financeiros) determinam as prioridades.
3. Recolher pelo menos a seguinte informação sobre factores dependentes de local e tempo:
  - o funcionamento hidrológico e geoquímico do sistema de águas subterrâneas;
  - escalas espaciais e temporais;
  - processos químicos, físicos e biológicos;
  - os utilizadores da informação (responsáveis pela elaboração de políticas e/ou gestores a nível operacional);
  - o estado da gestão (identificação do problema, desenvolvimento de política, implementação de política e controle).
4. Utilizar o conceito DPSIR para uma especificação mais detalhada das necessidades de informação. A abordagem sistemática deste conceito é útil na procura de causalidades entre problemas ambientais (pressão), o impacto sobre os recursos de águas subterrâneas (impacto, estado) e as medidas a tomar (respostas).
5. Adaptá-las à medida a nível organizacional, utilizando o ciclo de vida de uma política. A informação necessária para a elaboração de políticas é diferente da informação necessária para a avaliação de medidas de restauração.
6. Efectuar uma lista de controle com critérios a cumprir, ligados aos factores mencionados em 3.

As abordagens fornecem também diferentes perspectivas, uma vez que o DPSIR foca sobretudo o sistemas de águas subterrâneas, o ciclo de vida de uma política no sistema socio-económico e as ligações da tabela função-problema ligam os dois.

### 3.2 Utilização de indicadores

Os indicadores referem-se muitas vezes a um conjunto de variáveis nucleares, dirigindo assim a estratégia de monitorização para um determinado problema. Os indicadores também podem ser utilizados para ilustrar os diferentes aspectos da informação desejada tal como representado na tabela 3.1.

Os indicadores oferecem, sobretudo, um meio de transmitir resultados de monitorização aos responsáveis pela tomada de decisões. Quando a selecção ou desenvolvimento dos indicadores se baseia nas abordagens acima mencionadas, o resultado será uma informação mais harmonizada, o que é especialmente importante quando se trata de águas subterrâneas transfronteiriças.

**Tabela 3.1**  
Problemas para os quais poderiam ser desenvolvidos indicadores, utilizando o conceito DPSIR.

Ecosistema						
Utilização de água para a agricultura						
Utilização de água para a indústria						
Fonte de água para consumo humano						
Problemas	Forças motrizes	Pressão	Estado	Impacto	Resposta	
Nutrientes em excesso	Intensificação da agricultura	Carga de nitrato em quintas	Nitrato em águas subterrâneas	Nitrato em água para consumo humano	Controle da utilização de estrumes/fertilizantes	
Poluição com substâncias perigosas	Produção química industrial	Emissões de metais pesados	Concentração de metais pesados	Problemas de potabilidade	Alterações nos conteúdos tóxicos em produtos e processos de produção	
Diminuição dos lençóis freáticos	Desenvolvimento económico	Procura de água para consumo humano/industrial	Diminuição dos lençóis freáticos	Perda de rendimentos	Controle da extracção. Enchimento artificial	
Salinização/infiltração de água salgada	Desenvolvimento económico	Sobre-exploração	Alta concentração de cloretos	Degradação da qualidade de água para consumo humano	Enchimento artificial	

Alguns indicadores actuais utilizados para a monitorização e avaliação da quantidade de água subterrânea são os níveis de águas subterrâneas (cota piezométrica), extracção de águas subterrâneas (utilização de água) e algumas espécies de plantas (desaparecimento ou surgimento) em relação à diminuição dos lençóis freáticos. Para a qualidade das águas subterrâneas poderia ser o Coeficiente de Absorção de Sódio (CAS) para irrigação, concentrações de nitrato resultantes do problema da utilização excessiva de fertilizantes e pH ou condutividade em relação a, por exemplo, salinização.

### 3.3 Desenvolvimento das necessidades de informação e monitorização

As necessidades de informação evoluem durante a monitorização à medida que a gestão da água se desenvolve, os objectivos são atingidos ou as políticas se alteram. O desenvolvimento das necessidades de informação exige uma reavaliação regular da estratégia de recolha de informação e das actividades de monitorização que advêm desta, de forma a actualizar a abordagem. Qualquer ajustamento em relação à recolha de informação deverá ter em conta os longos períodos de permanência das águas subterrâneas e o período de tempo antes de o impacto das actividades humanas ser observado.

### 3.4 Objectivos e tipos de monitorização

Dentro de um contexto nacional, as redes de monitorização têm em geral duas categorias de objectivos muito abrangentes. Tratam-se de redes de monitorização básica ou de referência e de redes de monitorização com fins específicos. Os seus objectivos (tabelas 3.2 e 3.3) são de três tipos: (1) fornecimento de dados para caracterização de regimes de águas subterrâneas, (2) fornecimento de dados para detecção de tendências a longo prazo em níveis de águas subterrâneas (quantidade) ou qualidade de águas subterrâneas, e (3) servir como rede de referência para redes com fins específicos.

**Tabela 3.2**  
Objectivos dos programas de monitorização e avaliação da qualidade das águas subterrâneas (Chilton e Foster, 1997).

Objectivos	Saída de informação
Tendências	Mostrar tendências nas alterações da qualidade e/ou quantidade das águas subterrâneas provocadas por causas naturais, pelo impacto ou difusão das fontes de poluição e alterações no regime hidráulico.
Base de referência para problemas futuros	Fornecer informação antecedente sobre a qualidade das águas subterrâneas de forma a que os impactos de futuras actividades humanas, por enquanto ainda não definidas, possam ser detectados.
Distribuição espacial	Fornecer uma imagem da distribuição tridimensional da qualidade das águas subterrâneas nos aquíferos.
Alerta antecipado	Alertar antecipadamente em áreas de enchimento sobre o impacto das fontes de poluição difusa.

Para as águas subterrâneas transfronteiriças, a monitorização legal estará primariamente ligada a acordos, os quais são derivados da Convenção ou de outros acordos e directivas internacionais aplicáveis às áreas específicas. Os cinco objectivos seguintes para monitorização e avaliação em águas subterrâneas transfronteiriças derivam da Convenção:

- avaliação do estado;
- concordância com os standards ou prescrições do acordo (relacionadas com as funções/utilização);
- resposta de emergência;
- áreas de protecção especial;
- recuperação e restauração.

Este tipos estão sumariados na tabela 3.3.

**Tabela 3.3**  
Principais tipos de monitorização de águas subterrâneas derivadas da Convenção.

Objectivos	Tipos de monitorização de águas residuais	Informação
Avaliação e concordância do estado	(a) básica/de referência	<ul style="list-style-type: none"> <li>- situação natural</li> <li>- tendências (naturais, poluição difusa, regime hidráulico)</li> <li>- linha de base (para detectar impacto humano).</li> <li>- Níveis antecedentes</li> <li>- distribuição espacial</li> <li>- situação de referência</li> </ul>
Concordância entre protecção especial e recuperação e restauração de áreas	(b) Monitorização relacionada com as funções/utilização (c) objectivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- standards de qualidade</li> <li>- critérios, entradas</li> <li>- riscos de saúde</li> <li>- riscos ambientais</li> <li>- validação</li> <li>- previsão</li> <li>- efeito das medidas</li> <li>- implementação da monitorização</li> </ul>
Resposta de emergência	(d) Aviso antecipado e vigilância	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aviso antecipado</li> <li>- entradas</li> <li>- tendências</li> <li>- riscos</li> <li>- efeito das medidas</li> <li>- impactos</li> </ul>

A especificação de um objectivo de monitorização deve principalmente tornar claro o porquê da necessidade da informação (por exemplo, para que processo de tomada de decisão). Deverá também mostrar o uso pretendido para a informação (objectivo) e o interesse de gestão das partes ribeirinhas para a área transfronteiriça (por exemplo a protecção de uma utilização específica).

Os tipos de monitorização da tabela 3.3 estão descritos abaixo:

*a. Monitorização básica/de referência*

A monitorização básica/de referência inclui monitorização para avaliação do estado. Este tipo de monitorização estabelece uma situação de antecedentes (referência) de forma a permitir a determinação de tendências causadas por impactos antropogénicos e naturais 'exteriores ao local'.

Para uma avaliação do estado, são necessários registos de longo prazo, de forma a determinar o possível impacto da alteração dos padrões de utilização de terras e de bombagem através de análises estatísticas. Isto é frequentemente efectuado a escalas muito diferentes (nacionais, regionais, locais) e é também prescrito por diversas directivas e convenções internacionais. Num contexto transfronteiriço, poderiam ser utilizadas redes de monitorização em ambos os lados da fronteira, mas a análise estatística exige uma orientação central de um órgão misto. Este órgão deveria também providenciar orientação sobre matérias críticas a monitorizar e a organização estatística e interpretação dos dados em bruto.

---

*b. Monitorização relacionada com as funções/utilização (concordância)*

Esta estratégia está relacionada com regulamentações, leis e directivas relacionadas com a utilização das águas subterrâneas. Este tipo de monitorização funciona como uma protecção das funções e utilizações. A monitorização deve dar resposta à questão de se a utilização das águas subterrâneas está em concordância com as regulamentações e standards acima mencionados. No caso de águas subterrâneas transfronteiriças, isto significa que as partes ribeirinhas devem estabelecer um acordo relativo às utilizações e funções do aquífero transfronteiriço.

Uma vez que os resultados da monitorização podem ser utilizados como base para acções ou medidas posteriores, é recomendável que se estabeleça um programa transfronteiriço de garantia de qualidade, de forma a assegurar a fiabilidade dos laboratórios de qualidade da água das partes envolvidas.

*c. Monitorização para objectivos específicos*

Algumas actividades de gestão de recursos de águas subterrâneas requerem tipos especiais de investigação e monitorização. Por exemplo:

- o desenvolvimento e avaliação de áreas de protecção especiais;
- a implementação e avaliação de medidas de recuperação e restauração;
- a investigação da intercomunicação de águas de superfície e águas subterrâneas;
- modelos para prever a migração de contaminantes;
- a investigação de possíveis fontes de nitratos em águas subterrâneas como base para medidas de controle de poluição.

*d. Aviso antecipado e vigilância*

Esta estratégia tem como objectivo a recolha de informação sobre se e onde descargas acidentais podem afectar o abastecimento de água para consumo humano, para determinação de riscos para a saúde pública ou zonas de descarga em terra "abandonadas ou ilegais", ou para determinar fontes existentes de deterioração de qualidade das águas subterrâneas. Para avisos antecipados poderão ser efectuados poços especiais, enquanto que para a vigilância podem, frequentemente, ser utilizados poços de produção.

A informação resultante deverá fornecer uma base suficiente para uma resposta de emergência, a qual poderá ser constituída por medidas específicas adicionais ou por acções de recuperação. As partes ribeirinhas devem acordar sobre todos os aspectos desta estratégia, bem como sobre a resposta de emergência.

---

## 4. Estratégias para monitorização e avaliação

---

As estratégias de monitorização devem servir como guia para o estabelecimento de prioridades de monitorização realistas, não apenas em termos do que e onde deve ser monitorizado, mas também em termos de selecção do momento de intervenção e em termos de fundamentação. Os órgãos conjuntos devem avaliar periodicamente as suas actividades de monitorização, de forma a confirmar que os seus objectivos estão a ser cumpridos da forma mais efectiva e económica.

### 4.1 Aspectos estratégicos-chave

Após terem sido determinados os objectivos, deverá ser desenvolvida uma estratégia mais específica antes de iniciar o verdadeiro desenho técnico de uma rede de monitorização.

Os seguintes aspectos/questões devem ser levados em conta numa estratégia correcta:

#### *a. Sistemas de informação e monitorização existentes*

Primeiramente deve ser recolhida informação sobre as partes relevantes do aquífero transfronteiriço sujeito à Convenção. Já existe informação relevante disponível de outras fontes (por exemplo, sistemas de monitorização existentes, pesquisas específicas, modelos, outros fornecedores de dados)? Os sistemas de informação e monitorização existentes podem fornecer a informação necessária ajustando o seu funcionamento? É possível utilizar o sistema existente de base de dados de informação? O que é que isto exige de um novo sistema de monitorização?

#### *b. Avaliações necessárias*

Que tipo de avaliações devem ser levadas a cabo (por exemplo, situação natural, situação antecedente, concordância com exigências em termos de utilizações e funções, níveis de poluição, avaliações de riscos relacionados com a saúde pública e/ou ambiente, avaliação de aviso antecipado)?

#### *c. Tipo de monitorização*

Se é necessária monitorização, que tipo de monitorização é exigida? Será suficiente uma simples pesquisa ou é necessária uma monitorização de tipo mais extenso?

#### *d. Técnicas de monitorização*

Que técnicas de monitorização estão disponíveis e são adequadas (por exemplo monitorização de águas de superfície, monitorização meteorológica, técnicas de detecção à distância, monitorização de avaliação antecipada (por exemplo no caso da utilização de pesticidas), utilização de água, métodos geofísicos, sistemas de rede de monitorização de zonas não-saturadas, sistemas de monitorização de registo contínuo)? (Consultar também o capítulo 5).

---

*e. Abordagem em etapas*

Para o desenvolvimento de um sistema de redes de monitorização é útil uma abordagem em etapas partindo de um tipo de avaliação mais geral para um tipo de avaliação mais específico?

*f. Responsabilidades*

Quem será responsável pela organização do sistema de monitorização (pelo desenho, implementação, operação e avaliação)? Os acordos institucionais relacionados com estas responsabilidades são discutidos no capítulo 8.

*g. Recursos financeiros e humanos*

Qual o orçamento disponível e, conseqüentemente, que recursos humanos podem ser disponibilizados? As autoridades responsáveis devem consciencializar-se de que a monitorização de águas subterrâneas deve ser garantida, na maior parte das vezes, por um longo período de tempo.

*h. Integração*

Segundo as Directrizes sobre a monitorização e avaliação da qualidade da água em rios transfronteiriços (ONU/CEE, 1996), a integração de actividades de monitorização por razões de custo-efeito num estágio recente do ciclo de monitorização poderá ter como efeito um sobre-dimensionamento ou, por outro lado, um sub-dimensionamento das redes de monitorização. Assim, é recomendável o desenvolvimento de uma estratégia de informação por objectivo monitorizado ou necessidade de informação.

A integração dos esforços de monitorização deve ser considerada na fase de implementação.

O resultado do desenvolvimento da estratégia de monitorização deve ser a especificação de uma ou mais opções de monitorização para as quais deve ser desenhado um sistema. As secções seguintes abordam o desenho dos diferentes componentes de um sistema de monitorização.

## **4.2 Elementos de estratégias de monitorização e avaliação**

*a. Inventários e pesquisas preliminares*

Os inventários e outras actividades preliminares devem ser efectuados pelas partes ribeirinhas antes de serem iniciadas as actividades de monitorização em aquíferos transfronteiriços. A dimensão destas actividades depende dos objectivos do programa, da complexidade da hidrogeologia e do número e tipo de problemas a abordar. As pesquisas fornecem a informação básica necessária para implementar a monitorização da forma mais efectiva e eficiente possível. Os inventários incluem um rastreamento geral de toda a informação relevante para o aspecto em consideração, uma avaliação das características do aquífero, a estrutura hidrogeológica, uma verificação da ocorrência de poluentes ou de impactos adversos a diversos níveis das águas subterrâneas. Para além disso, como resultado destes inventários, se existir a necessidade de outros dados, esta tornar-se-á mais clara. Devem ser efectuadas pesquisas no caso de os

---

inventários mostrarem a falta de dados. As pesquisas são também úteis na determinação da variabilidade dos parâmetros de monitorização em termos temporais e espaciais.

*b. Abordagem em etapas*

Uma vez que a monitorização se destina a diferentes objectivos e que as necessidades de informação variam entre indicações gerais e características de diagnósticos precisas, a escolha de parâmetros e métodos também depende deles. Especialmente no caso de monitorização da qualidade de águas subterrâneas, são recomendáveis as abordagens em etapas, as quais levarão avaliações gerais a avaliações de tipo mais detalhado. Cada etapa deve ser concluída com uma avaliação sobre se a informação obtida é ou não suficiente. Tais estratégias de teste por etapas podem finalmente dar origem a uma redução nas necessidades de informação para monitorizações de rotina e de cartografia posteriores.

Em geral, uma abordagem faseada destinada a pôr em funcionamento esforços de monitorização, desde simples a mais avançados, é aconselhável por razões de custos-efectividade. Para além disso, no caso de países em vias de desenvolvimento e países em transição, é recomendável dar prioridade em termos de tempo para a introdução de novas estratégias de monitorização, partindo de métodos de trabalho manual intensivo para métodos de tecnologia intensiva. Em muitos casos, a falta de dados apropriados e fiáveis e a ausência de uma linha de base adequada contra a qual o progresso possa ser medido, tornam esta abordagem a mais realista.

O factor custos-efectividade da monitorização poderia ser melhorado através de:

- acordos para especificação de necessidades de informação e objectivos de monitorização;
- implementação de programas de monitorização mesuráveis, os quais estejam intimamente relacionados com as necessidades de informação acima mencionadas;
- monitorização mais integrada (qualidade e quantidade; integrada em termos de abordagem de ecossistemas; ligação clara com o sistema socio-económico), o que poderá melhorar quer a efectividade da monitorização (relações causa-efeito), bem como a sua eficiência;
- utilização de modelos, os quais podem contribuir na avaliação integrada de modelos da área transfronteiriça (análise em grande escala do sistema de fluxo de águas subterrâneas), no rastreamento de políticas alternativas, na optimização do desenho de redes de monitorização, e na avaliação do efeito das medidas implementadas;
- utilização de nascentes como poços de observação, uma vez que não é necessário fazer perfurações e uma vez que estas reflectem um exemplo não perturbado e representativo de águas subterrâneas. Para além disso, os dados relacionados com nascentes contêm informação agregada, enquanto que um poço de monitorização fornece apenas dados pontuais (relacionados com poços);
- utilização de uma abordagem em etapas para rastreamento, de forma a obter mais informação com baixos custos.

---

### *c. Cartografia da vulnerabilidade de aquíferos*

Em geral, os aquíferos ou partes de aquíferos mais vulneráveis exigem uma maior monitorização e, desta forma, a cartografia da vulnerabilidade de aquíferos poderá fornecer um meio para estabelecer prioridades para actividades de monitorização. A intensidade de monitorização está relacionada com as partes de um aquífero onde a probabilidade de existência de impactos é maior. No que diz respeito à monitorização da qualidade de águas subterrâneas, a cartografia da vulnerabilidade é geralmente baseada nos tipos de solo e características dos aquíferos.

A recolha de toda a informação necessária à elaboração de mapas de vulnerabilidade que possam ser utilizados no desenho de redes de monitorização ou em avaliação de riscos trata-se de um processo moroso.

A vulnerabilidade dos aquíferos deve também ser tida em conta aquando da interpretação e elaboração de relatórios de resultados de monitorização para avaliar se os recursos de águas subterrâneas se encontram protegidos de forma adequada, ou se as medidas tomadas no âmbito de planos de acção sobre águas subterrâneas são suficientes.

### *d. Avaliação de riscos*

A avaliação de riscos pode auxiliar bastante no estabelecimento de prioridades em relação a actividades de monitorização. Por exemplo, um aquífero transfronteiriço de dimensões relativamente pequenas numa área pouco povoada encontra-se fortemente ameaçado. Se existir bastante água de superfície e por isso pouca utilização de águas subterrâneas, não existem praticamente quaisquer funções relacionadas com este aquífero. Através de uma avaliação de riscos muito simples (considerações de funções e ameaças num contexto específico – baixa densidade populacional), as autoridades poderão decidir que a monitorização noutros locais tem uma maior prioridade. Isto poderá ser quantificado calculando os eventuais danos se a monitorização das águas subterrâneas não for efectuada.

A avaliação de riscos pode também ser utilizada para determinar se a estratégia de monitorização escolhida cobrirá a maior parte das necessidades de informação. A utilização de modelos poderá auxiliar na escolha de políticas alternativas. A optimização de um desenho de rede incluirá também um elemento de avaliação de riscos; se o número de poços diminuir, a informação resultante continuará a cobrir a maior parte das necessidades de informação?

### *e. Modelos*

Os modelos, especialmente matemáticos, desempenham vários papéis na monitorização e avaliação de águas subterrâneas transfronteiriças. Eles podem auxiliar na elaboração de modelos integrados da área transfronteiriça (análise em grande escala do sistema de fluxo de águas subterrâneas), na escolha de políticas alternativas, na optimização do desenho das redes de monitorização e na avaliação de acções operacionais como: o efeito das medidas implementadas, a determinação do impacto sobre os sistemas de águas subterrâneas e dos riscos para a saúde e para o ecossistema. A elaboração de modelos integrados das áreas

---

transfronteiriças deve ser precedida de uma análise em grande escala do sistema regional de fluxo de águas subterrâneas. O objectivo desta elaboração de modelos deve ser o do estabelecimento de um modelo conceptual (ou de identificação), o que requer uma abordagem bastante simplificada em termos de elaboração de modelos.

Os modelos podem ser utilizados adicionalmente à monitorização, mas também como parte integrante de programas de optimização de monitorização. A elaboração bem sucedida de modelos matemáticos apenas é possível se a metodologia estiver devidamente integrada com a recolha de dados, processamento de dados e outras técnicas/abordagens para a avaliação de características do sistema de águas subterrâneas. Quando as partes ribeirinhas se decidem pela elaboração de modelos dos aquíferos transfronteiriços, devem ter em conta que a standardização e acessibilidade de dados (interfaces para bases de dados e SIG) constituem o elemento mais importante, mais do que a standardização do software.

#### *f. Indicadores*

A monitorização e avaliação devem ser desenhadas de forma a aumentar a capacidade e a adaptar os objectivos da monitorização à medida das necessidades de informação das partes ribeirinhas ou dos órgãos responsáveis pela gestão da água, e também de forma a analisar a informação resultante de uma maneira que seja relevante. Isto deve incluir uma síntese e apreciação da informação de uma forma integrada. Os indicadores serão muito úteis nesta avaliação integrada, bem como a especificação das necessidades de informação antes do estabelecimento dos objectivos de monitorização.

A procura dos indicadores certos exige uma abordagem equilibrada entre as necessidades de informação dos responsáveis pela tomada de decisões e os custos e restrições na obtenção dos dados apropriados. Dá-se uma grande importância a uma abordagem em etapas para a selecção e o desenvolvimento de indicadores. Esta abordagem poderá basear-se nos elementos centrais da gestão de águas subterrâneas: problemas, pressões (ameaças) e o impacto das medidas no funcionamento global do sistema de águas subterrâneas (ver também a tabela 3.1).

Quando as necessidades de informação estão suficientemente especificadas e antes de os indicadores poderem ser seleccionados ou desenvolvidos, é necessária informação sobre o seguinte: características hidrológicas e geoquímicas do sistema de águas subterrâneas, utilizadores da informação, meios técnicos e financeiros disponíveis. Este tipo de abordagem permitirá uma selecção ou desenvolvimento à medida dos indicadores mais úteis e eficientes em termos de custos em programas de monitorização e avaliação

#### *g. Avaliação integrada*

A necessidade de integração da monitorização de águas subterrâneas e águas de superfície dependerá da extensão do inter-relacionamento de processos e variáveis em águas subterrâneas e águas de superfície (por exemplo, infiltrações). Se as medidas de gestão de águas subterrâneas levarem a uma alteração substancial no sistema de águas de superfície que está ligado a este sistema de águas subterrâneas em particular, e se estas

---

alterações tiverem um impacto sobre funções ou utilizações específicas, então é recomendável a integração da avaliação de ambos os sistemas.

É também recomendável que, no caso de avaliações micro-biológicas (incluindo a identificação de potenciais fontes de contaminação), se integre a avaliação de riscos (quantificação do nível de risco) no caso de existirem riscos de poluição de águas para consumo humano (Directrizes da OMS sobre a qualidade da água para consumo humano, 1993). Esta abordagem é bastante indicada para reservas de águas rurais e, de preferência, deve ser combinada com uma avaliação de riscos em etapas, e uma infra-estrutura de monitorização que forneça alguma informação básica relevante.

Os elementos acima mencionados exigem um acesso e uma certa harmonização de dados relacionados, os quais podem ser provenientes de investigações e pesquisas, e/ou de programas de monitorização.

## 5. Programas de monitorização

Devido a restrições de tipo administrativo, orçamental e pessoal, os programas de monitorização e avaliação de águas subterrâneas desenvolver-se-ão gradualmente. A atribuição de recursos para monitorização deve seguir uma abordagem feita à medida. A classificação e agrupamento de áreas onde estão localizadas as fontes de poluição potenciais ou onde a utilização das águas subterrâneas é substancial, tornará o programa mais efectivo.

### 5.1 Aspectos gerais

Uma vez que os objectivos técnicos estejam estabelecidos e as estratégias específicas estejam desenvolvidas para o respectivo programa de monitorização, cada estratégia pode então ser ligada a um desenho de rede de monitorização. O desenho de redes de monitorização inclui a determinação de:

- densidade da rede e localização de pontos de medição;
- parâmetros de monitorização;
- tipos de pontos de monitorização;
- frequência de medição e amostragem.

O desenho é a função da selecção do tipo de ponto de amostragem, densidade e localização, e a escolha de parâmetros. A tabela 5.1 mostra os principais factores que influenciam estas escolhas.

Tabela 5.1

Factores que determinam o desenho de redes (Segundo Chilton et al., 1996)

Ponto de amostragem / medições		Frequência de amostragens / medições	Escolha de parâmetros / pressão hidrostática
Tipo	Densidade		
Hidrogeologia (complexidade)	Hidrogeologia (complexidade)	Hidrogeologia (tempo de permanência)	Utilizações da água
	Geologia (distribuição de aquíferos)	Hidrologia (influências sazonais)	Problemas de qualidade da água
	Utilização de terras		Exigências legais
	Considerações estatísticas	Considerações estatísticas	
Custos	Custos	Custos	Custos

As características hidrogeológicas dos aquíferos transfronteiriços, a utilização de água e utilização de terras, e a disponibilidade de fundos são alguns dos factores básicos a ter em conta quando se desenvolve uma rede

de monitorização. Os aspectos técnicos dos programas de monitorização são discutidos abaixo.

#### a. Densidade de rede

A densidade pretendida ou desejável de uma rede é determinada basicamente pela complexidade hidrogeológica ou hidro-química do aquífero. As unidades hidrogeológicas com um alto nível de heterogeneidade exigirão uma rede mais densa de locais de monitorização.

Em aquíferos afectados por exploração intensa e/ou outros impactos antropogénicos (indústria, agricultura intensiva, descargas, zonas municipais ou industriais abandonadas, etc.), a densidade da rede deve ser maior. Como regra geral, factores importantes como as características do aquífero, vulnerabilidade, exploração das águas subterrâneas, utilização de água e utilização de terras e população servida pelas águas subterrâneas, podem ser usados como referência no desenho de redes.

Densidade de redes básicas de nível e de qualidade de águas subterrâneas em alguns países europeus (densidade baseada na área de superfície total) (Jousma e Willems, 1996)

	Densidade média de redes de nível de águas subterrâneas (N/ 100 km <sup>2</sup> )	Densidade média de redes de qualidade de águas subterrâneas (N/ 100 km <sup>2</sup> )
Suécia	0.11	0.04
Finlândia	0.02	0.02
Dinamarca	0.15	0.26
Reino Unido (Inglaterra/Gales)		0.40
Países Baixos	10.70	1.07
Bélgica/Flandres	1.61	1.61
Alemanha/Bavária	1.00	0.47
Alemanha/Novos estados		0.33
Hungria	2.27	0.55
Espanha	1.95	0.22

*Para as redes (básicas) de qualidade de águas subterrâneas, a densidade é frequentemente mais baixa do que para as redes de nível de águas subterrâneas. Uma investigação em nove países europeus mostra que a diferença entre densidades de redes varia entre 0.02 locais por 100 km<sup>2</sup> na pouco povoada Finlândia e 1.61 na densamente povoada Flandres. As diferenças na densidade das redes reflectem o tamanho dos países, a densidade da população, os contrastes em termos de vulnerabilidade à contaminação dos sistemas de águas subterrâneas, a intensidade de exploração das águas subterrâneas e conflitos de interesses relacionados, e a prioridade atribuída à protecção ambiental (Jousma e Willems, 1996).*

#### b. Selecção de locais

A escolha do tipo e da localização dos pontos de observação é normalmente determinada por dois critérios interrelacionados:

- a representatividade específica dos pontos de observação no aquífero;

- 
- a possibilidade de determinar a tendência espacial nos níveis das águas subterrâneas ou nas pressões hidrostáticas à escala desejada.

Os locais ou pontos de observação de uma rede devem ser representativos em relação à:

- delimitação dos sistemas relevantes de fluxos de águas subterrâneas;
- extensão dos aquíferos, estratos semi-permeáveis e aquíclides ou à delimitação de unidades geo-hidrológicas;
- informação adicional.

Ao seleccionar um local, devem ser efectuadas diversas actividades:

- caracterização dos sistemas de águas subterrâneas e da geometria das principais formações que contêm lençóis de água;
- avaliação da vulnerabilidade, baseada principalmente nas condições do fluxo de águas subterrâneas, composição do solo e geologia;
- identificação das ameaças às quais o sistema de águas subterrâneas se encontra exposto (reflectido particularmente na utilização das terras: agricultura, indústria, locais de descargas de lixo, zonas militares);
- identificação dos problemas que afectam o aquífero (por exemplo, acidificação, nutrientes, salinização, poluição).

Como locais de monitorização para observação do nível das águas subterrâneas podem ser utilizados poços ou buracos de sondagem, desde que não sejam afectados substancialmente por extracção de águas subterrâneas nas áreas vizinhas. Para redes de observação de qualidade das águas subterrâneas, podem ser utilizados buracos de sondagem ou poços de bombagem. Deve referir-se que as nascentes também podem ser utilizadas como locais de monitorização, em particular para objectivos de amostragem de águas subterrâneas. Em relação à representatividade dos dados, uma nascente pode substituir um número de poços de monitorização.

### c. Parâmetros

A escolha dos parâmetros de monitorização pode ser relacionada com os elementos nucleares da gestão de águas (subterrâneas) e dependerá de:

- exigências das funções e utilizações definidas do sistema de águas subterrâneas;
- as ameaças às quais o sistema de águas subterrâneas se encontra exposto;
- os problemas que já existem actualmente.

Antes da selecção de parâmetros deve ser elaborado um inventário. Este deve incluir o seguinte:

- caracterização do aquífero, quantitativa e qualitativa (*redes básicas/de referência*);
- identificação das actuais funções, utilizações e exigências de qualidade das águas subterrâneas (por exemplo, função ecológica, reserva de água para consumo humano, agricultura e indústria) (*redes de concordância*);
- especificação das ameaças às quais o sistema de águas subterrâneas se encontra exposto (por exemplo, reflectido na utilização das terras:

agricultura, indústria, locais de descargas de lixos, zonas militares) (*redes de aviso antecipado e de vigilância*);

- especificação dos problemas já observados no sistema de águas subterrâneas (por exemplo, acidificação, desidratação, nutrientes, salinização, poluição) (*monitorização para objetivos específicos*).

A tabela 5.2.a mostra um conjunto de parâmetros básicos para avaliação da quantidade de águas subterrâneas em relação a alguns problemas e funções/utilizações.

**Tabela 5.2.a**

Parâmetros para avaliação da quantidade de águas subterrâneas em relação a alguns problemas e funções/utilizações.

Problemas	Funções e utilizações	Parâmetros
Desidratação	Ecosistemas, agricultura	Níveis de águas subterrâneas
Inibição do solo	Ecosistemas, agricultura	Níveis de águas de superfície e águas subterrâneas
Abastecimento de água	Água para consumo humano, agricultura, ecossistemas	Níveis de águas subterrâneas, escoamento (extracção)
Aspectos da qualidade da água	Água para consumo humano, ecossistemas	Níveis de águas subterrâneas / hidrostático, escoamento (extracção), níveis de águas de superfície
Compactação da terra	Áreas urbanas, agricultura	Níveis de águas subterrâneas e águas de superfície, escoamento (extracção)
Salinização/ infiltração de água salgada	Agricultura, água para consumo humano	Níveis de águas subterrâneas / hidrostático, escoamento (extracção)

A tabela 5.2.b mostra um conjunto de parâmetros básicos para avaliação da qualidade de águas subterrâneas. Estes parâmetros estão agrupados em compostos orgânicos e não-orgânicos e também por método de análise. Esta tabela, importante em termos de necessidades de informação, salienta apenas uma abordagem, mas não é suficientemente detalhada para uma utilização directa. É necessária uma maior subdivisão, bem como também é altamente desejável dispor de uma abordagem formal dentro da qual os metais, pesticidas e outros compostos orgânicos podem ser escolhidos, de forma a que os conjuntos 3, 4 e 5 possam ser relacionadas com as condições locais.

Os resultados do inventário, tal como descrito acima, auxiliarão na escolha dos parâmetros. Nesta tabela, o grupo de parâmetros está ligado a alguns dos problemas mencionados na tabela 2.1.

#### *d. Medição de quantidade e procedimentos de amostragem*

Os níveis das águas subterrâneas devem de ser medidos em relação a um ponto de referência fixo. Os dados de nível observados a partir de poços devem ser registados em formulários especiais e enviados para a instituição envolvida.

**Tabela 5.2.b**

Conjuntos de parâmetros para avaliação da qualidade das águas subterrâneas em relação a alguns problemas e funções/utilizações. (Segundo Chilton et al., 1994).

Problemas	Funções e utilizações	Conjuntos/grupos	Parâmetros
Acidificação, salinização	Ecossistemas, agricultura	1. Parâmetros de campo	Temperatura, pH, Oxigénio dissolvido (DO), Conductividade Eléctrica (EC)
Salinização, nutrientes em excesso	Água para consumo humano, agricultura, ecossistemas	2. Iões principais	Ca, Mg, Na, K, HCO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , TOC, EC, equilíbrio iónico.
Poluição com substâncias perigosas	Água para consumo humano, ecossistemas	3. Iões menores e traços de elementos	Escolha depende parcialmente de fontes de poluição local como indicado na abordagem de utilização de terras.
Poluição com substâncias perigosas	Água para consumo humano, ecossistemas	4. Compostos orgânicos	Hidrocarbonos aromáticos, hidrocarbonos halogenados, fenol, clorofenol. Escolha depende parcialmente de fontes de poluição local como indicado na abordagem de utilização de terras.
Poluição com substâncias perigosas	Água para consumo humano, ecossistemas	5. Pesticidas	Escolha depende parcialmente da utilização local, abordagem de utilização de terras e ocorrências observadas nas águas subterrâneas.
Poluição com substâncias perigosas	Água para consumo humano, ecossistemas	6. Bactérias	Coliformes totais, coliformes fecais.

As substâncias da lista II são Fe, Mn, Sr, Cu, Pb, Cr, Zn, Ni, As, Hg, Cd, B, F, Br e cianeto.  
(Directiva sobre Água para consumo humano e Nitratos)

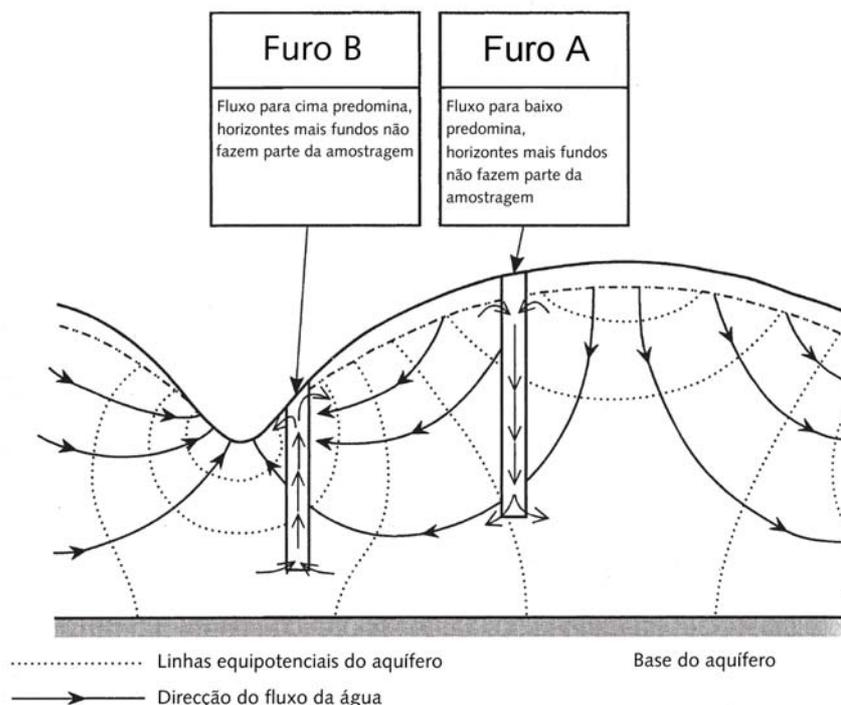
Deve ser tomado em consideração até que ponto o nível de água medido é representativo das condições actuais da carga hidráulica. Por exemplo, em zonas onde existe extracção de águas subterrâneas, a influência desta bombagem sobre os níveis das águas subterrâneas deve ser levada em consideração. Em aquíferos transfronteiriços confinados ou de multi-níveis, deve prever-se a construção de conjuntos de pontos de monitorização a profundidades diferentes. Isto poderá ser aplicável a redes de qualidade.

Os procedimentos de amostragem variam, dependendo do parâmetro ou grupo de parâmetros a medir. Alguns parâmetros, como temperatura, pH, Oxigénio Dissolvido (DO) e Conductividade Eléctrica (EC), podem ser medidos directamente no local. Outros parâmetros têm de ser analisados em laboratório. Neste caso, devem ser recolhidas amostras as quais têm de ser transportadas, muitas vezes sob condições especiais. Quando é necessário um conjunto grande, podem ser necessárias várias amostras,

cada uma armazenada numa embalagem de tipo diferente e utilizando uma técnica de preservação diferente.

As amostras de água podem ser recolhidas de poços, buracos de perfuração e/ou buracos de perfuração utilizados para observação. As amostras de água bruta de buracos de perfuração ou nascentes operando mais ou menos continuamente com níveis de escoamentos relativamente altos podem oferecer amostragens razoavelmente agregadas de qualidade da água, especialmente se os buracos de perfuração penetram o aquífero mais ou menos por completo e são blindados através de uma proporção significativa da sua espessura (figura 5.1).

**Figura 5.1**  
Efeito de componentes de fluxo vertical em buracos de perfuração completamente blindados ou abertos (Segundo Foster e Gomes, 1989).



Estas amostragens são menos representativas se existirem variações verticais na química das águas subterrâneas. Uma amostra de água retirada de um furo de extracção pode também ser uma mistura variável de águas subterrâneas que tenham entrado na secção blindada ou aberta do furo, a qual pode ser bastante longa. Neste caso, a água é retirada de uma espessura considerável do aquífero ou talvez de mais do que um aquífero. As amostras de escoamento deste tipo de furo podem ser um indicador não sensível de possível deterioração da qualidade nas águas subterrâneas provocada por actividades na superfície do solo.

Outro problema de representatividade das amostras está relacionado com o próprio furo quando este está situado em áreas de entrada ou escoamento de águas subterrâneas com significantes componentes verticais do fluxo de águas subterrâneas.

A amostragem a partir de furos de observação tem limitações similares no que diz respeito à representatividade hidrogeológica e modificação de amostras. Um método apropriado para conseguir amostras de furos de

---

observação é através da utilização de uma pequena bomba eléctrica submersível portátil.

A recolha de amostras de águas subterrâneas em furos de monitorização deve ser efectuada em duas fases. O primeiro passo é remover a água estagnada do furo e o segundo passo é recolher a amostra em si. Para a remoção de água estagnada, pode ser utilizada uma bomba eléctrica potente, mas a capacidade de bombagem tem de ser adaptada às condições hidrogeológicas. Em geral, a descida do nível das águas subterrâneas não deve exceder 2 metros ou mais de 10% da espessura da zona saturada do aquífero. Para a amostra em si, é normal uma taxa de bombagem pequena para prevenir a entrada de ar. A bomba é baixada para dentro do furo até à zona blindada, mas ainda acima da mesma (de forma a evitar danos na bomba com entrada de areia mas também devido à hidráulica do furo). A remoção da água estagnada deve ser controlada através da medição do valor de pH, temperatura da água subterrânea e/ou condutividade eléctrica. As amostras devem ser recolhidas quando estes parâmetros estiverem estabilizados.

As amostras para análise inorgânica devem normalmente ser filtradas antes da preservação, de forma a remover o material particulado em suspensão o qual se poderia dissolver quando são adicionados os ácidos de conservação, o que causaria valores distorcidos da concentração da solução.

As partes ribeirinhas devem estabelecer acordos sobre métodos standard de recolha de amostras. A recolha de amostras deve ser efectuada por pessoal profissional. As análises químicas devem ser efectuadas por laboratórios credenciados.

*e. Frequência de amostragem e medidas de quantidade*

A frequência de amostragem em programas de monitorização de qualidade de águas subterrâneas é normalmente baseada em considerações de ordem orçamental e de recursos, bem como em estratégias. Contudo, existem também considerações de tipo científico e técnico. A frequência de amostragem tem dimensões hidrogeológicas e hidrológicas (tabela 5.1).

A dimensão hidrológica implica a possibilidade de variações sazonais em alguns parâmetros de qualidade. A entrada de águas subterrâneas ocorre sazonalmente e a sua distribuição varia através da região CEE de acordo com padrões climáticos. A inserção das entradas pode provocar maior eluviação de solutos da superfície do solo e (ser seguida por) maior diluição. As considerações sazonais podem também ser importantes em relação a parâmetros cujo uso é fortemente sazonal, como por exemplo pesticidas agrícolas e não-agrícolas.

A frequência de observação dos níveis de águas subterrâneas depende fortemente da flutuação das águas subterrâneas, a qual é determinada pela situação hidrogeológica (tipo e profundidade do aquífero), circunstâncias hidrológicas (meteorologia) e impacto humano (extracção de águas subterrâneas, entradas induzidas, fluxo de retorno de irrigação, controle de nível de águas de superfície).

---

Alguns factores específicos a considerar são:

- a frequência das medições deve ser ajustada à flutuação temporal dos níveis e à precisão exigida na identificação de padrões de flutuação;
- a monitorização de variações e tendências de longo prazo requer uma frequência de observação relativamente baixa, enquanto que a identificação exacta de flutuações sazonais exige uma maior frequência;
- o desenho da rede deve ser ajustado ao conjunto relevante de objectivos e os critérios de desenho devem ser apropriados, tendo em conta os fundos disponíveis.

Na prática, é utilizada uma vasta gama de frequências, desde uma vez por ano a duas vezes por mês e até monitorização contínua.

#### *f. Métodos estatísticos*

Para o desenho de redes, existem diversas abordagens e métodos estatísticos (Loaiciga et al., 1992). Podem ser identificadas duas áreas gerais:

- *representatividade*: otimizar a rede de forma a assegurar que a complexidade hidrogeológica e as variáveis de qualidade estão representadas adequadamente;
- *avaliação fiável*: fornecer orientação sobre a frequência de amostragem exigida de forma a detectar alterações na concentração de qualquer parâmetro ao longo do tempo.

Um exemplo de um método estatístico é a chamada técnica Kriging, a qual é frequentemente aplicada para otimizar redes quantitativas de águas subterrâneas. Esta técnica é normalmente utilizada para reduzir o número de poços de monitorização.

Deve salientar-se que as técnicas estatísticas têm as suas limitações e apenas devem ser aplicadas por técnicos com longa experiência no campo hidrogeológico uma vez que:

- a maior parte dos métodos fazem importantes suposições simplificativas acerca do ambiente hidrogeológico;
- a maior parte dos métodos destina-se à avaliação de contaminação existente ou potencial de fontes pontuais de poluição numa escala relativamente local;
- uma limitação geral destes métodos trata-se da dificuldade de encontrar (um) objectivo(s) estatístico(s) que represente(m) adequadamente os objectivos muitas vezes complexos do programa de monitorização e que tenha(m) em conta as restrições de recursos;
- a maior parte dos métodos assume que as estratégias de monitorização são fixas inicialmente e que não se alteram. Existe um escopo limitado para o feedback e ajustamento que são essenciais nos programas de avaliação de qualidade das águas subterrâneas.

Para além disso, uma avaliação comparativa de diferentes densidades de amostragem requer grandes volumes de dados actuais sobre qualidade.

*g. Métodos indirectos de monitorização de qualidade de águas subterrâneas*

Em algumas circunstâncias, para objectivos e parâmetros específicos, podem ser utilizados métodos indirectos de monitorização de qualidade de águas subterrâneas. A utilização de diagrafia de condutividade de fluidos em poços de observação para monitorizar o desenvolvimento da infiltração salina pode ser considerada em alguns casos. A utilização de métodos geofísicos é mais efectiva nos casos em que as diferenças de qualidade das águas subterrâneas são suficientemente grandes para causar contrastes físicos. A medição da resistência do solo através de geofísica de superfície pode ser utilizada em algumas situações hidrogeológicas de forma a avaliar a distribuição lateral de salinidade através de um aquífero.

Nos casos de contaminação pontual que envolvam hidrocarbonados voláteis, a utilização de métodos de detecção de gases do solo poderá constituir um meio rentável para o estudo de poluentes. Ambos estes métodos indirectos dependem, tal como todos os métodos, da existência de controle adequado através da recolha de algumas amostragens directas com perfuração de investigação e construção de pontos de monitorização permanentes.

*h. Custos*

Os locais de monitorização e poços de produção existentes localizados no aquífero transfronteiriço devem sempre ser considerados no estágio inicial do programa de monitorização, especialmente em casos de amostragem de águas subterrâneas. Sempre que possível, os poços pertencentes a entidades públicas devem ser escolhidos, de forma a assegurar a continuidade do acesso.

Tendo em conta os aspectos financeiros do desenho de uma rede, pode ser feita uma distinção entre componentes de capital, de amostragem e analíticos.

A tabela 5.3.a diz respeito a redes de quantidade de águas subterrâneas. Em geral, e para as redes de quantidade de águas subterrâneas, os custos de capital e também os custos (de observação) de amostragem serão um pouco mais baixos do que para as redes de qualidade de águas subterrâneas. O processamento de dados (níveis) de observação de águas subterrâneas, como verificação e controle de qualidade, é considerado como parte da gestão de dados. Desta forma, neste caso não existem custos analíticos.

**Tabela 5.3.a**

Influência do desenho de redes de quantidade de águas subterrâneas nos custos de monitorização.

Componente de custo	Pontos de medição		Frequência de medição
	Tipo	Densidade	
Capital	++	++	-
Observações (medições)	+	++	++
Gestão de dados	-	+	+

++ maior influência

+ menor influência

- influência negligível

O melhoramento da monitorização da quantidade de águas subterrâneas implica custos de observação importantes no caso de ser necessária uma maior densidade de pontos de medição e de frequência de medição. Os custos extra de gestão de dados são relativamente modestos em comparação com os custos de medição.

A tabela 5.3.b diz respeito à monitorização da qualidade de águas subterrâneas. O melhoramento da monitorização da qualidade de águas subterrâneas apenas implica importantes custos de observação no caso de ser necessário um número significativo de pontos de amostragem construídos de novo para substituição de pontos inúteis ou para possibilitar cobertura adicional. Em comparação, os custos de capital para bombas de amostragem adicionais ou equipamento de campo são relativamente modestos. Existe sempre a necessidade de alguma reserva de capital a longo prazo, de forma a acompanhar os desenvolvimentos em termos de instrumentação e a cumprir as exigências de limites de detecção, as quais diminuem constantemente.

**Tabela 5.3.b**  
Influência do desenho de redes de qualidade de águas subterrâneas nos custos de monitorização (Chilton e Milne, 1994).

Componente de custo	Pontos de medição		Frequência de medição	Escolha de parâmetros
	Tipo	Densidade		
Capital	++	++	-	+ <sup>3</sup>
Observações (medições)	+	++	++	+ <sup>4</sup>
Gestão de dados	-	++	++	++

++ maior influência

+ menor influência

- influência negligível

## 5.2 Requisitos específicos de desenho para diferentes tipos de monitorização

Diferentes estratégias de monitorização e avaliação significam frequentemente diferentes programas e redes de monitorização. Durante o desenvolvimento de programas de monitorização para aquíferos transfronteiriços, o objectivo e os requisitos de cada programa de monitorização devem ser estabelecidos e acordados entre as partes ribeirinhas.

### a. Monitorização básica/de referência

Para monitorização básica/de referência, deve ser instalada uma rede básica ou ser feitas amostragens de redes existentes. Os pontos de medição e amostragem funcionam como estações de referência e são regularmente inspeccionados com uma frequência moderada. A frequência de monitorização é de cerca de uma a quatro vezes por ano, dependendo das características do aquífero. Num aquífero livre, a frequência de medição e amostragem será mais alta do que num aquífero confinado. Para além disso, a densidade deste tipo de rede é moderada. Os parâmetros sujeitos a amostragem são normalmente os parâmetros de campo e iões principais

Notas:

<sup>3</sup> pode ter alguma influência sobre requisitos de instrumentos em laboratório.

<sup>4</sup> a introdução de parâmetros de campo aumenta os custos de amostragem.

---

(tabela 5.2.b) mas estes dependem também dos objectivos, utilização de terras e tipo de poço. Para as águas subterrâneas transfronteiriças, as partes ribeirinhas devem acordar sobre os objectivos e sobre as consequências resultantes para o desenho da rede.

*b. Monitorização ligada a funções e utilizações (concordância)*

A densidade das redes e a frequência das amostragens dependem das funções e utilizações das águas subterrâneas. Um exemplo é a monitorização da garantia de qualidade das reservas de água para consumo humano, o que envolve amostragens periódicas de poços públicos de forma a determinar se as normas de qualidade da água para consumo humano estão a ser cumpridas. No caso das reservas de água para consumo humano, cada função dispõe dos seus standards.

*c. Monitorização para objectivos específicos*

A densidade da rede e a frequência de medição e amostragem será frequentemente mais alta do que nas redes de monitorização mencionadas anteriormente e está intimamente relacionada com o tipo de utilização de terras e o tipo de aquífero. Num contexto transfronteiriço, este tipo de monitorização exige uma grande cooperação entre as partes ribeirinhas.

*d. Monitorização para aviso antecipado e vigilância*

As actividades de monitorização para aviso antecipado e vigilância são efectuadas sobretudo a nível local e têm uma densidade mais alta do que as redes básicas ou de referência. As frequências de amostragem e observação são também muitas vezes um pouco mais altas. Os parâmetros específicos devem ser sujeitos a amostragem, dependendo das ameaças e utilização de terras.

**Nove regras básicas para um programa de monitorização bem sucedido**

1. Os objectivos devem ser definidos previamente e o programa deve ser adaptado a eles e não vice-versa (como é muitas vezes o caso com monitorização com objectivos múltiplos). Deve ser obtido apoio financeiro adequado.
2. O tipo e a natureza do aquífero devem ser perfeitamente compreendidos (mais frequentemente através de pesquisas preliminares), incluindo a variabilidade espacial e temporal do aquífero. Fontes de informação importantes são os mapas do respectivo aquífero transfronteiriço à escala adequada (por exemplo. : 1:200.000):
  - mapa hidrogeológico e de vulnerabilidade da área (se existir);
  - diagrama termo-isoplete das formações geológicas subjacentes e sobrejacentes do aquífero
  - mapas de alterações de níveis em águas subterrâneas;
  - mapas e listas de furos hidrogeológicos (perfis característicos e parâmetros hidrogeológicos), poços de monitorização (com os seus dados básicos), extracções significativas de águas subterrâneas (poços ou campos de poços), dados de localização e de extracção e poços de amostragem regular de qualidade da água (lista de parâmetros);
  - todos os dados sobre isótopos relativos à idade e origem das águas subterrâneas.
3. Deve ser escolhido o tipo apropriado de poço (ou nascente).
4. Os parâmetros, tipo e frequência das medições e amostragens, bem como a localização, devem ser escolhidos de acordo com os objectivos.

- 
5. O equipamento analítico de campo e os recursos relativos a análises laboratoriais e de dados (por exemplo modelos) devem ser seleccionados de acordo com os objectivos e não vice-versa.
  6. Deve ser estabelecido um esquema completo e operacional de tratamento de dados (DAP).
  7. Quando aplicável, a monitorização de águas subterrâneas deve ser integrada com a monitorização de águas de superfície.
  8. A qualidade dos dados recolhidos deve ser controlada regularmente através de controlos internos e externos. Os dados devem ser fornecidos a responsáveis pela tomada de decisões, não simplesmente como uma lista de variáveis e suas concentrações ou níveis, mas interpretados e avaliados por especialistas com recomendações relevantes para acções de gestão (tal como indicadores ou índices).
  9. O programa deve ser avaliado periodicamente, especialmente se a situação geral ou alguma influência particular sobre o sistema de fluxo de águas subterrâneas se alterar, quer de forma natural, quer devido a medidas postas em prática.

---

## 6. Gestão de dados

---

Os dados de monitorização recolhidos por países ribeirinhos em aquíferos transfronteiriços devem ser comparáveis, disponíveis para integração com a informação de uma variedade de fontes e facilmente agregáveis em termos espaciais e temporais.

Os dados produzidos por programas de monitorização de águas subterrâneas devem ser validados, armazenados e disponibilizados. O objectivo da gestão de dados é converter os dados em informação que responda às necessidades especificadas e aos objectivos associados do programa de monitorização.

### 6.1 Etapas na gestão de dados

A recolha e processamento de dados são processos dispendiosos. É importante recolher os dados certos de uma forma controlada em termos de qualidade, utilizando as técnicas e instrumentos estatísticos indicados e comunicando as mensagens de forma atempada e compreensível. Embora estes pareçam ser requisitos simples, muitas vezes não são cumpridos e exigem um investimento considerável em termos de conhecimento e equipamento de forma a assegurar o rendimento desejado em termos de investimento nesta recolha de dados. As partes ribeirinhas devem harmonizar os seus métodos de monitorização e acordar sobre formas standard.

De modo a salvaguardar a utilização futura dos dados recolhidos, são necessárias várias etapas na gestão de dados antes de a informação poder ser utilizada convenientemente:

- os dados devem ser analisados, interpretados e convertidos em formas de informação definidas utilizando técnicas de análise de dados apropriadas;
- os dados recolhidos devem ser validados ou aprovados antes de serem disponibilizados a qualquer utilizador ou registados num arquivo de dados;
- a informação deve ser reportada a quem necessita dela para processos de tomada de decisões, validação de modelos, avaliação de gestão ou investigação profunda. A informação deve ser apresentada em formatos à medida dos diferentes grupos-alvo (por exemplo mapas SIG são facilmente acessíveis);
- os dados e informação necessários para utilização futura devem ser armazenados e a troca de dados deve ser disponibilizada não apenas ao nível do próprio órgão de monitorização, mas também a todos os outros níveis apropriados (internacional, CEE, regional, aquífero, etc.).

---

## 6.2 Dicionário de dados

O primeiro arquivamento dos dados de monitorização tem normalmente lugar nas agências de monitorização de cada país ribeirinho. A cooperação transfronteiriça envolve o intercâmbio de dados, especialmente quando são utilizados modelos em avaliações conjuntas. As bases de dados devem então ser harmonizadas ao nível necessário. De forma a facilitar a comparação de dados, devem ser estabelecidos acordos estritos e claros sobre a codificação quer de dados, quer de meta-informação. Se for necessário armazenar dados, deve ser dada atenção a produtos de software estandardizados para gestão de dados e a formatos de armazenamento de dados para melhorar as possibilidades de intercâmbio de dados. Para além disso, o intercâmbio de dados pode também ser facilitado através de acordos relativos à disponibilidade e distribuição de dados. Deve ser acordado e efectuado conjuntamente um dicionário de dados contendo esta informação e acordos sobre as definições de termos utilizados para o intercâmbio de informação ou dados.

## 6.3 Validação de dados

Não obstante o controle de qualidade de procedimentos separados (perfuração de poços, amostragem, análise), a validação de dados deve constituir uma parte intrínseca do tratamento de dados. O controle regular de dados produzidos de novo deve incluir a detecção de valores exteriores, valores que faltam e outros erros óbvios (mg/l versus µ/l). Pode ser utilizado software para auxiliar na execução das várias funções de controle, tais como análise de correlação e aplicação de pares-limite. No entanto, a avaliação de especialistas e um conhecimento profundo de sistemas de águas subterrâneas são indispensáveis para esta validação. Após terem sido efectuadas uma verificação completa e as correcções necessárias, os dados pode ser aprovados e disponibilizados.

## 6.4 Armazenamento de dados e meta-informação

De forma a estarem disponíveis para utilização futura, os dados devem ser armazenados de tal forma que sejam acessíveis e completos em relação a todas as condições e qualificadores (por exemplo limites de detecção) relativos à recolha e análise de dados. Deve também ser armazenada informação acerca das dimensões e unidades (NO<sub>3</sub>-N ou NO<sub>3</sub>).

Para além disso, deve de ser armazenado um montante suficiente de dados extra (meta-informação), os quais são necessários para a interpretação. São também normalmente registadas as características relativas ao local e profundidade da amostragem, tipo de ponto de observação e técnicas pré-condicionantes e analíticas

Para objectivos de modelos de aquíferos transfronteiriços, a estandardização da acessibilidade dos dados (interfaces para bases de dados e GIPS) é mais importante do que a estandardização do software utilizado. Se o modelo conceptual e os dados básicos forem ambos

---

fiáveis, os resultados serão comparáveis mesmo que o software utilizado não seja o mesmo.

As enormes quantidades de dados recolhidas por redes de monitorização de águas subterrâneas devem ser armazenadas de preferência em bases de dados relacionais, as quais devem constituir o elemento principal de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) integrado. Embora estejam armazenadas numa base de dados bem desenhada, é necessário um sistema de informação para gerir, recuperar e visualizar os dados armazenados em formatos como mapas, gráficos, diagramas e relatórios. Os interfaces gráficos tornam o sistema de gestão de informação mais fácil de utilizar uma vez que desta forma já não são necessários conhecimentos sobre a estrutura física da base de dados. O SIG pode funcionar como uma concha por volta da base de dados.

É essencial que qualquer sistema de base de dados esteja salvaguardado contra a entrada de dados sem meta-informação apropriada. Muitas vezes é necessário um modelo conjunto das partes ribeirinhas e isto exige acordos sobre formatos digitais de intercâmbio de dados.

## **6.5 Análise e interpretação de dados**

A conversão de dados em informação envolve análise e interpretação de dados. A análise de dados deve ser integrada num Protocolo de Análise de Dados (PAD) que defina claramente uma estratégia de análise de dados e que leve em conta as características específicas dos dados em questão, como dados que faltam, limites de detecção, dados censurados, valores exteriores, correlação serial e de anormalidade. A adopção de PADs permite à organização ou órgão conjunto de recolha de dados uma certa flexibilidade no seu procedimento relativo à análise de dados, mas exige que estes procedimentos estejam documentados.

Em geral, os dados são armazenados em computadores e a análise de dados, na maior parte das vezes uma operação estatística, pode fazer uso de software genérico e/ou SIG. De forma a conseguir uma análise automatizada de dados, é aconselhável o uso de software feito à medida. Um PAD deve incluir procedimentos para processamento dos dados da monitorização de forma a responder às necessidades específicas para interpretação de dados (por exemplo cálculos baseados em dados de medição individual ou médias anuais, e técnicas estatísticas utilizadas para remover influências determinísticas não relevantes). Tais procedimentos devem também incluir métodos reconhecidos de detecção de tendências e testes para concordância.

## **6.6 Intercâmbio de dados**

É necessária uma standardização (ou formato) com vista ao intercâmbio de dados digitais. O dicionário de dados deve constituir a base para a definição de tal standard ou formato. Os sistemas de armazenamento de dados de países ribeirinhos devem ser capazes de

---

trabalhar com o formato de intercâmbio de dados acordado e, idealmente, permitir a importação de dados para sistemas de construção de modelos ou de análise. Para objectivos de armazenamento deverá ser previsto um sistema comum, sob a coordenação de um órgão conjunto. Consultar também o capítulo 8.

## 6.7 Relatórios

O PAD pode ser ampliado com formatos de relatórios para a informação resultante (por exemplo mapas SIG). Um protocolo de relatórios poderá auxiliar a definir as diferentes características para cada utilização ou audiência e deverá incluir certas Directrizes relativas à frequência de elaboração, conteúdo/detalhe da informação e formato de apresentação. Os objectivos de monitorização devem sempre ser apresentados como parte da informação relatada.

A estandardização de relatórios e mapas é aconselhada para todos os aquíferos transfronteiriços. A elaboração de relatórios fiáveis de países Parceiros da Convenção que descrevam o estado das suas águas subterrâneas transfronteiriças no que diz respeito a utilizações humanas seguras e funcionamento ecológico, exige melhoramentos na comparabilidade de dados (por exemplo estandardização em perfuração de poços, amostragem e construção de modelos) e o desenvolvimento de um PAD.

A transmissão da informação através de relatórios trata-se da etapa final no programa de gestão de dados e liga a recolha de informação aos utilizadores da informação. Os relatórios devem ser elaborados de forma regular, de forma a distribuir a informação. A frequência e o nível de detalhe depende da utilização da informação. Pessoal de tipo técnico necessita de relatórios detalhados mais frequentemente do que os responsáveis pela tomada de decisões. É recomendável a elaboração de relatórios (anuais) de estado para cada sistema de águas subterrâneas transfronteiriço com foco sobre a ligação entre medidas políticas (resposta social) e o estado das respectivas águas subterrâneas.

É também recomendável a elaboração de um relatório a nível de toda a Convenção, o qual deveria cobrir todos os aquíferos de águas subterrâneas transfronteiriças identificados das Partes (por exemplo de três em três anos) de forma a encorajar a avaliação do progresso conseguido sob os auspícios da Convenção, a estimular o interesse dos membros envolvidos e a disponibilizar os resultados para o público.

---

## 7. Gestão de qualidade

---

A gestão de qualidade inclui a definição de uma política de qualidade e de um sistema de qualidade. A harmonização de métodos e a utilização de standards internacionais são essenciais para um intercâmbio de informação útil.

### 7.1 Objectivos da gestão de qualidade

O objectivo principal na gestão de qualidade em monitorização e avaliação pode ser expressado em termos de 'efectividade' e 'eficiência'. Efectividade trata-se do grau em que a informação obtida através do sistema de monitorização corresponde às necessidades de informação. A eficiência diz respeito à obtenção da informação com custos financeiros e de pessoal o mais baixos possíveis.

Rastreabilidade, o objectivo secundário em gestão de qualidade, diz respeito à definição de processos e actividades que levam à informação e como os resultados são alcançados. Uma vez os processos conhecidos, podem ser tomadas medidas para os melhorar.

### 7.2 Política de qualidade

A política de qualidade define o nível de qualidade a atingir. O órgão misto deve declarar a política de qualidade e estabelecer assim os pré-requisitos para a gestão de qualidade. A busca de qualidade envolve investimentos em sistemas de qualidade e em formação de pessoal. A gestão de qualidade só pode ser por isso posta em prática se a gestão das organizações de monitorização responsáveis forem dedicadas e disponibilizarem fundos suficientes.

Uma vez que podem estar envolvidas muitas organizações na gestão de águas subterrâneas, o papel do órgão misto é essencial. Para além disso, o empenho de todas as organizações envolvidas no desempenho de gestão de qualidade é imperativo.

### 7.3 Sistema de qualidade

O sistema de qualidade deve documentar as actividades relevantes, as interacções entre estas actividades e os produtos relevantes sob a forma de procedimentos e protocolos, dando conta de cada um dos elementos do ciclo de monitorização. Para além disso, o sistema de qualidade deve documentar as responsabilidades em relação aos procedimentos distintos. Ao estabelecer procedimentos, deverá ser dada especial atenção a responsabilidades em pontos de decisão, como a aprovação

---

da estratégia de monitorização ou aceitação de amostras num laboratório. Os procedimentos e protocolos devem determinar que documentação deve ser produzida acerca do processo, por exemplo a perda de conjuntos de amostras ou condições climáticas durante a amostragem.

O cumprimento de procedimentos deve ser verificado regularmente. A avaliação da utilidade de procedimentos é essencial uma vez que os procedimentos devem apoiar a produção de produtos com a qualidade requerida.

## **7.4 Protocolos**

Os países ribeirinhos devem estabelecer e acordar protocolos sobre a especificação de necessidades de informação, definição de estratégias de monitorização, desenho de redes, amostragens, transporte de amostras, análises laboratoriais, validação de dados, armazenamento de dados, análise de dados e apresentação de dados. Estes protocolos constituem as etapas operacionais num processo onde o insuficiente controle de qualidade pode resultar em dados não fiáveis. Seguindo protocolos, os erros são minimizados, e podem também ser rastreados e solucionados.

Uma vez que a maior parte da recolha de dados na monitorização de águas subterrâneas é feita no local, deve ser dada especial ênfase aos protocolos que descrevem os processos de amostragem e de análise de dados. Nestes protocolos é essencial a descrição das condições de recolha de amostras. Para além disso, deve existir a consciência de que o acto de recolha de amostras pode perturbar a situação das águas subterrâneas locais, por exemplo introduzindo ar numa situação anaeróbica. Os protocolos devem prever a situação específica de reservatórios de águas subterrâneas. O nível de exactidão e fiabilidade dos dados deve ser apresentado.

## **7.5 Requisitos de produtos**

Os requisitos para todos os produtos relevantes devem ser explicitados e documentados. O sistema de qualidade descreve a forma como os requisitos são integrados nos processos e como os desvios em relação aos requisitos são tratados. Os requisitos standard para produtos recorrentes são estabelecidos no sistema de qualidade.

Muitos dos dados sobre águas subterrâneas são utilizados como dados de entrada para modelos e apresentações SIG: por isso, os dados resultantes da rede de monitorização devem ser adequados para este propósito. O desenho da rede deve ter em conta esta situação. Para além disso, o armazenamento e a análise de dados devem preparar os mesmos para esta utilização.

---

## 7.6 Estandarização e harmonização

A estandarização deve ser utilizada em métodos e técnicas para, entre outras coisas, perfuração de poços, medições, recolha de amostras, transporte e armazenamento de amostras, análises laboratoriais, processamento e validação de dados, armazenamento e intercâmbio de dados, métodos de cálculo e métodos estatísticos. De preferência, devem ser utilizados standards internacionais. Se estes não estiverem disponíveis, ou se por qualquer razão o uso de standards internacionais não for adequado, devem ser desenvolvidas alternativas pelos órgãos mistos.

Os standards utilizados pelas partes ribeirinhas devem ser comparáveis. Podem não ser necessariamente iguais, mas no interesse do intercâmbio de informação, devem providenciar dados comparáveis. O órgão misto deve determinar quais os standards a utilizar pelas partes ribeirinhas.

As actividades do órgão misto devem ser harmonizadas. Os países ribeirinhos devem cooperar na escolha dos locais, variáveis, etc., de forma a evitar a duplicação e reduzir os esforços de monitorização.

---

## 8. Acção conjunta ou coordenada e convénios institucionais

---

O estabelecimento e implementação bem-sucedidos de políticas, estratégias e metodologias sobre a gestão de águas subterrâneas depende crucialmente de aspectos institucionais. Estes incluem a organização, estruturas, convénios para cooperação, e as responsabilidades das instituições e organizações envolvidas. Na gestão de águas subterrâneas transfronteiriças, a cooperação internacional é gerida pelas disposições da Convenção, as quais determinam que as condições socio-económicas nos países ribeirinhos devem ser tidas em conta na tomada de decisão sobre convénios institucionais específicos.

### 8.1 Planos e programas concertados de acção

As partes ribeirinhas devem acordar sobre objectivos de gestão quantificados. Estes objectivos devem fazer parte de um plano ou programa concertado de acção. Este plano ou programa deve também cobrir outras medidas destinadas a uma gestão de águas subterrâneas ecologicamente saudável e racional, conservando os recursos de águas subterrâneas e protegendo o ambiente. Este plano ou programa de acção deve incluir disposições para assistência mútua, sempre que necessário. Tal plano deve ser sujeito a aprovação a nível ministerial ou oficial superior.

O plano ou programa de acção pode derivar de planos ou programas nacionais existentes ou estabelecer as pré-condições para o estabelecimento de tais planos ou programas nacionais.

O plano concertado de acção deve, pelo menos, incluir temas como:

- (a) Utilizações de terras e águas subterrâneas, tendo em conta que devem ser impostas restrições, e em alguns casos mesmo proibições, sobre utilização de terras para as indústrias mineiras e de processamento, práticas de agricultura intensivas, incluindo utilização de fertilizadores e pesticidas, resíduos sólidos e produtos químicos perigosos.
- (b) Critérios relativos a zonas, tendo em conta que tais critérios dependem da qualidade ambiental e da importância dos aquíferos subjacentes.
- (c) Zonas protegidas, tendo em conta que estas devem auxiliar na prevenção de poluição de águas subterrâneas em actuais ou futuras zonas de extracção de águas subterrâneas para fornecimento de água para consumo humano. Devem ser tomadas as medidas necessárias para minimizar a poluição accidental a partir de fontes não pontuais em zonas protegidas.
- (d) Actividades económicas, nas quais deve ser dada particular atenção ao impacto transfronteiriço de actividades económicas sobre qualidade e quantidade de águas subterrâneas. Actualmente

---

existem poucos exemplos de coordenação efectiva entre desenvolvimento de terras transfronteiriças e planeamento de protecção de águas subterrâneas. Para este fim é necessário o intercâmbio da informação necessária e cooperação bilateral e multilateral. A implementação de programas de monitorização efectivos e harmonizados deve constituir uma ferramenta efectiva para a coordenação destas actividades

- (e) Poluição de águas subterrâneas, tendo em conta que, quer as descargas poluentes, quer as concentrações em aquíferos transfronteiriços, devem ser monitorizadas regularmente.
- (f) Extracções de águas subterrâneas, tendo em conta que a extracção de águas subterrâneas para necessidades económicas devem ser acordadas, de forma a assegurar a sustentabilidade da utilização das águas subterrâneas.
- (g) Zonas pantanosas, tendo em conta que a monitorização de águas subterrâneas deve ser global e deve abordar as características qualitativas, bem como as características quantitativas dos aquíferos transfronteiriços, disponibilizando ferramentas fiáveis para a gestão integrada de águas subterrâneas. A recolha de dados e os programas de monitorização devem ser adaptados ao nível de informação desejado, o que é determinado pelo objectivo da avaliação.

## 8.2 Órgãos mistos e suas actividades

### *a. Recomendações gerais*

Os governos devem criar órgãos mistos nos casos em que estes ainda não existem e incluir a monitorização e avaliação de águas subterrâneas transfronteiriças nas actividades destes órgãos mistos. Não é muito importante saber se os países ribeirinhos criam órgãos mistos separados responsáveis ou pelas águas de superfície transfronteiriças, ou pelas águas subterrâneas transfronteiriças, ou se deixam a cargo de um só órgão as actividades relacionadas quer com as águas de superfície, quer com as águas subterrâneas. No entanto, é da maior importância que, no caso de terem sido criados vários órgãos mistos pelos países ribeirinhos na mesma área hidrográfica, estes países estabeleçam acordos sobre formas e meios de coordenar as actividades destes órgãos mistos.

Sempre que apropriado, os países ribeirinhos devem,:

- atribuir ao órgão misto a tarefa de monitorização e avaliação de águas subterrâneas transfronteiriças de acordo com as recomendações destas Directrizes;
- responsabilizar o órgão misto pela avaliação do efeito das medidas acordadas e dos melhoramentos resultantes na gestão de águas subterrâneas.

### *b. Elaboração e implementação de planos de acção*

Os países ribeirinhos devem, sempre que apropriado, encarregar o órgão misto da elaboração e supervisão do plano ou programa concertado de acção mencionado no parágrafo 8.1.

### Órgãos mistos

Segundo a Convenção, um órgão misto significa qualquer comissão bilateral ou multilateral ou outros convénios institucionais apropriados para cooperação entre as Partes Ribeirinhas. De forma geral, as tarefas dos órgãos mistos incluem o seguinte:

- recolha, compilação e avaliação de dados de forma a identificar fontes de poluição susceptíveis de causar impacto transfronteiriço;
- desenvolvimento de programas conjuntos de monitorização relativos à qualidade e quantidade de águas;
- estabelecimento de inventários e troca de informação sobre as fontes de poluição acima mencionadas;
- estabelecimento de limites de emissão para águas residuais e avaliação da efectividade dos programas de controle;
- elaboração de objectivos conjuntos de qualidade de água e critérios destinados à prevenção, controle e redução de impacto transfronteiriço, e apresentação de medidas relevantes para a manutenção e, onde necessário, melhoramento da qualidade da água existente;
- desenvolvimento de programas concertados de acção para a redução de cargas poluidoras a partir de ambas as fontes pontuais (por exemplo fontes municipais e industriais) e fontes difusas (particularmente de agricultura);
- estabelecimento de procedimentos de aviso e alarme;
- função de fórum para o intercâmbio de informação sobre utilizações actuais e planeadas da água e instalações relacionadas susceptíveis de causar impacto transfronteiriço;
- promoção de cooperação e intercâmbio de informação sobre a melhor tecnologia disponível de acordo com as disposições do artigo 13 da Convenção (troca de informação entre as Partes Ribeirinhas), bem como o fomento da cooperação em programas de investigação científica;
- participação na implementação de avaliações do impacto ambiental relacionadas com águas transfronteiriças, de acordo com as regulamentações internacionais apropriadas;
- se existirem dois ou mais órgãos mistos na mesma bacia hidrográfica, estes devem esforçar-se por coordenar as suas actividades de forma a reforçar a prevenção, controle e redução do impacto nessa bacia hidrográfica.

Sempre que necessário, os países ribeirinhos devem também criar um grupo técnico de trabalho sob a direcção do órgão misto que será responsável por investigações no âmbito do plano de acção relacionado com a monitorização e avaliação, bem como para a definição e implementação de uma estratégia de monitorização e avaliação, incluindo os aspectos técnicos, financeiros e organizacionais.

Os países ribeirinhos devem, através dos seus respectivos órgãos mistos, estabelecer uma cooperação 'para além fronteiras' entre as autoridades administrativas encarregadas do planeamento e desenvolvimento de utilização de terras, da utilização racional e protecção das águas subterrâneas e da monitorização de águas subterrâneas nas etapas iniciais do processo de planeamento e a todos os níveis da administração. Isto permitirá ultrapassar conflitos de interesses em planeamentos sectoriais, quer no contexto nacional, quer no contexto transfronteiriço.

Devido a diferenças na organização de licenças de importação, os países ribeirinhos devem acordar conjuntamente num sistema harmonizado de

---

procedimentos de licenças que não entrem em conflito com os sistemas nacionais de legislação existentes, ou adaptar os sistemas nacionais para tal.

*c. Acesso à informação*

Através dos seus órgãos mistos, os países ribeirinhos devem disponibilizar reciprocamente acesso a informação relevante sobre a qualidade e quantidade das águas de superfície e águas subterrâneas. Isto deverá incluir, por exemplo, informação sobre a qualidade das águas de superfície se esta água de superfície tiver sido utilizada como água de infiltração para objectivos de água de consumo humano.

Através dos seus órgãos mistos, os países ribeirinhos devem tomar medidas para que o público tenha acesso a informação relevante, recolhida quer pelos países ribeirinhos, quer pelos órgãos mistos.

De forma a serem efectivas, as medidas para o intercâmbio de informação entre os países ribeirinhos e as medidas para a disponibilização de informação ao público devem ser regidas por normas acordadas conjuntamente entre os países ribeirinhos. Estas medidas devem especificar o formato e a frequência dos relatórios. A criação e manutenção de uma base de dados conjunta pode também ser útil. Aquando do estabelecimento destas medidas, deve ter-se em conta as obrigações relativas a outros acordos internacionais e leis supranacionais, tais como as directivas da Comunidade Europeia para monitorização, avaliação e apresentação de relatórios sobre a qualidade e quantidade das águas subterrâneas.

*d. Sistema de qualidade*

Os países ribeirinhos devem, sempre que apropriado, atribuir aos seus órgãos mistos responsabilidades relacionadas com sistemas de qualidade. Deve ser prestada particular atenção à harmonização de amostragens e metodologias de processamentos de dados, bem como à acreditação de laboratórios. A colaboração a nível local para efectuação de monitorizações deve ser encorajada e promovida, incluindo contactos directos entre os laboratórios e instituições envolvidas.

### **8.3 Outros convénios a nível nacional e/ou local**

*a. Convénios institucionais, legais ou administrativos*

A inexistência de convénios adequados de tipo institucional, legal ou administrativo a nível nacional ou local pode dificultar consideravelmente a cooperação internacional. Tais convénios incluem a cooperação entre gestões locais, a responsabilidade por, e a propriedade de águas subterrâneas, legislação e regulamentações (por exemplo autorizações de extracção, áreas de protecção), a coordenação da monitorização da qualidade e quantidade por diversos institutos nacionais e a nomeação de um laboratório de referência nacional.

Os países ribeirinhos devem adaptar os convénios existentes às obrigações estabelecidas na Convenção e delinear novos acordos para o

---

estabelecimento e manutenção harmonizados de programas de monitorização conjuntos em aquíferos transfronteiriços. Estes programas devem utilizar procedimentos estandardizados de amostragem e de laboratórios.

*b. Acordos financeiros*

Os países ribeirinhos devem disponibilizar fundos suficientes para a realização de actividades de monitorização e avaliação e de pesquisa conjunta no âmbito da estrutura da Convenção. Estes fundos podem fazer parte do orçamento regular. Cada país deverá responsabilizar-se pelos seus próprios requisitos. Os fundos podem ser baseados, por exemplo, em encargos ou taxas de poluição. O estabelecimento de um fundo ambiental, do qual as companhias podem receber empréstimos para investimentos, poderá acelerar as melhorias. Outra possibilidade de angariação de fundos é a candidatura a orçamentos da UE (TACIS, PHARE) ou outros fundos (GEF, Banco Mundial). Em geral, recomendam-se propostas conjuntas uma vez que estas são aceites mais facilmente pelas instituições envolvidas.

---

---

## Bibliografia complementar

---

O Grupo Nuclear elaborou relatórios de antecedentes sobre os quais as Directrizes se basearam. Estes incluem:

- Inventory of transboundary groundwaters
- Problem-oriented approach and the use of indicators
- Application of models
- State of the art on monitoring e assessment of groundwaters

Como parte do projecto foram descritos dois casos:

*(disponíveis a pedido)*

- Aelmans, F., 1997. Digital Waterway Vechte
- De Louw, P.G.B. and R.J. Stuurman, 1997. Cross-border (ground)water; Water system optimisation of the Merkske catchment area at the Dutch-Belgian Border.

Foi também utilizada literatura básica sobre monitorização e avaliação, a qual inclui:

- WHO, 1992 GEMS/WATER Operational Guide. Third Edition. GEMS/W.92.1 WHO, UNEP, UNESCO, WMO.
- WMO, 1994. Guide to hydrological practices. Fifth edition. WMONo. 168. Genebra.
- WMO, 1996. Technical Regulations. Volume III, Hydrology, WMONo. 49. Genebra.
- UN/ECE, 1989. Charter on groundwater management. ECE/ENVWA/12. Nova Iorque.
- UN/ECE, 1992. Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes.
- UN/ECE, 1993. Protection of Water Resources and Aquatic Ecosystems, Water series No. 1. ECE/ENVWA/31, Nova Iorque.
- UN/ECE, 1995. Protection and sustainable use of waters - recommendations to ECE Governments. Water series No. 2. ECE/CEP/10. Nova Iorque e Genebra.
- UN/ECE, 1996. Protection of transboundary waters. Guidance for policy and decision-making. Water series No. 3. ECE/CEP/11. Nova Iorque e Genebra.
- UNESCO, 1992. International glossary of hydrology.
- UNESCO-UNEP, 1983. Hydrological principles of groundwater protection. Handbook of scientific methods, vol. 1.
- Chapman, D. (Ed.), 1992. Water quality assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. UNESCO, WHO, UNEP.
- ISO 5667-11:1993, Water Quality Part 11: Guidance on sampling of groundwaters
- ISO standards handbook 16, 1983.
- ISO standards compendium, 1994. Environment, water quality, first edition.

- 
- ISO guide 9000 Quality management and quality assurance standards 1994.

Part 1 : Guidelines for the selection and use

Part 2 : General Guidelines for the application of ISO 9001, 9002 and 9003

9001 : 1987 Quality systems - Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing

9002 : 1987 Quality systems - Model for quality assurance in production and installation

9003 : 1987 Quality systems - Model for quality assurance in final inspection and test.

- EN 45001: 1989 General criteria for the operation of testing laboratories.
- EN 45002: 1989 General criteria for the assessment of testing laboratories.
- Organisation for Economic Cooperation and Development, 1989, Water resources management. Integrated policies, Paris, 199 pp.
- United Nations, 1991. Groundwater in Western and Central Europe. Natural Resources Water Series no. 27, ST/TCD/12, UN Dept. of Techn. Cooperation for Development, Nova Iorque, 363 pp.

E outros documentos dos procedimentos dos workshops internacionais

Monitoring Tailor-made I e II:

- Adriaanse, M., J. van de Kraats, P.G. Stoks, and R.C. Ward (Eds.), 1995. Proceedings, Monitoring Tailor-made, an international workshop on monitoring and assessment in water management. Setembro 20-23 1994. Beekbergen, Países Baixos
- Ottens, J.J., F.A.M. Claessen, P.G. Stoks, J.G. Timmerman, R.C. Ward (Eds.). Proceedings of Monitoring Tailor-made II, an international workshop on information strategies in water management, Setembro 1996, Nunspeet, Países Baixos.

E outros livros e documentos:

- Chilton, P.J. and C.J. Milne, 1994. Groundwater quality assessment: A national strategy for the NRA. Technical report WD/94/40C.
- Chilton, P.J. and S.S.D. Foster, 1997. Monitoring for groundwater quality assessment: current constraints and future strategies. British Geological Survey. Proceedings of the international workshop Monitoring Tailor-made II, Setembro 1996, Nunspeet, Países Baixos.
- Domenico, P.A. and F.W. Schwartz, Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, Inc, Nova Iorque, 1990.
- Edmunds, W.M., 1996. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. In: Geo-indicators, assessing rapid environmental change on earth systems. Balkema, A.A., Roterdão, Países Baixos.
- EEA, 1998. EUROWATERNET. The European Environment Agency's Monitoring and Information Network for Inland Water Resources. Technical Guidelines for Implementation. Technical Report no. 7.
- EEA, 1999. Groundwater quality and quantity in Europe. - Environment assessment report, no. 3. ISBN 92 9167 146 - Data and basic information. Technical report, no. 22.

- 
- EIW, Preparation of a Network on Monitoring, Final Discussion Report on groundwater monitoring related to the proposed EC Groundwater Action programme; European Institute for Water (EIW), Paris/Bruxelas, 1992.
  - EurAqua, 1995. Proceedings: Optimizing Freshwater Data Monitoring Networks including Links with Modelling. Second technical review. European Network of Fresh Water Research Organisations. Paris, La Defense, Outubro 18 - 20, 1995.
  - IAHS Press, 1991. Hydrological interaction between atmosphere, soil and vegetation. Institute of Hydrology, Wallingford, IAHS publication No. 204, 1991.
  - IAHS Press, 1996. Models for assessing and monitoring groundwater quality. Institute of Hydrology, Wallingford, IAHS publication No. 227, 1996.
  - Intergovernmental Task Force on Monitoring Water Quality, 1995, Final report of the Intergovernmental task force on monitoring waterquality.
  - Jousma, G. and J.W. Willems, 1996. Groundwater monitoring networks. European Water Pollution Control, Vol. 6, no. 5, 1996.
  - Loaiciga, H.A. et al., 1992. Review of groundwater quality monitoring net work design. ASCE Task Force Committee on Groundwater Monitoring Network Design. Journal of Hydraulic Engineering, 18(1): 11-37.
  - Miller, D.W., 1981. Guidelines for developing a state-wide groundwater monitoring programme. Ground Water Management Research (GWMR) 32-33.
  - Nyer, E.K. and L. Stauss, 1997. Monitoring Plans. Ground Water Management Research (GWMR), 67-70.
  - REGIS, REgional Geohydrological Information System, Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO Brochure nr. 5.02, Junho 1998.
  - Uil, H., R. Mulder, W. van der Linden and F. Aelmans, 1999. Digital Waterway Vechte, Set up and implementation of a transboundary geohydrological information system between Germany and Netherlands for the catchment of the river Vechte. International Conference On Quality, Management and Availability of Data for Hydrology and Water Resources Management, Koblenz, Federal Republic of Germany, 22-26 Março 1999.
  - U.S. Intergovernmental Task Force on Monitorização Water Quality, 1995. The strategy for improving water-quality monitoring in the United States. Final report, Fevereiro 1995.
  - Van Bracht M.J., H.P. Broers, J.H. Hoogendoorn, W. van der Linden and F. Waardenburg, 1993. REGIS/Digital Groundwater Map; Construction of a Visualization and Manipulation Tool for Groundwater Related Problems on a Regional Scale. HydroGIS 93 conference, UNESCO/IAHS.
  - Van der Heijde, P.K.M., A.I. El-Kadi and S.A. Williams, 1998. Groundwater modelling: An overview and State report, CR-812603, GWS, Indianapolis, Indiana 42208, EUA.

Mapas:

- Atlas Geológico Mundial da UNESCO, UNESCO, 1976
- Atlas do Balanço Mundial de Águas da UNESCO, 1 : 20,000,000 UNESCO, 1974-1977

- 
- Mapas de vegetação do Conselho da Europa, 1: 3,000,000 Council of Europe, 1979
  - Mapas de solos das Comunidades Europeias, 1:1,000,000 (Tavernier et al. 1985.) – Comissão das Comunidades Europeias
  - Mapas de utilização de terras da Europa, 1:2,500,000 (fonte desconhecida)
  - Mapa Geológico Internacional da Europa, 1:1,500,000 UNESCO, 1974-
  - Mapa Hidrogeológico Internacional da Europa, 1:1,500,000 UNESCO, 1970-
  - Mapa Quaternário Internacional da Europa, 1:2,500,000 UNESCO, 1967
  - Mapas de recursos de águas subterrâneas na CE em 38 páginas, 1:1,000,000 Comunidades Europeias, 1992
  - EEA Monograph on groundwater quality and quantity in Europe, European Environment Agency, July 1998.

---

## Glossário de termos

---

- **aquiclude**

Uma formação com uma permeabilidade muito baixa em relação a formações circundantes.

- **aquífero** *syn.* reservatório de águas subterrâneas

Camada aquífera permeável com capacidade de exploração de quantidades rentáveis de água

- **estrato semi-permeável**

Uma formação com permeabilidade relativamente baixa em relação a formações circundantes.

- **área de descarga**

Uma área onde as águas subterrâneas deixam o aquífero através de fontes, pântanos e fluxos de entrada e de saída ou para o oceano.

- **águas subterrâneas**

Toda o tipo de água que se encontra por baixo da superfície do solo na zona de saturação e em contacto directo com o solo ou subsolo (definição do Protocolo sobre Água e Saúde).

- **indicadores**

Qualquer informação que a) faça parte de um processo de gestão específico e possa ser comparada com os objectivos desse processo de gestão e b) à qual tenha sido atribuída um significado para além do seu valor facial. Os indicadores correspondem sempre a um ponto de vista específico e servem uma comunidade de utilizadores específica. Isto torna os indicadores diferentes das estatísticas de tipo geral.

- **região de alimentação** *syn.* **área de enchimento**; zona de recarga

Uma área onde a água se infiltra a partir da superfície na zona saturada.

- **problema**

Um problema ambiental que é geralmente reconhecido (encontra-se nas agendas políticas). Muitas vezes, foi desenhada uma política específica para o problema, o que inclui: investigação, pesquisas, monitorização e medidas.

- **órgão mistos**

Órgãos instituídos pelas partes ribeirinhas de acordo com a Convenção para coordenar a execução de provisões importantes da Convenção como objectivos mencionados num plano de acção estratégico ou nos acordos aplicáveis bilaterais e/ou multilaterais.

- **zona de recarga** *syn.* **área de enchimento**

---

- **águas subterrâneas transfronteiriças**

Quaisquer águas subterrâneas que atravessem ou estejam situadas entre fronteiras de dois ou mais Estados.

- **impacto transfronteiriço (no caso de aquíferos transfronteiriços)**

Qualquer efeito adverso significativo sobre o ambiente dentro da área de jurisdição de uma das Partes que resulte de uma alteração das condições das águas subterrâneas transfronteiriças, causado por actividade humana, e em que a origem física esteja situada total ou parcialmente dentro da área de jurisdição da outra Parte. Tais impactos sobre o ambiente incluem efeitos sobre a saúde e segurança humanas, flora, fauna, solo, água, clima, paisagem e monumentos históricos ou outras estruturas físicas, ou a interacção entre estes factores; incluem também efeitos sobre a herança cultural ou as condições socio-económicas resultantes de alterações nestes factores.

**Nota:**

Podem ser encontradas mais definições relacionadas com águas subterrâneas, por exemplo, no glossário internacional de hidrologia da UNESCO) (Consultar também “Bibliografia complementar”).

## Anexo Indicadores utilizados internacionalmente

**Tabela a.**

Possíveis indicadores de rápida alteração em sistemas de águas subterrâneas desenvolvidos no Reino Unido (Edmunds, 1996).

Problema	Indicadores		
	indicadores primários	indicadores secundários	
desidratação	nível de água	zona saturada	zona não-saturada
		descarga de nascente	
recursos de água subterrânea		índice de alteração de armazenamento de água	
acidificação	nível de água DO	Al, Ca	Al, Ca
salinização	NO <sub>2</sub>	Mg/Cl, Br, □18O (TDS, SEC) □2H	Mg/Cl, Br, □18O (TDS, SEC) □2H
poluição ligada à agricultura	DOC pH	K, Na, PO <sub>4</sub> , pesticidas	K, Na, PO <sub>4</sub> , pesticidas
poluição industrial	HCO <sub>3</sub> DOC Cl	B, PO <sub>4</sub> , solventes, metais	
contaminação radioactiva		3H, 36Cl, 85Kr	3H, 36Cl, 85Kr
estado redox de um aquífero	HCO <sub>3</sub> DOC	Eh, Fe(II), HS	
desflorestação	NO <sub>3</sub> Cl	Cl	Cl
Depleção paleo da água		□18O, □2H, 14 C	□18O, □2H, 14 C
exploração em excesso		□18O, □2H,	
Alteração de clima			
poluição pela indústria mineira	pH SO <sub>4</sub>	metais	

**Tabela b.**

Indicadores utilizados Instituto de Protecção Ambiental americano, Instituto da Água, 1995.

Problema	Função	Indicador
água para consumo humano ameaçada	água para consumo humano	número de fontes protegidas número de casos de doenças relacionadas com a água nível de chumbo no sangue em crianças violação dos standards relativos a água para consumo humano % de água que cumpre os standards
desidratação diminuição do nível freático das águas subterrâneas	ecossistema	espécies em risco integridade biológica da água
	irrigação agrícola	agricultura em zonas pantanosas 50% dos poços de águas subterrâneas apoiam utilização destinada
	processamento industrial	50% dos poços de águas subterrâneas apoiam utilização destinada
poluição difusa	água para consumo humano ecossistema irrigação agrícola processamento industrial	% de redução de erosão de terras agrícolas
contaminação pontual	água para consumo humano ecossistema irrigação agrícola processamento industrial	redução em libras de descarga de poluição

.....  
**Tabela c.**

Exemplos de indicadores PSIR para diferentes problemas (OCDE, 1993 e 1994; Knoop, 1994; Buijs e Dogterom, 1995; Bakkes et al., 1994; US EPA, 1993 e 1995; Krol, 1994; RIKZ, 1995).

Problema	Pressão	estado	impacto	resposta
excesso de nutrientes	utilização de fertilizantes (N,P) descarga de N e P para as águas subterrâneas densidade do gado tipo de método agrícola tipo de cultura	BOD, DO, N, P na água % de m <sup>3</sup> de água não conforme os standards da água para consumo humano	efeito sobre ecossistema alteração de vegetação deteriorização do solo salinização	custo da purificação para a utilização designada
Acidificação	deposição de substâncias acidificantes métodos agrícolas	pH, SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> na precipitação	efeito sobre ecossistema alteração de vegetação	custo de programas de redução de poluição aérea
salinização	descargas para a água tipo de cultura utilização agrícola (irrigação) utilização de águas industriais utilização de águas domésticas gestão de águas clima vegetação	qualidade da água, concentração (de sal) Cl	perda de rendimentos diminuição da qualidade da água para consumo humano	enchimento artificial custo de controle de extracção de água para consumo humano utilização mais eficiente da água tratados sobre a água
dispersão de metais pesados		concentração de metais pesados	níveis de Pb no sangue	
alteração hidrológica/desidratação	Desidratação	extensão da estação seca temperatura da água teor de sal quantidade (m <sup>3</sup> ) de água em aquíferos planos	diminuição/perda de ecossistemas aquáticos	aumento do custo da água para consumo humano
desperdícios	produção de: lixo doméstico lixo industrial lixo nuclear outras substâncias perigosas	número de locais de despejo	infiltração em águas subterrâneas	medidas para diminuir produção de desperdícios taxas sobre reciclagem de desperdícios
dispersão de outras substâncias perigosas	produção/transporte/ utilização/armazenamento de substâncias perigosas	concentração de substâncias perigosas	número de casos de doenças relacionadas com a água número de casos que excedem os standards da água para consumo humano	% de fontes de água para consumo humano com programas de protecção