

A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Claudio Luiz DIas¹; Elzira Dea Alves Barbour²; Rosangela Pacinio Modesto³ & Dorothy Carmem Pinatti Casarini⁴

RESUMO

O monitoramento integrado das águas subterrâneas deve prover informações sobre a qualidade e dinâmica do aquífero em relação às variações sazonais e efeitos antrópicos. No Estado de São Paulo, a CETESB opera uma rede de monitoramento de qualidade desde 1990, utilizando-se de poços tubulares de abastecimento para coleta de amostras de água. Além disso, está sendo implantada uma rede integrada de monitoramento de qualidade e quantidade, pela a CETESB em parceria com o CTH/DAEE, utilizando-se de poços piezométricos, instalados exclusivamente para esta função.

Este monitoramento integrado será fundamental para subsidiar as ações de controle da poluição ambiental e gestão deste recurso hídrico, e os resultados da rede de monitoramento de qualidade, obtidos de poços tubulares, nascentes e poços piezométricos possibilitarão o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade - VRQs por aquíferos no Estado, subsidiando o enquadramento das águas subterrâneas, conforme as classes definidas na Resolução CONAMA 396/08.

As informações sobre a qualidade e o usos da água e capacidade de armazenamento, exploração e recarga dos aquíferos são componentes essenciais para o entendimento, proteção e otimização do uso do recurso hídrico subterrâneo. Apesar disto, a questão do monitoramento das águas subterrâneas no Brasil ainda é insipiente.

ABSTRACT

The integrated groundwater monitoring must provide information about quality and dynamic of aquifers relative to the seasonal variations and anthropic effects. In the São Paulo State, the CETESB operate a quality monitoring network since 1990, collecting samples from public supply wells. Moreover, it is been established a integrated network of quality and water table, collecting samples and taking measures in monitoring shallow wells, installed exclusively for this propose.

This integrated monitoring will be essential to subsidize the pollution control and hydric recourses management. The results from monitoring in deep and shallow wells will to allow the establishment of Quality Reference Values – VRQs in each aquifer, in order to subsidize the fitting of groundwater in classes defined in legislation (Resolução CONAMA 396/08).

Information about water quality, its uses and its capacity of storage, exploitation and recharge are essential components of the understanding, protection e optimization of the underground hydric resource. Although, the groundwater monitoring in Brazil is incipient yet

Palavras-Chave – Monitoramento, Águas Subterrâneas, Gestão.

¹ Eng. Agrônomo Msc em Hidrologia. Setor de Qualidade de Águas Subterrâneas. CETESB. Av. Frederico Hermann Jr. 345. Pinheiros. São Paulo. Tel 11-3133 3115. Fax 11 3133 3124 claudiod@cetesbnet.sp.gov.br

² Geóloga. Setor de Qualidade de Águas Subterrâneas. CETESB. Tel 11-3133 3033. elzirab@cetesbnet.sp.gov.br

³ Geógrafa. Gerente do Setor de Qualidade de Águas Subterrâneas. CETESB. Tel 11-3133 3864. rosangelam@cetesbnet.sp.gov.br

⁴ Bióloga. Doutora em Saneamento e Hidráulica. Gerente da Divisão de Qualidade de Solo, Água Subterrânea e Vegetação. CETESB. Tel 11-3133 3028. dorothyc@cetesbnet.sp.gov.br

INTRODUÇÃO

Segundo UNEP/WHO (1996), a *International Organization for Standardization* (ISO) define o monitoramento como “um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da água”.

Segundo Ward (*apud* Simoneti, 1999), o monitoramento da qualidade da água, é definido como sendo o esforço para obter uma compreensão das características químicas, físicas e biológicas da água, por meio da amostragem e interpretação estatística. Para Petts (*apud* Simoneti, 1999) o monitoramento é a coleta de dados com o propósito de obter informações sobre uma característica e/ou comportamento de uma variável ambiental.

Segundo UNEP/WHO (1996) e SWRCB (2003), o monitoramento da qualidade e quantidade da água é a base para o gerenciamento deste recurso, subsidiando a tomada de decisões e avaliando a eficácia dessas decisões na proteção, manutenção, melhoria e remediação dos recursos hídricos.

Segundo Tuinhof *et al.* (2004), as alterações na quantidade e qualidade das águas subterrâneas ocorrem lentamente, sendo identificadas apenas por meio de um monitoramento bem elaborado e de longo termo. O monitoramento fornece informações para o controle de impactos causados pela extração de água e pela carga de poluentes no aquífero.

Entretanto, segundo Uil *et al.* (1999), somente o monitoramento da água subterrânea não pode prover todas as informações necessárias para o correto gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo. Outras informações são necessárias para uma política de proteção dos recursos ambientais como, por exemplo, dados meteorológicos, integração com as águas superficiais, litologia e composição bioquímica do subsolo, além de informações sobre fontes potenciais de poluição dos recursos hídricos.

Considerando-se que a gestão do recurso hídrico subterrâneo envolve tanto os aspectos de quantidade como os de qualidade, na literatura observa-se uma correta tendência de promover a gestão integrada, inclusive com o recurso hídrico superficial.

Neste sentido, a Comunidade Européia considera que o controle da quantidade é um elemento de garantia da boa qualidade das águas. A superexploração de uma massa de água subterrânea, em função da interconexão, pode ter impacto na qualidade das águas superficiais para a manutenção da vida aquática e dos ecossistemas terrestres adjacentes.

Segundo Uil *et al.* (1999), um monitoramento deve prover informações sobre a dinâmica do aquífero em relação às variações sazonais e efeitos antrópicos, sendo que para a modelagem, deve haver a integração das atividades de monitoramento de águas subterrâneas e superficiais.

Estes autores citam que a integração de redes quantidade e qualidade torna o monitoramento mais efetivo tanto técnica como financeiramente. Isto implica também na necessidade de integração organizacional quando estes monitoramentos são de responsabilidade de instituições diferentes.

Simoneti (1999) e European Communities (2003) enfatizam que o primeiro passo deve ser a definição apropriada dos objetivos do monitoramento, providenciando respostas às perguntas: “por que e onde monitorar?”, e “que informações se espera do monitoramento da água?”.

Na prática, a definição dos objetivos não é uma tarefa fácil e requer a consideração de vários fatores, incluindo os aspectos sociais, legais, econômicos, políticos, administrativos e operacionais.

Esta visão também é compartilhada por Uil *et al.*, (1999), para quem um sistema de monitoramento efetivo das águas subterrâneas deve iniciar-se pela especificação das informações que são necessárias para atingir aos objetivos do monitoramento e terminar com a utilização das informações obtidas. Por sua vez, as informações obtidas subsidiarão uma redefinição das informações necessárias e a estratégia de como obtê-las. Além disso, é preciso definir preliminarmente uma **estratégia de monitoramento** que possibilite definir os responsáveis pelo monitoramento e otimizar os recursos técnicos, legais, financeiros e humanos disponíveis e garantir a obtenção dos produtos esperados.

Segundo Sanders (1983) *apud* Simoneti (1999), o projeto de rede de monitoramento compreende a definição dos pontos de amostragem, da frequência e duração da amostragem e seleção das variáveis a serem medidas.

Também para Fetter (2001), o projeto de rede compreende a atividade conceitual de definição do **propósito** do monitoramento e a atividade de implantação da rede, onde deve haver seleção de **pontos de amostragem**, seleção de **parâmetros** a serem determinados e escolha da **frequência de amostragem**

Para Simoneti (1999), citando Harmancioglu, Ozkul e Alpaslan (1998), a operação do monitoramento da qualidade compreende todas as atividades de coleta dos dados, incluindo a amostragem, análises laboratoriais, processamento e interpretação dos dados obtidos e produção de informações necessárias para atender aos objetivos da rede de monitoramento. Estas etapas são também citadas por Ward (1999) *apud* Simoneti (1999).

Segundo Uil *et al.* (1999), para a **caracterização do corpo hídrico** a ser monitorado, é preciso levantar dados sobre: o sistema de fluxo das águas subterrâneas; extensão dos aquíferos, aquíferos e aquíclides; identificação do potencial de uso da água subterrânea, considerando a sua quantidade e qualidade; avaliação da vulnerabilidade ao risco de poluição; avaliação quanto ao risco de fontes

potenciais de poluição; identificação de problemas de superexploração e, avaliação dos valores de referência para as concentrações de constituintes químicos da água. A Figura 1 apresenta o ciclo de atividades do monitoramento segundo Uil *et al.*, (1999).

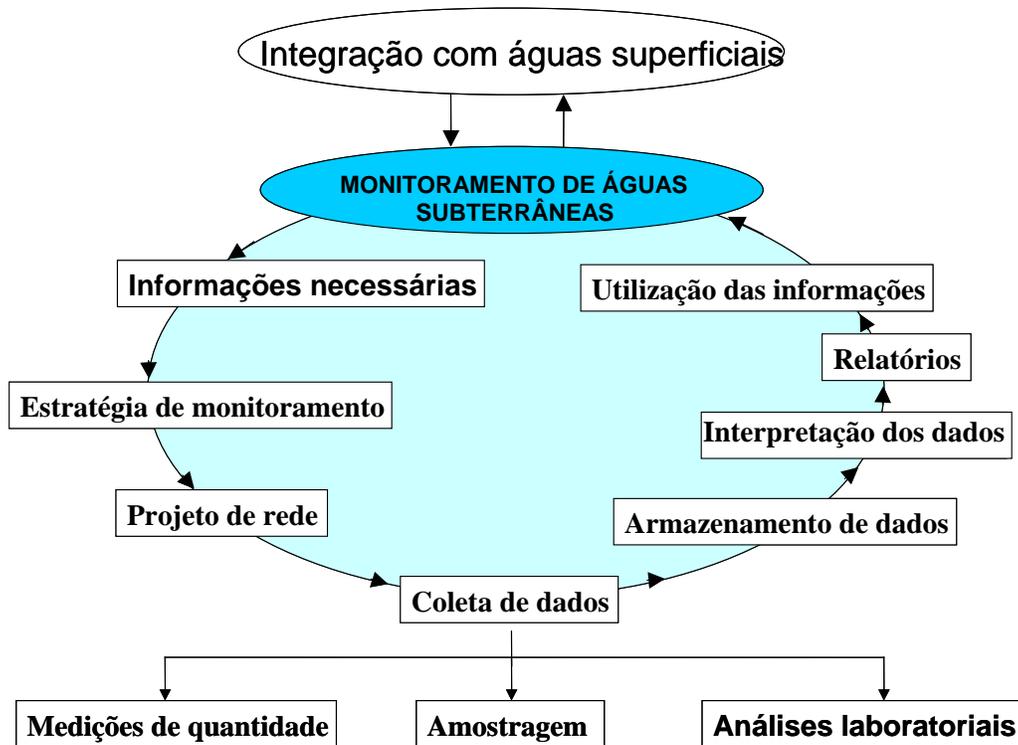


Figura 1 – Ciclo de um programa de monitoramento. Fonte: Uil *et al.* (1999)

Segundo European Communities (2003), em função dos custos, uma rede de monitoramento deve ser implantada gradualmente, passo a passo, primeiramente com base em um modelo conceitual sobre a delimitação tridimensional do corpo hídrico a ser monitorado, suas características químicas e hidrológicas e sua vulnerabilidade a fontes de poluição e super exploração. Com a avaliação dos dados obtidos, é possível melhorar o modelo conceitual e também o próprio monitoramento. Este processo continua até que os objetivos propostos sejam atingidos com elevado nível de confiança, a um custo possível, conforme apresenta a Figura 2.

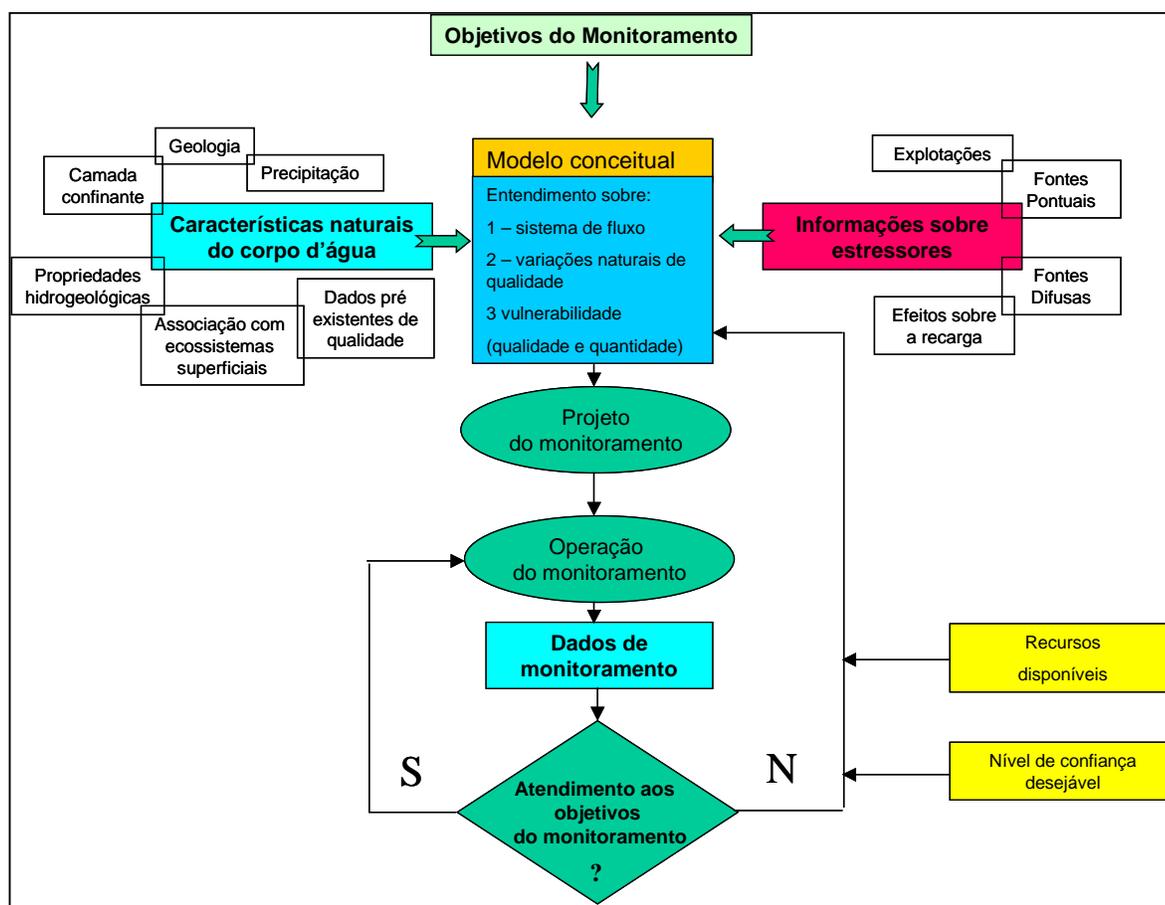


Figura 2 – Esquema de etapas do desenvolvimento de um programa de monitoramento. Adaptado de European Communities (2003).

Assim, pode-se afirmar que as etapas gerais do monitoramento são:

- Definição dos objetivos do monitoramento;
- Projeto de rede (seleção de pontos de monitoramento, parâmetros a serem determinados, frequência de amostragem);
- Operação do monitoramento (coleta, análise, interpretação, controle de qualidade); e
- Avaliação dos resultados frente aos objetivos para validação do monitoramento.

Entretanto, uma pergunta deve ser ainda respondida: “**Quem** terá a atribuição de coordenar e executar a implantação e a operação da rede de monitoramento?” A resposta está diretamente ligada aos objetivos do monitoramento e à legislação vigente.

A rede de monitoramento de qualidade de águas subterrâneas do estado de São Paulo é operada pela CETESB e tem os seguintes objetivos:

- Caracterizar a qualidade natural das águas subterrâneas brutas;

- Estabelecer Valores de Referência de Qualidade – VRQ para cada substância de interesse, por Aquífero;
- Avaliar as tendências das concentrações das substâncias monitoradas, em períodos de cada 10 anos;
- Identificar áreas com alterações de qualidade;
- Subsidiar as ações de prevenção e controle da poluição do solo e da água subterrânea, junta às Agências da CETESB;
- Avaliar a eficácia dessas ações a longo termo;
- Subsidiar a formulação de ações de gestão da qualidade do recurso hídrico subterrâneo junto aos CBHs; e
- Subsidiar a classificação para o enquadramento e cobrança das águas subterrâneas a fim de efetuar sua proteção.

Com relação à quantidade, observa-se na literatura que os principais objetivos de um monitoramento são: estabelecer valores naturais de nível d'água em uma região e identificar tendências de rebaixamento destes níveis. Em São Paulo, a rede piezométrica é operada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, por meio do Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos – CTH.

O MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM DIFERENTES PAÍSES

Segundo Koreimann *et al.* (1996), a Agência Ambiental Européia (EEA), por meio do Centro de Águas Interiores, produziu em 1996 o Relatório de Monitoramento de Águas Subterrâneas na Europa. Neste relatório constam os procedimentos e práticas adotados até 1995 para o monitoramento dos recursos hídricos nos países membros da Comunidade Européia. Foram observadas grandes diferenças e entre os países membros em praticamente todas as fases do monitoramento, desde o propósito até o armazenamento dos dados.

De acordo com este relatório, o monitoramento de qualidade de águas subterrâneas na Europa iniciou-se nas décadas de 1970 e 1980, com exceção da França que opera uma rede de monitoramento desde 1902. As redes de monitoramento de quantidade são mais tradicionais com as redes mais antigas datando de 1845. As densidades de pontos de amostragem variaram entre 0,003 a 0,57 ponto/km² para qualidade e 0,004 a 7,3 pontos/km² para monitoramento da quantidade.

A avaliação deste relatório demonstrou, ainda, a necessidade de padronização entre os países membros da Comunidade Européia. Desta forma, no mesmo ano de 1996, a Agência Ambiental

Europa propôs alguns critérios para o estabelecimento de uma rede de monitoramento, visando a adequar e integrar as redes de monitoramento já existentes dos países membros (NIXON, 1996).

Esta proposta foi consolidada em 1998 com a publicação, pela Agência Ambiental Europeia, do Relatório Técnico nº 7 – Critérios para Implementação da EUROWARTERNET (Nixon, Grath E Bogstrand, 1998).

A EUROWARTERNET é uma rede Europeia para o monitoramento integrado da qualidade / quantidade das águas e as informações obtidas são armazenadas em um do banco de dados, denominado “Waterbase”. A atualização deste banco é feita anualmente com dados validados obtidos nas redes já existentes dos Países membros da Comunidade Europeia (Johannes Grath, informação pessoal).

Em 1999, a Comissão Econômica para a Europa elaborou um relatório sobre o “Estado da arte em monitoramento e avaliação de águas subterrâneas”, visando atualizar informações que pudessem servir para a formulação de critérios para o estabelecimento de redes de monitoramento em aquíferos transfronteiriços, considerando que o desenvolvimento de políticas estratégicas para o gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo tem como pré-requisito que o monitoramento de diferentes aquíferos e regiões seja efetuado de forma padronizada, com resultados comparáveis entre si (Uil *et al*, 1999).

Paralelamente ao trabalho desenvolvido pela Agência Ambiental Europeia, em 22 de dezembro de 2000, entrou em vigor a Diretiva 2000/60/EC (“*Water Framework Directive*”), que estabelece ações comunitárias no domínio da política da água, visando proteger e melhorar as condições dos corpos d’água na Europa e estabelece como unidade básica, a Bacia Hidrográfica. O artigo 8º desta Diretriz estabelece que programas de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas por Bacias Hidrográficas devem estar em operação até 22 de dezembro de 2006.

A principal estratégia de implementação dessa política de águas da Comunidade Econômica Europeia é a elaboração de Documentos Orientativos detalhando os diversos assuntos técnicos dessa Diretriz. Estes documentos são, como o próprio nome diz, orientativos e as metodologias e critérios sugeridos necessitam de ajustes de acordo com as condições específicas de cada região.

Assim, em 2001 foi publicado um manual sobre Aspectos Estatísticos da Identificação de Tendências de Poluição em Águas Subterrâneas (Grath *et al.*, 2001), e em 2003 foi publicado o Guia de Monitoramento de Qualidade e Quantidade de Águas Superficiais Interiores, Águas Costeiras e Águas Superficiais - “*Guidance Document nº 7*” (European Communities, 2003“). Este último estabelece que, independentemente dos ajustes regionais, um programa de monitoramento deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- a unidade de gerenciamento deve ser a Bacia Hidrográfica;

- as variações naturais e aquelas provocadas pelas atividades humanas;
- as inter-relações entre as águas superficiais e subterrâneas, bem como a integração dos aspectos quantitativos e qualitativos;
- integração entre os monitoramentos efetuados para os diferentes usos da água;
- possibilidade de detecção de desvio das condições observadas no monitoramento frente àquelas consideradas como de referência; e,
- possibilidade de detecção de todos os impactos potenciais.

Atualmente, a Agência Ambiental Européia está realizando atividades de ajuste dos critérios utilizados para a Eurowatnet para atender aos critérios da Directiva 2000/60/EC (Johannes Grath, informação pessoal). Esta Agência tem produzido diversos Relatórios técnicos como, por exemplo, o “Guia técnico para implementação do monitoramento de quantidade na Eurowatnet” (Marcuello e Menéndez, 2003) e o relatório “Controle de qualidade dos dados nacionais a serem incluído no Waterbase” (Lack *et al.*, 2003).

Nos Estados Unidos, o principal uso da água subterrânea é para irrigação (63%) seguido do abastecimento público (20%). Cerca de 46% da população americana é abastecida com água subterrânea e essa porcentagem cresce para 99% se for considerada apenas a população rural. Em 1996, entrou em vigor a Lei denominada Clean Water Act, que em sua seção 305(b), estabelece a necessidade de monitoramento das águas subterrâneas, cujo objetivo é determinar se o recurso hídrico atende aos critérios e padrões estabelecidos para os diferentes usos. (USEPA, 2000).

Em atendimento à Clean Water Act, section 305(b), os Estados Americanos enviam relatórios bianuais com os dados do monitoramento de qualidade das águas subterrâneas para a Agência Americana de Proteção Ambiental - USEPA.

As principais observações feitas pela USEPA na compilação dos relatórios estaduais são as seguintes:

- uma avaliação representativa do ambiente depende de um monitoramento bem planejado e bem executado;
- há necessidade de aumentar a abrangência do monitoramento, tanto em número de pontos de amostragem como de estados que executem o monitoramento de forma padronizada e isso depende da disponibilidade de recursos financeiros;
- a metodologia conceitual de projetar e implementar redes de monitoramento é similar entre os estados americanos; a definição dos critérios de projeto das redes de monitoramento é crucial para que os resultados obtidos possam ter significado;
- há necessidade de maior integração entre os dados coletados por diversas instituições estaduais e federais, incluindo o monitoramento de fontes potenciais de poluição;

- o principal indicador de contaminação é o nitrato; a presença de nitrato em concentrações superiores às consideradas como de referência de qualidade é um indício de impacto antrópico na qualidade das águas subterrâneas; e
- a presença de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis na água subterrânea também é um indicador definitivo de contaminação por fontes antrópicas; mesmo se os dados disponíveis são limitados, a simples presença destes contaminantes é uma séria preocupação.

Os principais objetivos do monitoramento de águas subterrâneas em operação nos Estados Unidos são:

- caracterizar a qualidade das águas subterrâneas
- identificar as características hidrogeológicas dos aquíferos;
- estabelecer valores de referência;
- obter informações sobre a disponibilidade potencial do recurso hídrico;
- avaliar a condição do corpo hídrico subterrâneo (quantidade e qualidade);
- avaliar as respostas dos aquíferos à sazonalidade climática;
- monitorar a intrusão salina;
- identificar as tendências de alteração de qualidade e quantidade;
- identificar áreas com problemas potenciais
- monitorar fontes difusas de poluição;
- projetar as condições futuras de disponibilidade para planejamento de abastecimento público;
- subsidiar elaboração de planos de qualidade das águas;
- subsidiar tomada de ações; e
- avaliar a eficácia das ações de longo termo dos programas de proteção das águas subterrâneas.

O monitoramento nos Estados Unidos é gerenciado por bacias Hidrográficas (DEP, 2004) e alguns aquíferos são priorizados em função: de sua produção (O'hearn And Schock, 1984); da vulnerabilidade (DNR, 2004); do número de poços de abastecimento existentes; e dos usos e ocupação do solo (BELITZ *et al.*, 2004).

Para a coleta de amostras, utilizam-se pontos fixos e/ou pontos escolhidos randomicamente (NJDEP, 2004). A razão da existência de pontos fixos de amostragem é a necessidade de avaliar as tendências temporais em um mesmo local. Por outro lado, a justificativa de utilizar poços aleatórios é a necessidade de aumentar a distribuição espacial do monitoramento.

No início de 2004, a Organização das Nações Unidas (ONU), por meio do Órgão denominado *Global Environment Monitoring System* (GEMS), criado em 1972 e sediado no Instituto Canadense de Pesquisa da Água desde 1978, publicou um manual denominado *Operational Guide version 3.1*, descrevendo critérios e metodologias para o estabelecimento e operação de redes de monitoramento de qualidade de águas, incluindo as subterrâneas. O GEMS/Água tem o propósito de prover bases científicas sobre a condição e as tendências da qualidade das águas doces para subsidiar o gerenciamento sustentável destes recursos.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), as informações disponíveis sobre as águas subterrâneas são ainda insuficientes e muito dispersas. Já para as águas superficiais, as redes estaduais de monitoramento contam com cerca de 1.500 pontos de monitoramento, além de 1.671 pontos de monitoramento de qualidade da água que compõem a Rede Hidrometeorológica Nacional. As redes estaduais analisam de 3 a 50 parâmetros de qualidade da água, dependendo da unidade da Federação (ANA, 2008).

Como uma tentativa de se padronizar e centralizar as informações provenientes dos estudos, prospecções, ações e obras hídricas subterrâneas, criou-se uma área específica para águas subterrâneas dentro do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos.

No Estado de São Paulo, a implantação da rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas iniciou-se em 1990, em atendimento à Lei Estadual nº 6.134 de 02.06.1998, regulamentada em 07.02.91 pelo Decreto Estadual nº 32.955. Este monitoramento visa caracterizar e avaliar a qualidade das águas subterrâneas brutas do Estado. A cada três anos é elaborado um relatório com as atividades desenvolvidas, os resultados obtidos no período e a interpretação destes dados. A maioria dos 180 pontos de monitoramento são poços tubulares de abastecimento público distribuídos nos diferentes aquíferos do Estado de São Paulo, sendo determinados, semestralmente, 40 parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Apesar da utilização de poços de abastecimento, é importante frisar que o monitoramento realizado pela CETESB não visa avaliar a qualidade da água de abastecimento, e sim a qualidade da água bruta dos aquíferos (CETESB, 2004 e CETESB, 2007).

Com os resultados de 16 anos de monitoramento, foi possível estabelecer Valores de Referência de Qualidade – VRQ para os principais aquíferos do Estado de São Paulo (CETESB, 2007).

Está sendo implantada no Estado de São Paulo, pelo Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos - CTH do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, uma rede de medição de nível d'água, sendo instalados poços piezométricos dedicados para monitoramento, em áreas sem influência de bombeamentos e obras que possam interferir no regime hidráulico dos aquíferos monitorados. Inicialmente, serão implantados, em 2008, 25 poços, sendo 20 no Aquífero Bauru e 5 no Aquífero Guarani. Os dados subsidiarão o cômputo do balanço hídrico, que considera também os dados pluviométricos e fluviométricos medidos em estações de monitoramento próximas.

Em atendimento à Política Nacional de Recursos Hídricos e às Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 15 e 22, a CETESB firmou parceria com o CTH para monitorar a qualidade da água subterrânea nos poços de medição de nível d'água e participará da locação e instalação de novos poços com essa dupla finalidade.

IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

No Brasil, a importância do monitoramento da água está conceituada na Política Nacional de Recursos Hídricos, que define, dentre seus objetivos, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei nº 9.433).

Esta Política também conceitua a importância da avaliação integrada da qualidade e quantidade ao determinar, como diretrizes de ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a gestão sistemática dos recursos hídricos sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade e a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental (Art 3º, Cap. III, Tit. I, Lei nº 9.433).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH nº 15, de 11 DE JANEIRO DE 2001, na implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos deverão ser incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.

A Resolução CNRH nº 22 de 24 DE MAIO DE 2002 estabelece que as informações hidrogeológicas e os dados sobre as águas subterrâneas necessários à gestão integrada dos recursos hídricos devem constar nos Planos de Recursos Hídricos e incluir, no mínimo, por aquífero:

- I – a caracterização espacial;
- II – o cômputo das águas subterrâneas no balanço hídrico;
- III – a estimativa das recargas e descargas, tanto naturais quanto artificiais;
- IV – a estimativa das reservas permanentes exploráveis dos aquíferos;
- V – caracterização físico, química e biológica das águas dos aquíferos;
- VI – as devidas medidas de uso e proteção dos aquíferos.

Em seu Art. 4º, a Resolução CNRH 22 estabelece que os Planos de Recursos Hídricos, elaborados por bacia, devem contemplar o monitoramento da quantidade e qualidade dos recursos dos aquíferos, com os resultados devidamente apresentados em mapa e a definição mínima da:

- rede de monitoramento dos níveis d’água dos aquíferos e sua qualidade;
- densidade dos pontos de monitoramento; e,
- frequência de monitoramento dos parâmetros.

Além disso, as ações potencialmente impactantes nas águas subterrâneas, bem como as ações de proteção e mitigação a serem empreendidas, devem ser diagnosticadas, incluindo:

- descrição e previsão da estimativa de pressões sócio-econômicas e ambientais sobre as disponibilidades;
- estimativa das fontes pontuais e difusas de poluição;
- avaliação das características e usos do solo; e
- análise de outros impactos da atividade humana relacionadas às águas subterrâneas.

Outras ferramentas que favorecem a gestão da quantidade e qualidade são a classificação e o enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes (SETTI *et al.*,2001). Para o recurso hídrico subterrâneo foi dado o primeiro passo para esse enquadramento, com a publicação Diário Oficial da União - DOU nº 66 págs. 66-68, 07/04/2008, da Resolução CONAMA 396 de 03.04.2008 que "Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Segundo esta resolução, Art. 3º As águas subterrâneas são classificadas em:

- Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

- Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

O Valor de Referência de Qualidade -VRQ é estabelecido pelos órgãos ambientais como a concentração ou valor de um dado parâmetro que define a qualidade natural da água subterrânea, No Estado de São Paulo, a CETESB adota o resultado estatístico do 3º quartil das amostras analisadas na rede de monitoramento de qualidade das águas subterrâneas como sendo o Valor de Referência de Qualidade.

CONCLUSÕES

O monitoramento integrado da qualidade e quantidade da água subterrânea em poços piezométricos será fundamental para subsidiar as ações de controle da poluição ambiental e gestão deste recurso hídrico, pois subsidiará o estabelecimento de valores de referência de qualidade - VRQ para os aquíferos rasos, servindo de comparação para os resultados de auto-monitoramento apresentados pelos empreendimentos licenciados na CETESB, bem como possibilitará o conhecimento sobre os regimes de fluxos da água, inicialmente em condições de pouca pressão antrópica.

Será possível também avaliar se há diferenças significativas entre os resultados analíticos de amostras de água subterrânea coletadas em poços de monitoramento e em poços tubulares de abastecimento.

Os resultados da rede de monitoramento de qualidade, obtidos tanto de poços tubulares como nascentes e poços piezométricos possibilitam o estabelecimento de VRQs por aquíferos ou porções deste, subsidiando o enquadramento das águas subterrâneas, conforme as classes definidas na Resolução CONAMA 396/08. Desta forma, no Estado de São Paulo, já é possível iniciar as discussões sobre enquadramento das águas subterrâneas, visando subsidiar ações de licenciamento ambiental e outorga.

As informações sobre a qualidade e o usos da água e capacidade de armazenamento, exploração e recarga dos aquíferos são componentes essenciais para o entendimento, proteção e otimização do recurso hídrico subterrâneo.

Apesar disto, a questão do monitoramento das águas subterrâneas no Brasil ainda é insipiente e o aprimoramento das redes existentes de monitoramento de águas subterrâneas (qualidade e quantidade) devem ser um trabalho contínuo e participativo, a fim de atender novas demandas e aos objetivos propostos.

BIBLIOGRAFIA

- Agência Nacional de Águas (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil.** http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_imgs/Panorama/ANA-IQA.swf, acessado em 07.07.2008
- Belitz, K; Dubrovsky, N; Johson, T; Milbydawson, B.J. **California Groundwater Quality Monitoring: Framework for a Comprehensive, Statewide Program.** 2004 Denver Annual Meeting. Geological Society of America. Abstracts with programns. Vol. 36, nº 5. Denver. Novembro de 2004. <http://gsa.confex.com/gsa/2004am/finalprogram/abstract.80756.htm>
- CETESB. **Relatório de Qualidade de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, 2001-2003.** CETESB, São Paulo, 2004.
- CETESB. **Relatório de Qualidade de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, 2004-2006.** CETESB, São Paulo, 2007.
- DEP – West Virginia Department of Environmental Protection. **West Virginia's Water Quality Monitoring Strategy Watershed Branch.** Division of Water and Waste Management. July 2004.
- Diário Oficial Da União - DOU nº 66 págs. 66-68, 07/04/2008, da Resolução CONAMA 396 de 03.04.2008 que "Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
- DNR – Iowa Department of Natural Resources . **About groundwater monitoring.** <http://wqm.igsb.uiowa.edu/activities/groundwater/AboutGWmonitoring.htm> 11.09.2004
- European Communities - EC. **Guidance document nº 7 – Monitoring under the Water Framework Directive.** Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Working Group 2.7 - Monitoring Luxembourg: 2003. ISBN 92-894-5127-0 ISSN 1725-1087. 160p.
- Fetter, C. W. **Applied Hydrogeology.** 4ª edição. ISBN 0-13-088239-9. Prentice-Hall: 2001. New Jersey. 588 p.
- Global Environment Monitoring System (GEMS) - Water Programme. **Annual Report 2003** United Nations Environment Programme. Richard D.Robarts (Diretor). Canadá. UNEP GEMS, 2003. ISSN 1810-6757. 20 p.
- Grath, J. **The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results (WFD-GW). Grant Agreement Ref. Subv 99/130794.** Project co-ordination: Johannes Grath 1.12.2001 European Commission and the Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management Austria: 2001. 63p. disponível em: <http://www.wfdgw.net>
- Koreimann C.; Grath, J; Winker, G. Nagy W.; Vogel W.R. **Groundwater Monitoring in Europe. Topic Report nº 10/96.** European Environmental Agency. Copenhagen: 1996. Disponível em: http://reports.eea.eu.int/92-9167-023-5/en/tab_abstract_RLR.
- Lack, T.; Gardner, M.; Cullingford, R. **Eurowaternet: towards an index of quality of national data in Waterbase.** Technical Report nº 99. European Environmental Agency. Copenhagen. 2003. 21p.
- Marcuello, C e Menéndez M. **Eurowaternet Quantity – technical guidelines for implementation.** Technical Report nº 99. European Environmental Agency. Copenhagen. 2003. 31p.
- NDNR. Nebraska Department of Environmental Quality. **2003 Nebraska Groundwater Quality Monitoring Report.** Water Quality Assessment Section. Groundwater Unit. Lincon. USA. December,2003. 34p.
- New Jersey Department of Environmental Protection – NJDEP. **Groundwater monitoring network.** Disponível em <http://www.nj.gov/dep/wmm/bfbm/groundater.htm> acessado em 11.09.2004.

- Nixon,S.; Grath, J.; Bogestrand, J. **Eurowaternet. The European Environment Agency's Monitoring and Information Network for Inland Water Resources. Technical Guidelines for Implementation.** Technical Report n° 7. European Environment Agency. Copenhagen (Dinamarca): Junho de 1998.
- Sanders, T. G.; Ward, R. C.; Loftis, J. C.; Steele; T. D.; Adrian, D.; Yevjevich V. **Design of Networks for Monitoring Water Quality.** Water Resources Publications,LLC 336 p. ISBN # 0-918334-51-9.
- Setti, A. A.; Lima, J. E. F.W; Chaves, A. C. M; Pereira, I.C. **Introdução ao Geenciamento de Recursos Hídricos.** M.A.V. de Freitas – Coordenador. Brasília: Agência Nacional de energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001, 328 p. : il.
- Simoneti, Marilza de Fátima. **Projeto de Redes para Monitoramento da Qualidade da Água - Um Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí.** Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.
- State Water Resource Control Board – SWRCB. **Report to the Governor and Legislature: A comprehensive groundwater quality monitoring program for California.**
- Tuinhof, A.; Foster S; Kemper K; Garduno H; Nanni M. **Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools. Groundwater Monitoring: Requirements for managing aquifer response and quality threats.** GWMate. Briefing Note Series Briefing Note 9. World Bank. Global Water Partnership Associate Program. 10p. 2004.
- Uil. H.; Geer. F.C; Geherels J.C. Kloosterman. **State of art on monitoring and assessment of groundwaters.** UN/ECE Task Force on Monitoring and Assesemt. Working Programme 1996/1999. Volume 4. The Netherlands Institute of Applird Geoscience: Lelystad, setempro de 1999. 84 p. ISBN 9036952778.
- UNEP/WHO. **Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes.** Organização Mundial da Saúde. Genebra. 1996
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. Office of Ground Water and Drinking Water **National Water Quality Inventory - 1998 Report to Congress.** EPA 816-R-00-013. Agosto de 2000. Office of Ground Water and Drinking Water. Disponível em http://www.epa.gov/safewater/protect/98_305b_all.pdf. 99p. acessado em 03.08.2004.