

RECURSOS HIDRICOS
Área: Recursos Hídricos Subterrâneos
Sub-Área: Levantamento de Recursos Hídricos
Subterrâneos



Projeto
“Implantação de Rede Integrada de
Monitoramento das Águas Subterrâneas”

Proposta Técnica

Elaboração:

Maria Antonieta A. Mourão – DEHID

Execução:

Divisão de Hidrogeologia – DIHEXP

Abril/2009

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	1
3. JUSTIFICATIVAS.....	2
4. OS PRINCIPAIS FUNDAMENTOS DE UMA REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	3
4.1. A distinção entre os programas de monitoramento em função da área de abrangência.....	4
4.1.1. <u>Programa Nacional de Monitoramento de Águas Subterrâneas</u>	4
4.1.2. <u>Programa Regional de Monitoramento de Águas Subterrâneas</u>	4
4.1.3. <u>Programa Local de Monitoramento de Águas Subterrâneas</u>	5
4.2. As etapas e atividades do monitoramento.....	6
4.3. As informações requeridas para a configuração do sistema de monitoramento.....	6
4.4. A rede de monitoramento quantitativo de água subterrânea.....	9
4.5. A rede de monitoramento qualitativo de água subterrânea.....	9
5.0. O MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNDO.....	10
5.1. Europa.....	10
5.2. Estados Unidos.....	12
6.0. O MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO BRASIL: EXEMPLOS DE SÃO PAULO e MINAS GERAIS.....	14
6.1. Estado de São Paulo.....	14
6.2. Estado de Minas Gerais.....	19
7. AS AGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL – BREVE AVALIAÇÃO.....	20
7.1. Bacia Sedimentar Proterozóica.....	20
7.1.1. <u>Bacia do São Francisco</u>	20
7.1.1.1. <i>Sistema Aquífero Bambuí</i>	20
7.2. Bacias Sedimentares Fanerozóicas.....	22
7.2.1. <u>Bacia do Amazonas</u>	22
7.2.1.1. <i>Sistema Aquífero Alter do Chão</i>	23
7.1.1.2. <i>Sistema Aquífero Içá</i>	24
7.1.1.3. <i>Sistema Aquífero Solimões</i>	24
7.2.2. <u>Bacia do Parnaíba</u>	24
7.2.2.1. <i>Sistema aquífero Serra Grande</i>	25
7.2.2.2. <i>Sistema aquífero Cabeças</i>	25
7.2.2.3. <i>Sistema aquífero Potí-Piauí</i>	26
7.2.2.4. <i>Sistema aquífero Motuca</i>	27
7.2.2.5. <i>Sistema aquífero Corda</i>	27
7.2.2.6. <i>Sistema aquífero Itapecuru</i>	28
7.2.3. <u>Bacia do Paraná</u>	28
7.2.3.1. <i>Sistema Aquífero Furnas</i>	28
7.2.3.2. <i>Sistema Aquífero Ponta Grossa</i>	29
7.2.3.3. <i>Sistema Aquífero Guarani</i>	30
7.2.3.4. <i>Sistema aquífero Serra Geral</i>	32
7.2.3.5. <i>Sistema Aquífero Bauru-Caiuá</i>	33
7.2.4. <u>Bacia Potiguar</u>	35
7.2.4.1. <i>Sistema Aquífero Açu</i>	35
7.2.4.2. <i>Sistema Aquífero Jandaíra</i>	36

7.2.5. Bacia Costeira Pernambuco-Paraíba	37
7.2.5.1. <i>Sistema aquífero Beberibe</i>	37
7.2.6. Bacia do Araripe	38
7.2.6.1. <i>Aquíferos Mauriti e Brejo Santo (Sistema Aquífero Inferior)</i>	38
7.2.6.2. <i>Aquíferos Missão Velha, Rio da Batateira e Abajara (Sistema Aquífero Médio)</i>	39
7.2.6.3. <i>Aquíferos Exu e Arajara (Sistema Aquífero Superior)</i>	40
7.2.7. Bacias do Jatobá-Tucano-Recôncavo	41
7.2.8. Sistema Aquífero Barreiras	43
7.2.9. Sistema Aquífero Urucuia – Areado	44
7.2.10. Sistema Aquífero Boa Vista	45
7.2.11. Sistema Aquífero Parecis	45
7.3. Síntese dos Usos e Demandas dos Principais Aquíferos no Brasil	46
8.0. FUNDAMENTOS E ELEMENTOS DA REDE NACIONAL DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PROPOSTA PELA CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL	48
8.1. Monitoramento de Água Subterrânea: Definição	48
8.2. Objetivo Geral	48
8.3. Critérios de seleção de aquíferos a serem monitorados	49
8.4. Características dos pontos de monitoramento	50
8.5. Critérios de seleção de poços tubulares existentes	50
8.6. Critérios para construção de poços de monitoramento	51
8.7. Densidade de pontos de monitoramento	51
8.8. Periodicidade e parâmetros de monitoramento	51
8.9. Instrumentação	52
8.10. Armazenamento, tratamento e disponibilização das informações	53
8.11. Integração com as redes de monitoramento regional ou específico	54
8.12. Integração da rede nacional de monitoramento de água subterrânea com as redes hidrometeorológicas nacional e estadual	55
8.13. Amostragem e análise de águas subterrâneas	56
8.14. Aspectos financeiros associados à implantação e operação da rede de monitoramento	57
9.0. AQUÍFEROS SELECIONADOS PARA IMPLANTAÇÃO PRIORITÁRIA DA REDE DE MONITORAMENTO	58
10.0. MATERIAL E MÉTODOS	
10.1. Contatos iniciais e visitas aos órgãos gestores estaduais e companhias de saneamento	59
10.2. Preparação dos termos de referência para aquisição dos equipamentos necessários ao monitoramento	59
10.3. Seleção de poços cadastrados no SIAGAS e fornecidos pelos órgãos gestores e companhias de saneamento que sejam potencialmente adequados aos objetivos da rede de monitoramento	59
10.4. Preparação de diagnóstico a respeito dos aquíferos selecionados a fim de subsidiar a estrutura da rede de monitoramento	60
10.5. Realização de visitas a campo para verificação dos pontos e locais selecionados para monitoramento	60

10.6. Elaboração de fichas para cadastro dos pontos selecionados, cartilhas para coletas de amostras, definição dos padrões de numeração	61
10.7. Perfuração de poços de observação e construção de Infiltrômetros	63
10.8. Instalação dos equipamentos de medição	64
10.9. Coleta de amostras de água e seleção de parâmetros	64
10.10. Operação da rede de monitoramento.....	67
10.11. Consistência, Análise, Tratamento e Interpretação dos dados.....	67
10.12. Armazenamento e disponibilização dos dados	68
10.13. Elaboração de relatórios anuais	68
11. EQUIPE TÉCNICA	69
12. CRONOGRAMA FÍSICO PREVISTO	69
13. PRODUTOS.....	71
14. BENEFÍCIOS ESPERADOS	71
15.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXO 1 - Texto síntese das discussões ocorridas no Workshop de Monitoramento de Águas Subterrâneas. Brasília, 9 a 11 de Dezembro de 2008	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais aspectos do monitoramento quantitativo em alguns países da Europa	11
Tabela 2. Relação dos pontos monitorados pelo USGS com relação aos tipos de aquíferos.....	14
Tabela 3. Distribuição dos pontos de monitoramento com relação aos sistemas aquíferos	15
Tabela 4. Exemplo da apresentação dos resultados de monitoramento por sistema aquífero. <i>Fonte:</i> CETESB (2008).....	16
Tabela 5. Valores de referência de qualidade – VRQ por aquífero e por período de monitoramento. <i>Fonte:</i> CETESB (2008).....	18
Tabela 6. Relação da demanda versus disponibilidade de água subterrânea e aspectos de uso dos principais aquíferos do Brasil.	47
Tabela 7. Relação dos parâmetros mínimos para análise química.	52
Tabela 8. Relação dos aquíferos selecionados para implantação prioritária do programa de monitoramento	58
Tabela 9. Comparação entre os tipos de poços de observação, qualidade dos dados e custos. <i>Fonte:</i> European Communities (2007)	62
Tabela 10. Informações necessárias para o cadastro de pontos de monitoramento de água subterrânea.....	62
Tabela 11. Orientações para o acondicionamento, preservação, volume necessário e tempo para análises de amostras de água. <i>Fonte:</i> CETESB (2007).....	65
Tabela 12. Critérios para seleção de parâmetros de análise com base no Uso da Terra. <i>Fonte:</i> European Commission (2004)	67
Tabela 13. Cronograma Físico de Execução das Atividades do Programa de Monitoramento	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de um programa de monitoramento de águas subterrâneas. <i>Fonte:</i> Martinez, 2004.	7
Figura 2. Ciclo de um programa de monitoramento. <i>Fonte:</i> Uil <i>et al.</i> , (1999, <i>apud</i> Dias <i>et al.</i> , 2008).....	8
Figura 3. Representação esquemática de delimitação da estrutura do programa de monitoramento. <i>Fonte:</i> European Communities (2003, <i>apud</i> Dias <i>et al.</i> , 2008).....	8
Figura 4. Distribuição dos pontos de monitoramento de nível d'água nos EUA.	13
Figura 5. Exemplo de gráfico disponibilizado via web com os dados diários (média, máximo e mínimo). É indicado o período com dados consistentes (em verde) e não consistentes (em rosa).....	14
Figura 6. Distribuição dos pontos de monitoramento de água subterrânea no Estado de São Paulo. <i>Fonte:</i> CETESB (2008).....	17
Figura 7. Distribuição dos poços tubulares monitorados pela COPASA no Estado de Minas Gerais. <i>Fonte:</i> Gonçalves (2006)	19
Figura 8. a) Distribuição das bacias sedimentares (em verde) e dos domínios cristalinos (fissurados – em amarelo); b) Áreas de recarga (exposição dos principais aquíferos). <i>Fonte:</i> ANA (2005a).....	21
Figura 9. Projeto construtivo de um infiltrômetro de gaveta. <i>Fonte:</i> Velásquez (2008).....	64

Projeto

Implantação de Rede Básica Nacional de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam um dos mais importantes recursos naturais de uma nação visto a sua importância para o atendimento atual e futuro de diversas demandas de uso, em especial o abastecimento público.

A utilização da água subterrânea no Brasil condiciona-se não somente ao potencial de exploração dos aquíferos, bastante variável ao longo da grande extensão territorial, mas também às condições climáticas, aos aspectos de uso e ocupação dos terrenos e ao nível de atendimento das populações às medidas de saneamento básico. Os volumes extraídos têm crescido em um ritmo acentuado que se manifesta, principalmente, nas áreas de maior densidade demográfica ou de notável vocação agrícola e com elevado potencial hidrogeológico.

A intensificação no aproveitamento, aliada ao conhecimento, em geral, reduzido sobre a dinâmica de fluxo e armazenamento e à ausência de ações efetivas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos resultou, em determinados locais, na instalação de conflitos pelo uso da água e na implantação de severas interferências, tais como: rebaixamento significativo dos níveis d'água, supressão ou redução de vazões de nascentes, diminuição das vazões de poços tubulares, avanço de cunhas salinas e abatimentos de terrenos. A julgar pela tendência progressiva das perfurações pode-se antever o iminente colapso de vários sistemas de produção existentes e de estabelecimento de impactos de caráter permanente ou de difícil e lenta reversão. À exploração não controlada associam-se as práticas eventualmente pouco criteriosas e sem ordenamento de uso e ocupação dos terrenos, elevando-se a possibilidade de comprometimento tanto quantitativo quanto qualitativo das águas subterrâneas.

Não se pode atribuir à situação apresentada a falta de legislações que estabeleçam princípios, normas e formas de regulação e gestão. Ao contrário, a legislação nacional, complementada por aquelas instituídas por muitos estados da Federação, é bastante abrangente contemplando os vários aspectos que envolvem o uso, conservação e gestão das águas, inclusive as subterrâneas.

A questão que se sobressai dessa discussão é como tornar efetivos os diversos instrumentos previstos na legislação para proteção e gestão das águas subterrâneas. A resposta está no conhecimento amplo a respeito dos aquíferos e seu comportamento e capacidade de sustentação frente aos múltiplos usos. Nesse contexto, o **monitoramento** tem papel fundamental constituindo-se em uma demanda de caráter nacional e regional previsto em vários instrumentos legais.

2. OBJETIVO

Formulação das bases conceituais, tecnológicas e financeiras para a implantação da rede nacional de monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas.

3. JUSTIFICATIVAS

O monitoramento contínuo da água subterrâneo constitui procedimento de grande importância para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, pois proporciona a reunião de informações qualitativas e quantitativas e permite avaliar os impactos das atividades antrópicas nos sistemas aquíferos.

O papel do monitoramento na caracterização hidrogeológica bem como no suporte às medidas de proteção e conservação e, conseqüentemente, ao processo de gestão encontra-se estabelecido em diversos instrumentos legais, dentre os quais merecem destaque:

- A lei 9433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e seus instrumentos dentre os quais, os planos de recursos hídricos, a outorga de direitos de uso e o enquadramento dos corpos d'água em classes. Criou ainda o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos tendo como um dos objetivos principais a promoção da gestão integrada das águas. Nesta lei, o monitoramento não é tratado de forma expressa, mas sua implementação é condição básica para a efetividade dos instrumentos e alcance dos objetivos traçados.
- A resolução nº 22/2002 do CNRH que determinou a inserção dos recursos hídricos subterrâneos nos Planos de Recursos Hídricos e definiu os aspectos que necessariamente devem ser contemplados, quais sejam: caracterização espacial; o cômputo das águas subterrâneas no balanço hídrico; a estimativa das recargas e descargas, tanto naturais quanto artificiais; a estimativa das reservas permanentes exploráveis dos aquíferos; caracterização física, química e biológica das águas dos aquíferos; e, as devidas medidas de uso e proteção dos aquíferos. Em seu artigo quarto estabelece que os Planos de Recursos Hídricos, elaborados por bacia, devem abranger 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; da densidade dos pontos de monitoramento; e, da freqüência de monitoramento dos parâmetros.
- A resolução nº 15/2001 do CNRH que determinou que 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. Para tanto, os planos diretores deverão conter as informações necessárias ao gerenciamento integrado das águas e nos critérios de outorga de direito de uso deverá estar assegurada a gestão conjunta da água subterrânea e da água superficial.
- A resolução nº 396/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA que estabeleceu as bases para classificação das águas subterrâneas visando a prevenção e controle da poluição e promoção da proteção da qualidade das águas subterrâneas. Esta resolução dispõe que os órgãos competentes deverão **monitorar** os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea que incluem tanto aqueles de natureza físico-química e química quanto o nível d'água.

Deve-se citar ainda o Programa Nacional de Águas Subterrâneas que corresponde a um detalhamento do Plano Nacional de Recursos Hídricos e se encontra em fase final de análise pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Esse programa

prevê, dentre as diretrizes estabelecidas, a concepção, planejamento e implementação de rede básica de monitoramento quali-quantitativo de águas subterrâneas, em estreita articulação com os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos e companhias de saneamento.

Além dos argumentos apresentados, a CPRM, em consonância com as suas atribuições de Serviço Geológico do Brasil, e por ser detentora de abrangente conhecimento a respeito dos aquíferos do país e dispor do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas constitui a instituição adequadamente capacitada para a implantação, operação e manutenção de uma rede de monitoramento em âmbito nacional. Assim sendo, a CPRM apresentou ao Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, o projeto de Geração e Difusão do Conhecimento Geológico e Hidrológico do Território Nacional, para o triênio 2009-2011, no qual são delineadas as linhas mestras para a configuração de uma rede nacional de monitoramento de poços. Este projeto, aprovado pelo Governo Federal e neste documento detalhado, terá início em março do ano corrente.

4. OS PRINCIPAIS FUNDAMENTOS DE UMA REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O monitoramento é um procedimento que oferece subsídios às decisões relacionadas ao uso e gerenciamento da água subterrânea tanto para organismos governamentais, em suas diversas instâncias, quanto para companhias de saneamento, entidades conservacionistas e pelo público em geral. Estas decisões podem ser relacionadas à identificação de novas fontes de abastecimento por água subterrânea, à avaliação de locais para implantação de aterros sanitários e à estimativa dos efeitos de atividades antrópicas nos aquíferos. Apesar da diversidade de demandas relacionada à água subterrânea a necessidade de uma base de dados hidrogeológica consistente é inquestionável e nesse contexto, o monitoramento atua como uma atividade fundamental.

O programa de monitoramento, para ser efetivo, deve ser flexível e considerar as condições hidrogeológicas regionais e locais, o uso e ocupação dos terrenos, as demandas hídricas atuais e futuras e as necessidades específicas dos diversos usuários.

Muitos são os benefícios da implantação de um programa de monitoramento e as informações decorrentes podem ser usadas, por exemplo, para (EUROPEAN COMMUNITIES, 2007):

- Subsidiar e validar os procedimentos de análise de risco;
- Promover uma avaliação confiável da condição quantitativa dos corpos de água subterrânea, incluindo a avaliação da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo;
- Estimar a direção e taxa de fluxo da água subterrânea;
- Estabelecer avaliações de tendência de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas;
- Definir o estado qualitativo dos corpos d'água considerados sob risco de contaminação;
- Identificar tendências significativas de crescimento na concentração de poluentes e no aumento do rebaixamento do nível d'água.
- Avaliar a reversão das tendências nas condições qualitativas e/ou quantitativas após a implantação de medidas mitigadoras.

4.1. A distinção entre os programas de monitoramento em função da área de abrangência

A delimitação de um programa de monitoramento envolve decidir o que monitorar, onde e quando. As respostas a essas questões dependem do propósito do monitoramento (EUROPEAN COMMISSION, 2004) que está condicionado principalmente à abrangência do programa de monitoramento, se nacional, regional ou local (MARTINEZ, 2004).

4.1.1. Programa Nacional de Monitoramento de Águas Subterrâneas

Objetivos

Os programas nacionais compreendem a coleta de dados a respeito das condições naturais e alteradas das águas subterrâneas, tanto em quantidade quanto em qualidade, nos principais sistemas aquíferos de um país. Devem ser delineados para atender a política nacional de proteção e conservação das águas subterrâneas e precisam, invariavelmente, considerar o uso da água subterrânea como fonte de abastecimento, sua função ambiental e as características de vulnerabilidade dos aquíferos.

O que monitorar

Os parâmetros recomendados para os programas nacionais de caráter quantitativo são (EUROPEAN COMMUNITIES, 2007): nível d'água em poços, vazão de nascentes e escoamento de base de cursos d'água. A inclusão de parâmetros adicionais auxilia na interpretação dos resultados e permite uma melhor caracterização dos aquíferos e a avaliação integrada com as águas superficiais. São eles: parâmetros químicos e indicadores de intrusão salina; pluviometria e demais componentes exigidas para o cálculo da evapotranspiração; e exploração da água subterrânea (e recarga artificial).

Onde monitorar

A rede nacional tem um alcance de múltiplos propósitos sendo implementada nos sistemas hidrogeológicos considerados prioritários com base principalmente na importância para o abastecimento, nos aspectos de vulnerabilidade e nas pressões sofridas.

Quando monitorar

A frequência estabelecida deve permitir identificar as variações de curto e longo termo o que exige um conhecimento relativamente aprofundado da dinâmica de fluxo subterrâneo. No monitoramento quantitativo, a European Communities (2007) postula que a frequência mensal é adequada para aquíferos que mostram baixa variabilidade dos parâmetros considerados, entretanto recomenda o monitoramento diário, em especial quando se tem interesse em promover a integração com o monitoramento hidrometeorológico. É ressaltado ainda que a frequência precisa ser revisada a partir do avanço no conhecimento das respostas do aquífero e da variação na magnitude de qualquer pressão sobre o aquífero.

4.1.2. Programa Regional de Monitoramento de Águas Subterrâneas

Objetivos

De acordo com Martinez (2004), um programa regional de monitoramento deve ser flexível e capaz de servir a diferentes propósitos. No entanto, deve ter como objetivo

principal a aquisição de dados estatisticamente representativos e significativos sobre a água subterrânea de modo a subsidiar os planos regionais de gestão, as políticas regionais e estratégias de proteção e conservação. Ressalta-se que os programas nacional e regional devem se complementar e ser implantados e operados de forma padronizada de modo a permitir a análise e interpretação integrada dos dados.

O que monitorar

Os parâmetros são semelhantes àqueles indicados para o monitoramento quantitativo de abrangência nacional.

Onde monitorar

Os locais de monitoramento devem atender aos propósitos específicos para a gestão e uso das águas no Estado, priorizando áreas ou aquíferos em que existem interferências, reais ou potenciais, de ordem quantitativa ou qualitativa ou que têm grande importância para o abastecimento humano.

Quando monitorar

A frequência de amostragem, indicada por normas internacionais, é mais elevada que o sugerido para o programa nacional. Entretanto, considerando somente monitoramento quantitativo a coleta diária dos dados é igualmente recomendada.

4.1.3. Programa Local de Monitoramento de Águas Subterrâneas

Objetivos

Os programas locais são estabelecidos visando o atendimento dos seguintes objetivos (MARTINEZ, 2004): i) identificação de fontes ou atividades potenciais de degradação qualitativa e quantitativa das águas subterrâneas; ii) observação e controle do avanço de plumas de contaminação bem como avaliação dos efeitos de medidas de remediação. Esses programas são operados de forma independente aos de âmbito nacional e regional.

O que monitorar

As variáveis e parâmetros são selecionados de acordo com a especificidade da questão que se quer elucidar. No caso de variáveis químicas, a escolha é feita conforme o tipo e as propriedades dos contaminantes identificados. São redes de alto custo operacional, frequentemente financiadas pelos responsáveis pelas interferências nas águas subterrâneas.

Onde monitorar

Programas dessa natureza são implantados em locais específicos e requerem uma grande quantidade de pontos de observação (densidade da ordem de m^2 a $1 km^2$).

Quando monitorar

A particularidade do monitoramento exige alta frequência na coleta de dados a depender da dinâmica de fluxo subterrâneo, das características das atividades que produzem as alterações na água subterrânea e das propriedades dos contaminantes.

4.2. As etapas e atividades do monitoramento

De acordo com Muskar (2002, *apud* MARTINEZ, 2004) o monitoramento deve ser considerado como um procedimento sistêmico que envolve a execução de várias atividades de modo ordenado e metódico. A seqüência de atividades previstas é:

- Delimitação da área de monitoramento;
- Análise da estrutura geológica, do sistema de fluxo subterrâneo e qualidade das águas subterrâneas;
- Desenho da rede de monitoramento;
- Definição e implementação de métodos de coleta e investigação de campo e procedimentos analíticos laboratoriais;
- Determinação da freqüência de amostragem e seleção de variáveis a serem analisadas e adoção de processos que assegurem a qualidade dos dados obtidos;
- Análise, processamento e interpretação dos dados.

Martinez (2004) estabelece que um programa de monitoramento envolve não somente o sistema de monitoramento, mas também um sistema de informação e um sistema de gerenciamento (Figura 1). O autor ressalta que um ponto decisivo no programa de monitoramento é a transformação dos dados em informação útil para os diversos usuários – técnicos, setores sócio-econômicos, setores ambientais, entidades científicas, tomadores de decisão e público em geral - o que implica em sistemas de informação bem estruturados, interativos e com a capacidade de geração de gráficos e mapas. O sistema de gerenciamento, que representa a fase final do programa, refere-se efetivamente ao emprego dos resultados como suporte à implementação de políticas e estratégias de proteção do recurso hídrico subterrâneo.

Complementando a compreensão deste autor, Uil *et al.* (1999, *apud* DIAS *et. al.*, 2008) define que o monitoramento é um processo cíclico na medida em que o aprimoramento da caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica conduz à revisão e adaptação da rede (Figura 2).

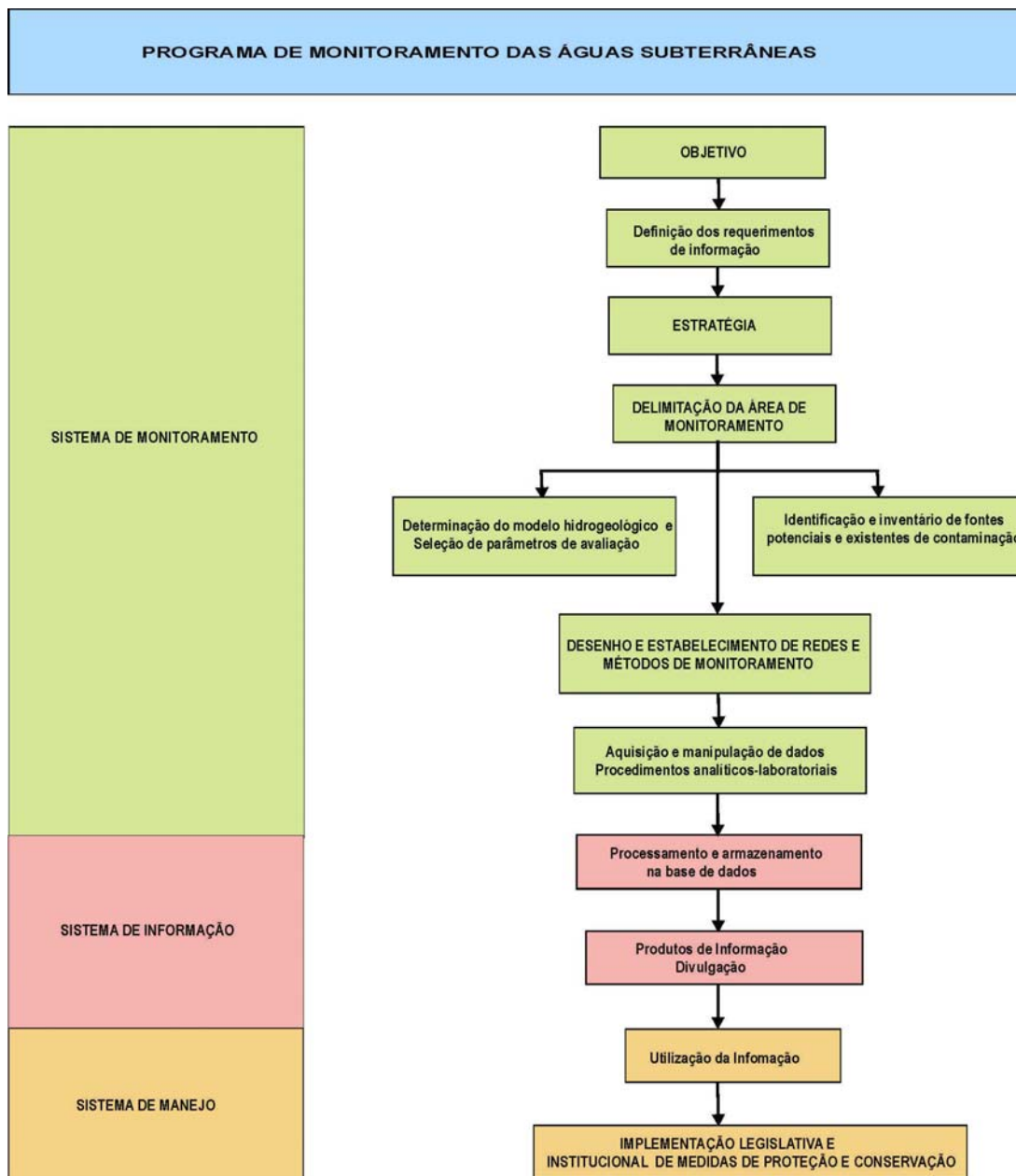
4.3. As informações requeridas para a configuração do sistema de monitoramento

A estrutura e a operação do monitoramento de água subterrânea devem ser estabelecidas de acordo com (EUROPEAN COMMISSION, 2004):

- A função do corpo de água subterrânea¹;
- As características dos corpos de água subterrânea;
- O nível de conhecimento existente (incluindo o nível de confiança nos modelos conceituais) de um sistema aquífero;
- O tipo, extensão e variação das pressões no corpo ou grupo de corpos de água subterrânea;
- A avaliação de risco a partir das pressões sobre o corpo ou grupo de corpos de água subterrânea;

¹ Corpo de água subterrânea. De acordo com a definição de European Communities (2007) corresponde a um volume distinto de água em um aquífero.

A caracterização do corpo hídrico abrange a integração dos seguintes dados (UIL *et al.*, 1999; *apud* DIAS *et al.*, 2008): sistema de fluxo subterrâneo, extensão dos aquíferos, aquíferos e aquícludes, potencial de uso da água subterrânea e vulnerabilidade ao risco de poluição. A reunião de todas essas informações permite a configuração do modelo conceitual que representa o estágio atual de conhecimento das características naturais (e.g. tipo de aquífero, estrutura tri-dimensional, condições de contorno), pressões percebidas e os impactos identificados. O modelo conceitual regional irá identificar as principais exigências para o estabelecimento da rede de monitoramento e o grau de monitoramento em termos de número de locais a serem monitorados, densidade e frequência de monitoramento (EUROPEAN COMMUNITIES, 2007). A estruturação esquemática de um programa de monitoramento pode ser visualizada na figura 3.



Fonte: VRBA & SOLBLSEK, 1988

Figura 1. Etapas de um programa de monitoramento de águas subterrâneas.
Fonte: Martinez, 2004.

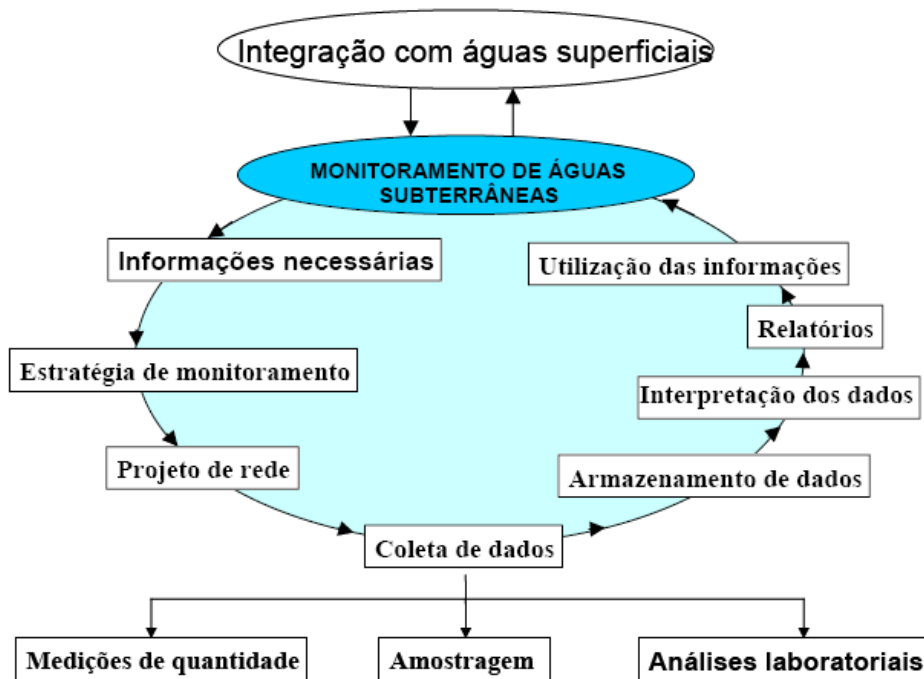


Figura 2. Ciclo de um programa de monitoramento.
 Fonte: Uil et al., (1999, apud DIAS et al., 2008)

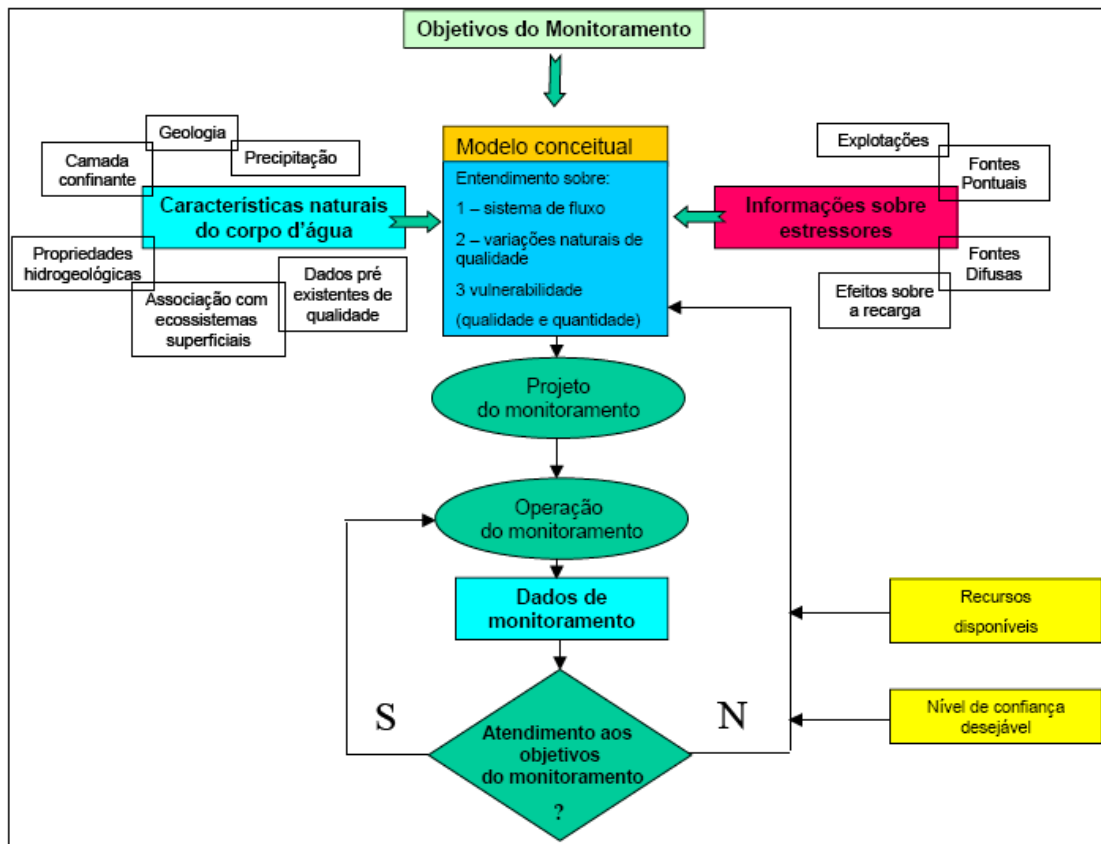


Figura 3. Representação esquemática de delineação da estrutura do programa de monitoramento.
 Fonte: European Communities (2003, apud DIAS et al., 2008)

Para que o monitoramento possa contribuir de forma decisiva no gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos é necessária a agregação, aos resultados obtidos e na interpretação dos dados, de informações meteorológicas e hidrológicas. Este procedimento considera a análise conjunta das componentes do ciclo hidrológico e reconhece o papel da água subterrânea na manutenção do fluxo, qualidade e ecologia das águas superficiais e vice-versa.

4.4. A rede de monitoramento quantitativo de água subterrânea

O monitoramento quantitativo tem como principais finalidades: auxiliar na caracterização hidrogeológica, avaliar a condição quantitativa dos corpos de água subterrânea, inclusive as reservas disponíveis; determinar tendências de alteração; e fornecer suporte à análise das características químicas.

Os elementos chaves para compreensão dos aspectos quantitativos são (EUROPEAN COMMUNITIES, 2007):

- Avaliação da recarga e balanço hídrico;
- Informações de nível d'água e descarga e informações relevantes do risco a que encontram expostas as águas subterrâneas dependentes das águas superficiais ou dependentes dos ecossistemas terrestres;
- O grau de interação entre água subterrânea, águas superficiais e ecossistemas terrestres.

A inclusão gradual de novos pontos de monitoramento, após análise da série de resultados existentes e verificada a exigência de adensamento, permite o refinamento do modelo conceitual. É recomendada, após a elaboração do modelo conceitual consistente, a implementação de um modelo numérico, constando da integração das águas superficial e subterrânea. Este modelo pode ser extremamente útil na interpretação dos dados do monitoramento quantitativo e na identificação de interferências reais ou potenciais.

4.5. A rede de monitoramento qualitativo de água subterrânea.

Os principais propósitos do monitoramento da qualidade de água subterrânea são: fornecer informação para classificação do estado químico da água; identificar áreas com alterações de qualidade; e estabelecer a presença de tendências significativas de aumento na concentração de poluentes.

A resolução CONAMA 396/2008 estabelece que “os parâmetros a serem selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente”. Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes, além de pH, turbidez, condutividade elétrica e **nível de água**.

A implantação de pontos de monitoramento qualitativo, em proximidade com aqueles dedicados à rede quantitativa, auxilia na interpretação dos resultados em ambos os casos visto a interdependência comumente verificada entre os aspectos químicos e a variação dos níveis d'água

5.0. O MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNDO

5.1. Europa

A agência ambiental europeia (EEA) realizou, em 1995, um inventário da rede de monitoramento quantitativo e qualitativo de seus países membros (KOREIMANN *et al.*, 1996).

Como resultado dessa pesquisa, efetuada por meio de questionários, verificou-se que o monitoramento quantitativo tem uma longa tradição na Europa, tendo sido a primeira rede instalada em 1845. A média dos períodos de registros para os países encontrava-se entre 20-35 anos. A operação é feita, principalmente por uma instituição nacional, exceto na França e Alemanha onde possui um caráter regional. As organizações nacionais trabalham como coordenadoras dos programas de monitoramento e, na maioria das vezes, são responsáveis pela coleta de amostras, gerenciamento dos dados e elaboração de relatórios. Podem, eventualmente, receber colaborações de entidades regionais.

Os objetivos do monitoramento são semelhantes para todos os países e envolvem: obtenção de dados básicos relativos à água subterrânea, gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e do abastecimento de água e subsídio às investigações hidrogeológicas.

Os pontos de monitoramento encontram-se, de modo geral, uniformemente distribuídos nos diferentes tipos aquíferos. Entretanto, há uma diferença expressiva na densidade da rede e que resulta, em parte, da heterogeneidade hidrogeológica.

As redes de monitoramento compreendem vários tipos de pontos de observação: poços escavados, poços ponteira, poços tubulares e nascentes. Os dois primeiros tipos são aqueles mais empregados. Quase todos os países possuem pontos com registros automatizados. Para os pontos em que não foram instalados estes equipamentos a frequência de observação varia de semanal a bianual. A qualidade da observação e o método de amostragem são determinados por procedimentos padronizados, distintos para cada país.

O armazenamento e gerenciamento dos dados são feitos por meio de diferentes bancos de dados que podem ser ORACLE, INGRES, RDBMS etc. Na maioria dos casos, não há restrição ao acesso às informações e estas podem ser obtidas de forma gratuita.

Na Tabela 1 estão apresentados os principais aspectos do monitoramento quantitativo adotado em alguns países da Europa. Os números e dados contidos nesta tabela devem ser analisados com certa ressalva visto que são referentes a 13 anos atrás.

Deve-se ainda destacar a Diretiva Marco da Água (DMA) estabelecida em 2000 tendo como objetivo primordial criar uma referência para a proteção das águas superficiais, de transição, costeiras e subterrâneas nos países membros da união europeia, países em vias de serem incorporados na EU e Noruega. Os preceitos que regem a DMA correspondem à gestão integrada e o “princípio da tripla aliança” entendido como o interrelacionamento entre os ecossistemas hídricos, a quantidade da água e a qualidade da água. Relativamente às águas subterrâneas o propósito final é a obtenção de um estado quantitativo e qualitativo satisfatório até o ano de 2015.

Como objetivos específicos em que se considera a conexão das águas subterrâneas com os ecossistemas terrestres, pode-citar:

- i) Aplicar as medidas necessárias para evitar ou restringir a entrada de contaminantes nas águas subterrâneas e evitar a sua degradação qualitativa;

Tabela 1. Principais aspectos do monitoramento quantitativo em alguns países da Europa

País	Tipos de pontos de observação				Número total de pontos	Número de pontos com registros automáticos	Frequência de Observação do Nível d'água	Responsável pelo monitoramento
	Nascente	Poço escavado	Poço tubular	Poço ponteira				
Áustria	10	1600	1600	1300	4510	290 (6%)		Responsabilidade compartilhada entre uma entidade federal (Ministério da Agricultura e Florestas – Escritório Hidrológico Central) e divisões de hidrologia de nove províncias
Dinamarca		156			156	156 (100%)	12/ano	Serviço Geológico da Dinamarca em cooperação com entidades regionais
Espanha	385	3564		1901	5850	5850 (100%)	2-6/ano	Instituto de Tecnologia Geomineira da Espanha (ligado ao Ministério da Indústria e Energia)
Finlândia		576		54	630	54 (9%)	2/mes	Órgão Federal – Instituto Ambiental da Finlândia
França (monitoramento regional)					1500 (previstos)			Ministério de Meio Ambiente e 22 escritórios regionais de meio ambiente ligados ao ministério
Alemanha (monitoramento regional)	353	44982	630	7290	53255	28776 (54%)	2-48/ano	Estrutura descentralizada. Monitoramento efetuado por entidades regionais em 16 estados.
Irlanda	1	17		4	22	16 (73%)		Serviço Geológico da Irlanda
Itália								Agências regionais ambientais que coordenam as atividades de instituições locais
Holanda		4000			4000	4000 (100%)	24/ano	Ministério dos Transportes, Obras públicas e Gerenciamento de Água com a colaboração do Instituto de Gerenciamento de Água e Tratamento de Águas Residuárias. Coordenação do monitoramento regional é feito pelo Instituto de Geociências Aplicadas
Noruega	4	4	82	6	96	- (0%)	2-4/mês	Serviço Geológico da Noruega em cooperação com o Instituto Norueguês de Pesquisas de Recursos Hídricos
Portugal	31	430		168	629	4 (0,6%)	12/ano	Instituto Nacional da Água em cooperação com Diretorias Regionais do Ambiente e Recursos Naturais
Suécia		25	332		357	1 (0,3)		Serviço Geológico da Suécia

Fonte: Koreimann *et al.*, (1996)

- ii) Recuperar os aspectos quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas e garantir um equilíbrio entre a extração e a alimentação dessas águas;
- iii) Aplicar as medidas necessárias para inverter toda tendência significativa de aumento da concentração de qualquer contaminante em decorrência de atividades antrópicas.

A estratégia de avaliação a ser adotada consiste, primeiramente, na execução de caracterização inicial ou básica (situação, características geológicas, fluxo, qualidade química, pressões antrópicas e risco de contaminação). Na hipótese de identificação de águas contaminadas, em risco de contaminação ou destinadas basicamente ao consumo humano deve ser feita uma caracterização adicional que compreende estudos mais detalhados (LOPEZ-VERA, 2006).

O monitoramento do estado quantitativo é planejado em função do sistema hidrogeológico (tipologia, fluxo e balanço hídrico). A finalidade é acompanhar e controlar o nível da água subterrânea assegurando que a taxa média anual de extração não promova, a longo prazo, a redução da disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos, a interferência nos corpos d'água superficiais, danos significativos aos ecossistemas terrestres que dependam das águas subterrâneas, a alteração dos fluxos subterrâneos e a salinização ou outras intrusões.

A diretiva 2006/118/EC foi criada especificamente para a proteção da água subterrânea, estabelecendo procedimentos para evitar a poluição e degradação. Para o alcance desse propósito foram criados critérios para assegurar a boa qualidade química das águas subterrâneas e para identificação e reversão de tendências significativas.

A Europa dispõe de uma rede de monitoramento integrado de qualidade e quantidade das águas denominada EUROWATERNET. As informações obtidas são reunidas e armazenadas em um banco de dados (Waterbase) cuja atualização é feita anualmente pelos países membros da comunidade europeia (DIAS *et al.* 2008).

5.2. Estados Unidos

Os Estados Unidos possui uma grande extensão territorial, com área de 9.372.614 km², e uma expressiva diversidade em termos geológicos, geomorfológicos, climáticos, de densidade demográfica e de domínios econômicos.

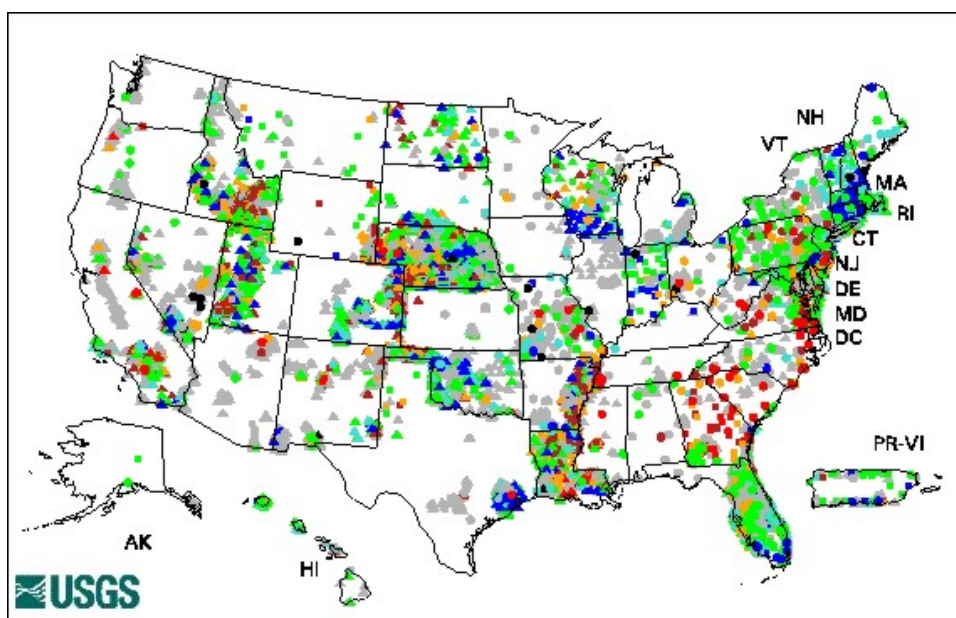
O USGS coleta dados de nível d'água durante mais de um século, sendo que muitos Estados e agências locais têm também um longo histórico de monitoramento. Entretanto, as redes estaduais e locais são fragmentadas e fortemente dependentes dos objetivos e do desenvolvimento de projetos existentes nas regiões de interesse. Por muitas décadas, tem se feito um esforço conjunto entre o USGS e as agências estaduais e locais para que seja obtido o registro dos níveis d'água de forma sistemática e abrangente.

A rede ativa de monitoramento de água subterrânea dos Estados Unidos contém mais de 20.000 poços sendo a operação feita pelo USGS, por meio dos escritórios regionais, e por entidades cooperadas. A frequência de observação é de pelo menos uma vez por ano. A figura 4 mostra a distribuição dos pontos de observação no país.

Os poços e piezômetros contendo instrumentos de registros de dados automáticos e com transmissão em tempo real, alcançam 1095 pontos d'água dentre piezômetros e poços tubulares e são de responsabilidade integral do USGS. A distribuição desses pontos de monitoramento, relativamente aos sistemas aquíferos, encontra-se apresentada na

Tabela 2. A análise desta tabela revela que os aquíferos inconsolidados (arenosos e conglomeráticos) e os aquíferos carbonáticos respondem por 81% da rede automatizada. Esses aquíferos não só são os mais explorados, mas também são aqueles que apresentam o maior risco de interferências quantitativas e qualitativas.

Os níveis d'água coletados pelo USGS são armazenados como dados discretizados ou como uma série contínua derivada das estações automáticas. Os dados destas estações são transmitidos para os escritórios do USGS por telefone ou satélite, permitindo o acesso em tempo real. Os registros são feitos a cada 5-60 minutos e transmitidos a cada 1-4 horas. Uma vez que a leitura diária é completada em determinado ponto, é gerado e disponibilizado no site do Serviço Geológico o sumário diário dos registros. Os valores diários incluem os dados consistidos, de qualidade assegurada, que podem ser publicados ou ainda dados recentes de acurácia não verificada (Figura 5) Anualmente, o USGS reúne os dados diários em publicações referentes às séries de monitoramento. As informações apresentadas foram extraídas do *site* do USGS (<http://waterdata.usgs.gov/nwis/gw>).



Rede ativa de monitoramento de poços

Em tempo real:	1.095	Medição diária:	1.216	Medição periódica:	19.217
----------------	-------	-----------------	-------	--------------------	--------

Figura 4. Distribuição dos pontos de monitoramento de nível d'água nos EUA.

O sistema nacional de informações de recursos hídricos contém uma grande quantidade de dados que podem ser acessados via Web. O banco de dados de água subterrânea consiste de mais de 850.000 registros de poços, nascentes, túneis, drenos e escavações. As informações desses pontos d'água podem ser acessadas via internet através da NWISWeb, a interface na web do Sistema Nacional de Águas.

Tabela 2: Relação dos pontos monitorados pelo USGS com relação aos tipos de aquíferos.

<i>Aquífero</i>	<i>Numero de Pontos de Monitoramento</i>	<i>Proporção em relação ao total monitorado(%)</i>
Aquíferos Inconsolidados (Arenosos e Conglomeráticos)	540	49,0
Aquíferos Areníticos	71	7,0
Aquíferos Carbonáticos	356	33,0
Aquíferos Areníticos e Carbonáticos	122	11,0
Aquíferos Fissurados	6	1,0
TOTAL	1095	100

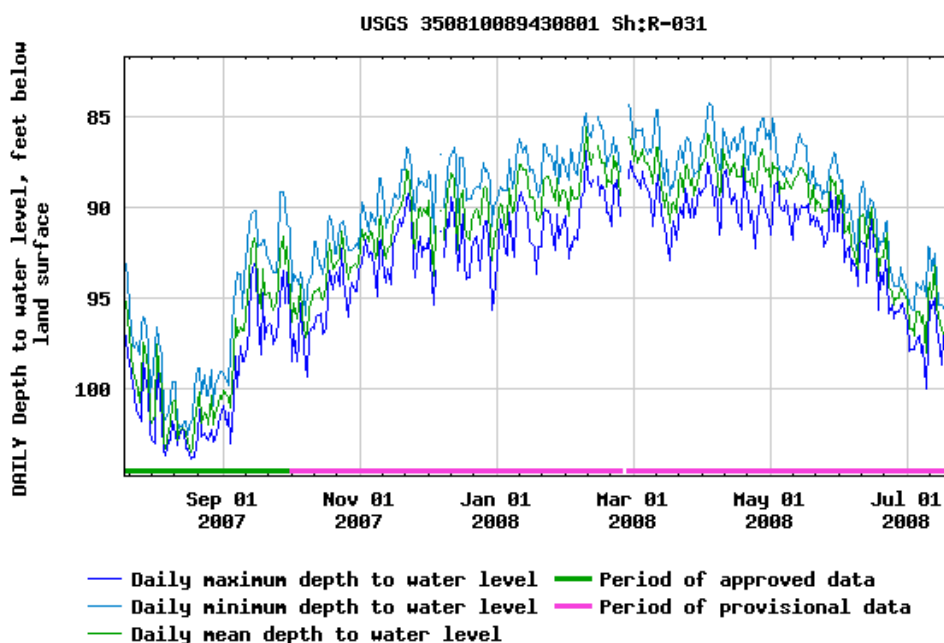


Figura 5. Exemplo de gráfico disponibilizado via web com os dados diários (média, máximo e mínimo). É indicado o período com dados consistidos (em verde) e não consistidos (em rosa).

6.0. O MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO BRASIL: EXEMPLOS DE SÃO PAULO e MINAS GERAIS.

6.1. Estado de São Paulo

O monitoramento de qualidade das águas subterrâneas em São Paulo é realizado pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Esta atividade foi implantada em 1990 (16 anos de série histórica de dados), como resposta à necessidade de controle qualitativo em áreas contaminadas ou em risco de poluição e também em atendimento à Lei Estadual 6.134/88, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas, regulamentada pelo Decreto Estadual 32.955/91.

O monitoramento executado é do tipo regional, tendo como objetivo avaliar as características hidroquímicas dos aquíferos e identificar possíveis impactos das atividades antrópicas. Os critérios de seleção dos locais de controle compreenderam a vulnerabilidade dos aquíferos e a intensidade do uso da água subterrânea para abastecimento público. Para a escolha dos poços de abastecimento a serem monitorados foi adotada, dentre outros fatores, a exigência de cadastro no DAEE e SABESP.

As águas de 184 poços tubulares são monitoradas a cada seis meses. Os pontos monitorados encontram-se distribuídos no estado, abrangendo os diferentes tipos aquíferos e as diversas UGRHIs - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado (Figura 6 e Tabela 3). São analisados mais de 40 parâmetros físico, químicos e biológicos e estes são integrados, interpretados e apresentados em relatórios técnicos elaborados a cada três anos.

Tabela 3. Distribuição dos pontos de monitoramento com relação aos sistemas aquíferos.

<i>Sistema Aquífero</i>	<i>Bauru</i>	<i>Serra Geral</i>	<i>Guarani</i>	<i>Tubarão</i>	<i>Cristalino</i>	<i>Taubaté</i>	<i>São Paulo</i>
Pontos de Monitoramento	65	12	42	15	38	7	5

A avaliação da qualidade da água é feita por meio de valores orientadores: Valor de Referência e Valor de Intervenção. O Valor de referência de qualidade representa a concentração de determinada substância na água subterrânea que define a qualidade natural da água. O Valor de intervenção corresponde à concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais à saúde humana.

Os valores de referência de qualidade são obtidos a partir da análise estatística dos dados de monitoramento e de informações referentes a demais estudos qualitativos realizados. É um parâmetro, portanto, variável de acordo com o grau de conhecimento a respeito do aquífero tratado. Já os valores de intervenção referem-se aos padrões fixados na Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde. São valores estáticos e passíveis de alteração somente a partir de uma nova portaria. O uso dos valores de intervenção permite a classificação de “Áreas Contaminadas sob Investigação” quando houver constatação da presença de contaminantes na água subterrânea em concentrações acima daqueles estabelecidos, indicando a necessidade de ações para preservação dos receptores.

As tabelas 4 e 5 mostram, respectivamente, um exemplo da apresentação dos dados de monitoramento e os valores de referência da qualidade para os sistemas aquíferos em dois períodos distintos de monitoramento.

A Secretaria de Meio Ambiente – SMA do Estado de São Paulo possui um projeto denominado “Aquiíferos” que tem como objetivos: promover a proteção dos aquíferos do Estado de São Paulo identificando as áreas críticas e sensíveis em termos de qualidade e quantidade; criar mecanismos de controle e restrição; e propiciar condições de uso sustentável da água subterrânea, em especial nas áreas de afloramento dos Aquíferos Guarani e Bauru (SMA, 2008). Este projeto tem como principais atividades programadas:

- Implantação de rede integrada de monitoramento da quantidade e qualidade de água subterrânea, tendo como gerente a CETESB;

- Instalação inicial 25 poços de monitoramento para medição diária de nível de água e coleta de amostras para análise semestral, a ser realizada pelo Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos – CTH/DAEE.
- Ampliação da rede para no mínimo 200 pontos de monitoramento integrado.

Nessa rede, o nível d'água nos poços de monitoramento deverá ser mensurado diariamente. Os poços serão, de modo geral, rasos e instalados preferencialmente distantes de atividades que podem ocasionar interferências (poços em bombeamento, barragens e outros) e próximos de estações Fluviométricas e Pluviométricas, com o intuito de contribuir para o cálculo do balanço hídrico regional. Os parâmetros de monitoramento da qualidade serão os mesmos analisados na Rede de Monitoramento de Qualidade da CETESB (CETESB, 2008).

Tabela 4. Exemplo da apresentação dos resultados de monitoramento por sistema aquífero.
Fonte: CETESB (2008)

Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas para o Aquífero Guarani no período 2004 a 2006.

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido VMP	Aquífero Guarani (42 pontos)		
			Mínimos e Máximos	Mediana	3º Quartil
pH	--	6,0-9,5	4,4 - 10	6,5	7,4
Temperatura	°C	--	16 - 44	25,5	28,0
Condutividade Elétrica	µS/cm	--	10,2 - 456	125	164
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000	4 - 334	92	125
Sólidos Totais	mg/L	--	6 - 318	101	136,5
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	500	0,8 - 132	28	63
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	--	2 - 168	48	79
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO ₃	--	0 - 46	0	0
Alcalinidade Hidróxido	mg/L CaCO ₃	--	0 - 4	0	0
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/L C	--	<1 - 9,21	1,31	2,48
Alumínio Total	mg/L Al	0,2	<0,01 - 0,36	0,02	0,05
Antimônio Total	mg/L Sb	0,005	<0,002	<0,002	<0,002
Bário	mg/L Ba	0,7	<0,005 - 0,72	0,03	0,05
Boro	mg/L B	--	<0,03	<0,03	<0,03
Cádmio Total	mg/L Cd	0,005	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cálcio total	mg/L Ca	--	0,1 - 43,3	6,8	18,3
Chumbo Total	mg/L Pb	0,01	<0,002 - 0,07	<0,002	<0,002
Cloreto	mg/L Cl	250	0,05 - 12,9	1,2	1,2
Cobre	mg/L Cu	2	<0,01 - 0,36	<0,01	<0,01
Cromo Total	mg/L Cr	0,05	<0,0001 - 0,03	0,002	0,003
Ferro Total	mg/L Fe	0,3	<0,01 - 0,96	0,01	0,01
Fluoreto	mg/L F	1,5	<0,02 - 0,7	0,1	0,16
Magnésio Total	mg/L Mg	--	0,024 - 5,8	1,6	2,73
Manganês Total	mg/L Mn	0,4	<0,004 - 5,9	0,005	0,005
Nitrogênio Nitrato	mg/L N	10	<0,003 - 11,7	0,2	0,3
Nitrogênio Nitrito	mg/L N	1	<0,001 - 0,01	0,004	0,004
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L N	--	<0,023 - 1,0	0,05	0,05
Nitrogênio Kjeldhal Total	mg/L N	--	<0,03 - 1,54	0,15	0,2
Potássio	mg/L K	--	<0,2 - 12,9	2,59	4,01
Sódio Total	mg/L Na	200	0,13 - 105	2,8	7,2
Sulfato	mg/L SO ₄	250	<10	<10	<10
Zinco	mg/L Zn	5	<0,01 - 0,4	0,01	0,01
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	500	0 - 1300	0	1
Coliforme Total	P/A/100 mL	ausente	Presente em 6 das 219 amostras	ausente	ausente
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes	P/A/100 mL	ausente	ausente	ausente	ausente

VMP – Valor Orientador de Intervenção estabelecido pela CETESB ou na ausência deste o Padrão de Potabilidade estabelecido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. Para o manganês, o padrão de potabilidade é de 0,1mg/L.

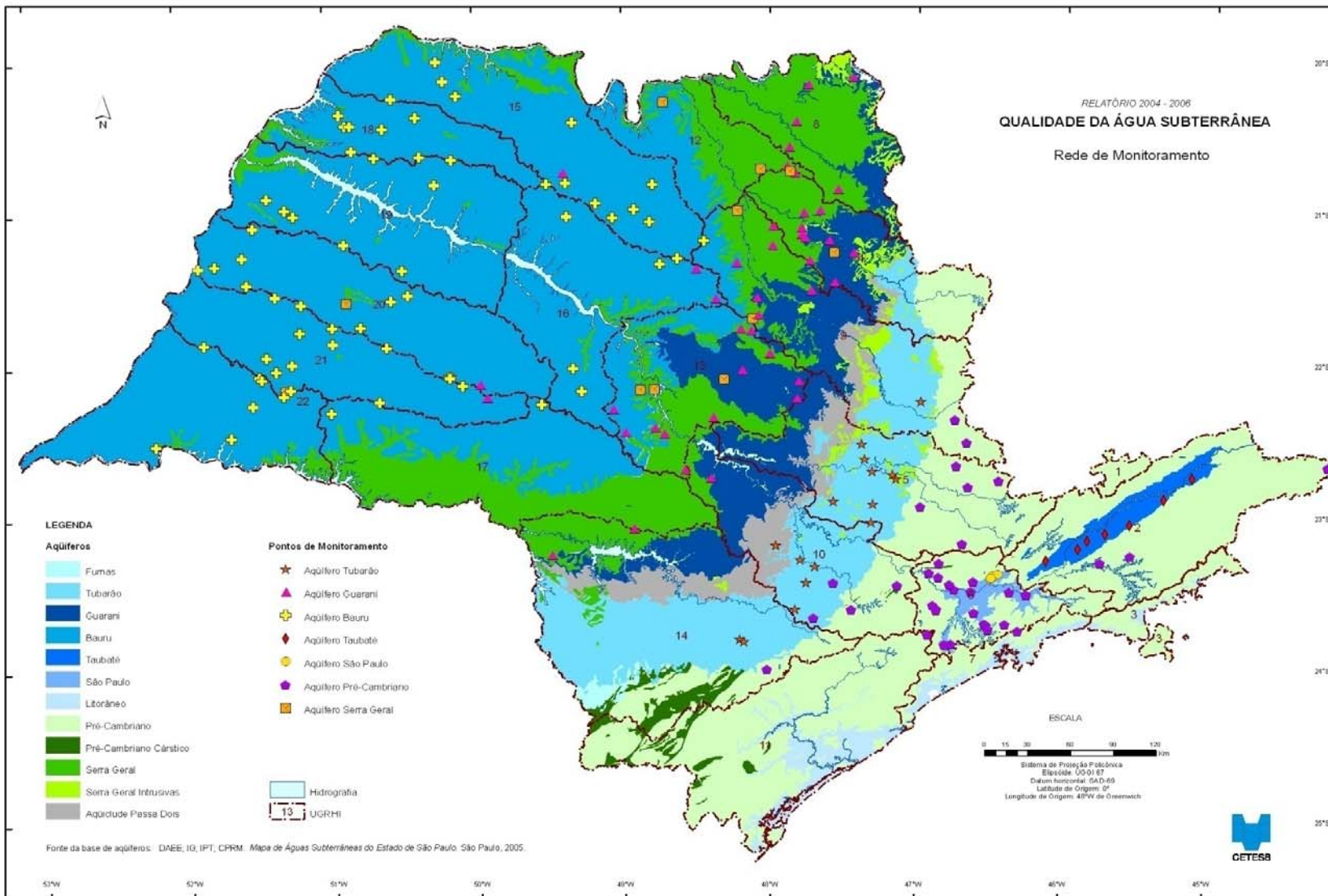


Figura 6. Distribuição dos pontos de monitoramento de água subterrânea no Estado de São Paulo. *Fonte:* CETESB (2008).

Tabela 5. Valores de referência de qualidade – VRQ por aquífero e por período de monitoramento. *Fonte:* CETESB (2008).

Parâmetro	Unidade	Sistema Aquífero e período de monitoramento												Padrão Portaria MS nº1469/00
		Guarani		Bauru		Tubarão		Taubaté		Serra Geral		Cristalino		
		98-00	01-03	98-00	01-03	98-00	01-03	98-00	01-03	98-00	01-03	98-00	01-03	
pH	--	7,6	7,0	7,7	7,7	9,0	8,9	7,4	7,1	8,0	8,1	7,9	7,7	6,0-9,5
Temperatura	°C	28	29	26	25	26	26	26	26	26	27	24	23	--
Condutividade Elétrica	µS/cm	153	160	238	247	452	407	148	164	159	174	251	252	--
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	115	118	201	197	372	417	163	160	139	146	195	201	1000
Resíduo Seco 180°C	mg/L	121	111	193	196	331	285	145	164	135	135	180	184	--
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	62	56	112	101	60	66	45	42	56	58	82	102	500
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	87	78	117	108	156	150	74	77	85	79	98	104	--
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO ₃	0	0	0	0	17	2	0	0	0	0	0	0	--
Alcalinidade Hidróxido	mg/L CaCO ₃	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	--
Alumínio Total	mg/L Al	0,03	0,02	0,05	0,04	0,035	0,03	<0,01	<0,15	0,04	0,03	0,02	0,04	0,2
Arsênio Total	mg/L As	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,006	0,01
Bário Total	mg/L Ba	<0,4	<0,08	<0,4	0,25	<0,4	<0,08	<0,4	0,14	<0,4	<0,08	<0,4	<0,08	0,7
Boro Total	mg/L B	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03	--
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/L C	10,9	3,4	15,6	7,5	22,6	6,4	14,0	7,5	12,6	5,2	19,05	5,2	--
Cálcio Total	mg/L Ca	18,8	17,2	29,3	27,0	18,7	22,9	14,1	20,7	17,2	15,6	30,0	32,0	--
Cádmio Total	mg/L Cd	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,0035	<0,005	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	0,005
Cloreto Total	mg/L Cl	1,5	1,0	6,5	4,7	16,2	16,3	1,7	1,3	1,5	1,5	3,6	4,4	250
Chumbo Total	mg/L Pb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,04	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,01
Cobre Total	mg/L Cu	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	2
Cobalto Total	mg/L Co	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--
Cromo Total	mg/L Cr	0,0028	0,004	0,04	0,04	<0,0005	<0,0005	0,010	<0,005	0,003	0,004	0,0006	0,002	0,05
Ferro Total	mg/L Fe	<0,12	<0,02	<0,120	0,03	<0,12	0,02	0,29	0,12	<0,12	0,02	<0,12	0,07	0,3
Fluoreto Total	mg/L F	0,20	0,24	0,30	0,27	0,80	0,55	0,41	0,30	0,18	0,26	0,7	0,65	1,5
Magnésio Total	mg/L Mg	4,13	3,9	9,9	8,3	3,35	3,85	1,17	0,73	4,6	4,6	5,36	6,3	--
Manganês Total	mg/L Mn	<0,009	<0,006	<0,009	<0,006	<0,009	0,003	0,075	0,080	<0,009	<0,006	0,009	0,0012	0,1
Mercurio Total	mg/L Hg	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0001	<0,0003	<0,0001	<0,0003	0,0004	<0,0003	<0,0001	<0,0003	<0,0001	0,001
Nitrogênio Nitrito	mg/L N	0,23	0,3	1,14	1,87	<0,2	<0,2	0,012	0,04	0,30	0,45	0,20	0,51	10
Nitrogênio Kjeldhal Total	mg/L N	0,08	0,15	0,06	0,15	0,39	0,38	0,50	0,2	0,08	0,15	0,30	0,33	--
Níquel Total	mg/L Ni	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--
Potássio Total	mg/L K	4,0	4,2	4,9	4,5	2,5	2,4	4,8	3,6	2,5	2,6	3,2	3,0	--
Selênio Total	mg/L Se	--	<0,002	--	<0,002	--	<0,002	--	<0,002	--	<0,002	--	<0,002	0,01
Sódio Total	mg/L Na	6,9	7,4	15,0	15,0	103	89	19,7	16,8	17,5	14,0	16,0	16,0	200
Vanádio Total	mg/L V	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--
Zinco Total	mg/L Zn	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	5
Contagem Bactérias Heter.	UFC/mL	21	6	38	1	13	10	1	1	25	5	20	35	500
Coliforme Total	NCME/100 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliforme Termotolerante	P/A/100 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.2. Estado de Minas Gerais

As sub-bacias dos rios Verde-Grande, Riachão, Jequitai e Pacuí, localizadas na porção norte do Estado de Minas estão sendo monitoradas, desde 2005, como parte de um programa piloto voltado para a implantação de uma rede de controle da qualidade de águas superficiais, subterrâneas e sedimentos. Esta rede visa avaliar a qualidade das águas para abastecimento humano e irrigação visto que nesta área os aquíferos, especialmente os cársticos e fissurados-cársticos, encontram-se sob risco de contaminação visto a aplicação intensiva de agrotóxicos, a ocupação urbana e as atividades industriais. O programa de monitoramento é resultado do convênio firmado entre o órgão gestor das águas no Estado – IGAM e a Companhia de Desenvolvimento dos Vales dos São Francisco e Parnaíba –CODEVASF. Atualmente o IGAM está elaborando projeto para expansão do monitoramento de águas subterrâneas no Estado.

A Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais - COPASA opera aproximadamente 1.000 poços e monitora seus poços a cerca de 20 anos. Atualmente são 600 poços com monitoramento das vazões, dos níveis dinâmicos e das horas de operação. As determinações de vazão não são sistemáticas, pois apresentam inconvenientes de medição com hidrômetros que estão sujeitos a danos na operação. A instalação de medidores magnéticos é inviabilizada pelos custos elevados. Os poços estão instalados com sistemas próprios de medição de níveis para evitar contaminação com medidores de uso coletivo. O mapa da figura 7 apresenta a distribuição dos poços monitorados pela COPASA-MG.

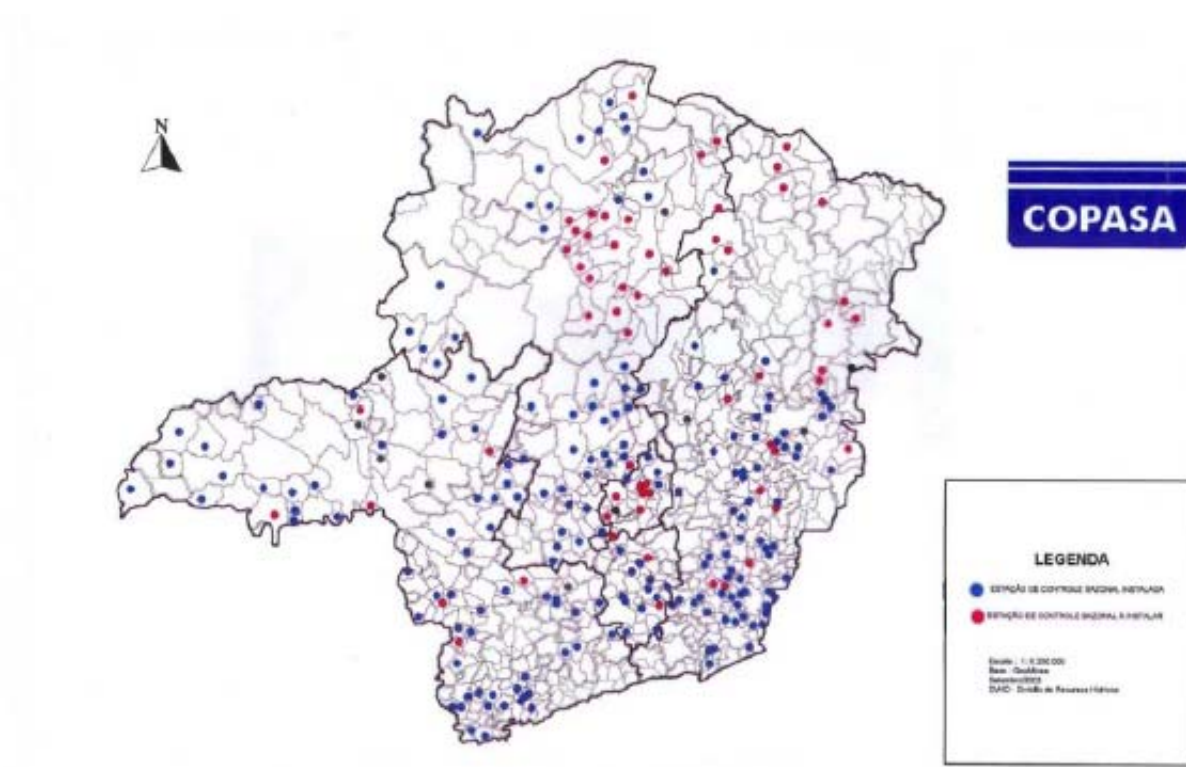


Figura 7: Distribuição dos poços tubulares monitorados pela COPASA no Estado de Minas Gerais. *Fonte:* Gonçalves (2006)

7. AS AGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL – BREVE AVALIAÇÃO

Será feita uma breve descrição dos principais aquíferos no Brasil, considerando seus aspectos hidrogeológicos, os usos preponderantes e a indicação da existência de alterações qualitativas ou quantitativas ou em risco eminente de ocorrência. As informações decorrem de projetos realizados pela CPRM, do conhecimento dos hidrogeólogos da empresa, de pesquisa bibliográfica, de dados obtidos no banco de dados do SIAGAS e fornecidos por empresas de saneamento ou órgãos gestores de diversos estados da federação. Esta caracterização visa levantar elementos para a concepção da rede nacional de monitoramento de águas subterrâneas.

Os aquíferos de maior potencial no Brasil associam-se predominantemente às bacias sedimentares, que datam do Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico, e às rochas carbonáticas proterozóicas. Dentre as bacias sedimentares, destacam-se pela extensão e capacidade de produção, as bacias do Paraná, Amazonas, Parnaíba e Potiguar. As bacias costeiras devem ser também ressaltadas dada a importância para abastecimento de várias cidades litorâneas. Cerca de 40% da superfície do território nacional é ocupado pelas bacias sedimentares.

Os aquíferos fissurados, relacionados às rochas cristalinas pré-cambrianas, apresentam comumente, baixo potencial hidrogeológico. Entretanto, a existência de manto de intemperismo de espessura significativa pode gerar zonas aquíferas com capacidade para o atendimento de demandas de reduzido a médio porte e que têm papel importante na manutenção do escoamento de base dos cursos d'água que cruzam seus domínios. As figuras 8a e 8b mostram, respectivamente, a distribuição dos domínios sedimentares e fissurados no Brasil e as áreas de recarga (exposição) dos principais aquíferos.

7.1. Bacia Sedimentar Proterozóica

7.1.1. Bacia do São Francisco

A bacia do São Francisco é de natureza intracratônica e foi estabelecida no final do Proterozóico. Abrange o sistema aquífero Bambuí formado por calcários e metapelitos.

7.1.1.1. *Sistema Aquífero Bambuí*

Constitui aquífero cárstico-fraturado de produtividade muito variável, em função da heterogeneidade dos terrenos regionais. O sistema aquífero Bambuí, ocorre nos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás, perfazendo cerca de 175.000 km² (ANA, 2005a). O sistema aquífero compreende os metassedimentos, em sua maioria, de natureza carbonática, dos grupos Bambuí e Una, além dos carbonatos da Formação Caatinga. Os primeiros são de idade neoproterozóica (850 a 650 Ma.), enquanto a Formação Caatinga compreende materiais quaternários (1,75 Ma.), produtos da alteração de carbonatos do Grupo Bambuí (ANA, 2005a).

Aspectos Hidrodinâmicos: As características hidráulicas exibem ampla variabilidade refletindo a heterogeneidade de comportamento dos aquíferos carbonáticos. A transmissividade mostra valores entre 233m²/dia a 7700m²/dia (CETEC, 1984). A capacidade específica média está em torno de 12,74 m³/h/m. No entanto, valor extremamente baixo de armazenamento específico (66,0 mm) foi obtido para as sub-bacias que drenam os sistemas carbonáticos na área considerada no Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias de Afluentes do Rio São Francisco em Minas Gerais (RURALMINAS, 1999). Análise de dados disponíveis feitos pela ANA (2005a) revelou que os poços apresentam vazão média de 11 m³/h e capacidade específica média de 4,811 m³/h/m.



Figura 8. a) Distribuição das bacias sedimentares (em verde) e dos domínios cristalinos (fissurados – em amarelo); b) Áreas de recarga (exposição dos principais aquíferos). *Fonte:* ANA (2005a).

Aspectos Hidroquímicos: Verifica-se grande variabilidade nos padrões hidroquímicos que pode ser atribuída às diferenças de comportamento hidráulico e de interação com a água dos litotipos constituintes (MOURÃO *et al.*, 2001). A condutividade elétrica e a dureza, variam em amplo intervalo, apresentando valores médios de 427,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 201,9 mg/L, respectivamente. Teores elevados em flúor são de ocorrência eventual e associam-se à presença de minerais fluoretados (apatita e/ou fluorita).

Principais problemas relacionados ao uso da água: O sistema aquífero cárstico apresenta, em geral, um elevado potencial hidrogeológico, entretanto, encontra-se freqüentemente em situação de elevada vulnerabilidade devido as pequenas profundidades de ocorrência das zonas intensamente carstificadas. As principais fontes de poluição correspondem aos contaminantes biológicos originados de problemas de saneamento e inexistência de redes de esgoto, ou aqueles associados ao uso de agrotóxicos nas atividades agrícolas. Em domínios cársticos localizados em Minas Gerais - norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, em Curvelo, Montes Claros, Jaíba e Capitão Enéias - verificam-se importantíssimos valores de vazões de exploração com potencial para aproveitamento no abastecimento público, que podem variar de 10 l/s (36m³/h) a 50 l/s (180m³/h) e até mesmo superiores a 100 l/s (360m³/h). O uso da água subterrânea para irrigação concentra-se em Minas Gerais, na bacia do rio Verde Grande e na bacia do rio Riachão (afluente do Pacuí) e em alguns municípios das microrregiões administrativas de Unaí e Montes Claros. A bacia do rio Verde Grande constitui área de sério conflito pelo uso da água. No Estado da Bahia, destaca-se a região do Platô do Irecê onde se utiliza água desse sistema aquífero essencialmente para irrigação. Nestes locais, a extração de água subterrânea assume grande importância, suplantando muitas vezes o volume de água extraído para os demais usos.

Monitoramento existente: A região norte do estado de Minas Gerais, compreendido pelas sub-bacias dos rios Verde-Grande, Riachão, Jequitai e Pacuí está sendo monitorada, desde 2005, por uma rede dirigida para o controle da poluição por agrotóxicos, ocupação urbana e atividades industriais visando o controle da qualidade das águas utilizadas para o consumo humano e irrigação. Nesta região estão sendo monitorados a qualidade das águas superficiais, subterrâneas e os sedimentos. As águas subterrâneas foram incluídas no programa de monitoramento da região norte do estado de Minas Gerais devido à importância dos riscos de contaminação, por intermédio de um convênio entre o IGAM e a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba -CODEVASF, incluindo-se não somente os inerentes aos sistemas freáticos superficiais, que mantêm interconexão hidráulica com os cursos de água, mas também aqueles relacionados aos sistemas aquíferos mais profundos, sujeitos a fontes de poluição difusas ou pontuais provenientes de resíduos industriais ou de origem agrícola e biológica (VIOLA *et. al.*, 2006).

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: No Estado de Minas Gerais encontram-se cadastrados no Banco de Dados do SIAGAS-CPRM, 3900 poços tubulares em domínios do sistema aquífero Carbonático.

7.2. Bacias Sedimentares Fanerozóicas

7.2.1. Bacia do Amazonas

A Bacia Sedimentar do Amazonas é compartimentada por estruturas regionais em bacias menores: do Acre, Solimões e Amazonas. Ocupa uma boa área da região norte do Brasil, coincidindo, em parte, com a bacia hidrográfica do rio Amazonas. Possui área de aproximadamente 1.300.000 km² e espessura da ordem de alguns quilômetros (ANA, 2005a). O conhecimento hidrogeológico da região ainda é pouco expressivo, entretanto

pode-se admitir condições bastante favoráveis, devido a presença de camadas arenosas de espessuras significativas e de permeabilidade pronunciada. No Amazonas, os dois aquíferos mais importantes são o Alter do Chão e o Içá.

7.2.1.1. Sistema Aquífero Alter do Chão

O aquífero Alter do Chão aflora apenas na Bacia do Amazonas, limitado pelos arcos de Purus e Gurupá, desde a cidade de Caapiranga (situada a a aproximadamente 140 km a oeste da cidade de Manaus) até os limites com a Sub-Bacia de Cametá, a leste, no Estado do Pará. Essa unidade hidrogeológica, representa o principal reservatório de água subterrânea da Região Norte, sendo constituído, principalmente por arenitos de granulometria fina a grossa e argilitos de coloração avermelhada e que representa, aproximadamente, 1/4 desse reservatório. Na Bacia do Solimões (porção ocidental do estado do Amazonas) é encoberto pelas formações Solimões e Içá e suas águas, provavelmente, encontram-se submetidas a grandes pressões. Na porção aflorante, em geral, trata-se de um aquífero livre.

Aspectos Hidrodinâmicos: Na Cidade de Manaus, a espessura da Formação Alter do Chão é de aproximadamente 200m, assentado sobre os calcários da Formação Nova Olinda. Com base nas informações de algumas centenas de poços, considerados significativos para expressar os seus principais parâmetros hidrodinâmicos, a transmissividade média encontrada foi 4,7 m²/h e a capacidade específica de 1,7 m²/h. Informações adicionais referem-se a: nível estático médio de 30m; e vazão média, praticada em Manaus, de aproximadamente 40 m³/h.

Aspectos Hidroquímicos: apesar da acidez, dada pelo pH em torno de 5, e dos sólidos totais dissolvidos inferiores a 50mg/l, as águas do Alter do Chão são consideradas de boa qualidade química, principalmente da porção aflorante. Entretanto, muito raramente, a concentração de ferro nessas águas pode atingir valor da ordem de 15mg/l (ANA, 2005b), quando nas imediações de crosta laterítica e de alguns níveis pouco profundos, enriquecidos em ferro.

Usos Preponderantes: o Alter do Chão contribui para o abastecimento de várias cidades da região. A cidade de Manaus é abastecida parcialmente (20 a 30%) por água subterrânea dessa unidade, através de mais de uma centena de poços tubulares, com profundidades variando de 100 a 200 m. O principal uso dessa água é o doméstico, sendo que a irrigação responde por apenas 10% do volume total explotado.

Principais Problemas Relacionados ao Uso da Água: nas áreas urbanas, os riscos de contaminação são cada vez mais elevados, em decorrência do número crescente de fossas sépticas, postos de combustíveis, cemitérios, lixões e outras fontes potencialmente contaminantes. Até o momento, entretanto, não se dispõe de dados sistemáticos, como análises químicas e bacteriológicas abrangentes, para avaliar a extensão e intensidade da interferência na qualidade dessas águas.

Monitoramento Existente: é pouco representativo, apenas o monitoramento (nível estático) do poço da Associação dos Funcionários da CPRM de Manaus - ASSECMA e de três poços de uma das estações ambientais do INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizada a noroeste de Manaus a aproximadamente 60 km.

Número de Poços Tubulares Existentes: na cidade de Manaus, estima-se a existência de aproximadamente 12.000 poços captando água do Alter do Chão, dos quais 1.800 já se encontram no banco de dados SIAGAS – CPRM.

7.1.1.2. Sistema Aquífero Içá

O Aquífero Içá ocorre em mais da metade do estado do Amazonas (zona central) e geralmente apresenta vazões elevadas, superiores a 40m³/h. A sua espessura é geralmente reduzida e inferior a 100 m. Possui constituição predominantemente arenosa, de granulometria variando de fina a grossa.

Aspectos Hidroquímicos: as águas dessa unidade, geralmente são de boa qualidade química, semelhante às do Aquífero Alter do Chão. Entretanto, às vezes, apresentam-se enriquecidas em ferro quando provenientes, principalmente, dos níveis mais profundos.

Usos Preponderantes: consumo humano e pequena agricultura

Principais Problemas Relacionados ao Uso da Água: contaminação antrópica

Número de Poços Tubulares Existentes: apesar de o Aquífero Içá ocorrer em mais da metade do estado do Amazonas, a maioria das cidades localizadas no seu domínio não captam suas águas, e sim as águas dos depósitos aluvionares e terraços, sobre os quais estão assentadas diretamente. Entretanto, em algumas cidades como Coari e em Urucu (área de exploração de óleo e gás da Petrobras), o aquífero Içá é a principal fonte de abastecimento. Assim, acredita-se que existam poucos poços captando a água dessa unidade aquífera, que para alguns se trata apenas da porção superior da Formação Solimões.

7.1.1.3. Sistema Aquífero Solimões

A Formação Solimões ocorre na porção ocidental do estado do Amazonas e em quase toda a extensão do Acre, com uma espessura expressiva que chega a ultrapassar 2000 metros. A unidade é predominantemente argilosa, encerrando lentes e camadas de arenito de granulometria fina a muito fina e siltitos. Os arenitos são mal selecionados e apresentam-se parcialmente cimentados por carbonato de cálcio. As lentes geralmente não ultrapassam 200 m, mas podem alcançar alguns quilômetros de extensão e 40 metros de espessura. Sob tais circunstâncias responde por um aquífero descontínuo.

Aspectos Hidrodinâmicos: As vazões são pouco elevadas e inferiores a 15 m³/h.

Aspectos Hidroquímicos: Suas águas geralmente apresentam-se bem mais mineralizadas do que as demais águas subterrâneas da região devido à interação com lentes limonitizadas, de linhito, carbonáticas (às vezes piritosas) e gipso.

Usos Preponderantes: consumo humano

Principais Problemas Relacionados ao Uso da Água: Não foram encontradas informações

Número de Poços Tubulares Existentes: No banco de dados SIAGAS-CPRM encontram-se registrados 130 poços tubulares nesse aquífero.

7.2.2. Bacia do Parnaíba

A Bacia Sedimentar do Parnaíba é a principal bacia da região Nordeste com relação à potencialidade de água subterrânea, com área de 600.000 km². Abrange parte expressiva dos estados do Piauí, Maranhão e Ceará. Estima-se espessura máxima do pacote sedimentar em cerca de 3.000 m. Os quatro sistemas aquíferos regionais mais importantes dessa bacia são: Cabeças, Serra Grande, Poti-Piauí e Itapecuru. Esses aquíferos são utilizados principalmente pelo estado do Piauí. No estado do Maranhão são explotados os aquíferos mais rasos, Motuca, Corda e Itapecuru, em geral, sob condições livres, em decorrência das feições de relevo mais elevadas que dificultam o

acesso aos aquíferos profundos. Cabe ainda destacar, que a água subterrânea representa a principal fonte de abastecimento das populações dos estados do Piauí e Maranhão, em especial nas regiões do interior de clima semi-árido em que os rios são praticamente todos intermitentes. No Maranhão, mais de 70 % das cidades usam água de poços, e no estado do Piauí este percentual supera 80 %.

7.2.2.1. Sistema aquífero Serra Grande

O sistema aquífero Serra Grande representa a porção basal da Bacia Sedimentar do Parnaíba. É constituído por espessos bancos de arenitos, de coloração branca a bege, com granulação média e grosseira, por vezes conglomerática, e ocorrências subordinadas de níveis de arenitos siltosos ou siltitos, apresentando estratos com cimento quartzoso, por vezes conglomeráticos, com diagênese geralmente muito forte e com estratificação cruzada, intercalados por níveis de arenitos siltosos e siltitos. Assenta-se diretamente sobre o embasamento cristalino, sendo confinado pelo aquífero Pimenteiras. Apresenta espessura média de 500 m (COSTA, 1994). Condições de artesianismo são frequentes, ao longo da borda oriental da Bacia Sedimentar do Parnaíba, nesse aquífero.

Aspectos Hidrodinâmicos: A vazão média dos poços desse sistema tem valores de 6,3 e 13,7 m³/h, respectivamente para as porções livres e confinadas. A capacidade específica média é 0,439 m³/h/m, nas áreas livres e de 2,406 m³/h/m, nos locais confinados (ANA, 2005a). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do aquífero, no estado do Piauí, são (COSTA, 1994): $3,0 \cdot 10^{-3}$ m²/s de transmissividade, $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s de condutividade hidráulica e $4,3 \cdot 10^{-4}$ de coeficiente de armazenamento (condições confinadas).

Aspectos Hidroquímicos: Em geral, a qualidade química das águas do Serra Grande mostra resíduo seco médio de 300 mg/L (COSTA, 1994). Águas cloretadas aparecem na zona de afloramento do sistema aquífero e águas com condutividade elétrica acima de 1.000 µS/cm são associadas à contribuição de águas armazenadas nos fraturamentos da Formação Pimenteiras (SANTIAGO *et al.*, 1999b, *apud* ANA, 2005b).

Usos preponderantes: Os principais usos das águas do Serra Grande compreendem o abastecimento doméstico e a irrigação. É o mais importante e o mais explorado manancial de recursos hídricos da região sudeste do Piauí. Nessa região, dentre 225 poços considerados, 70,2% são usados para abastecimento humano, realizado através de poços públicos, particulares ou explorados por pequenas comunidades, na maioria dos casos, por intermédio de chafarizes. Em segundo lugar, vem o uso para irrigação (21,2%) (ANDRADE JÚNIOR *et al.* 2004, *apud* ANA, 2005a).

Principais problemas relacionados ao uso da água: Na cidade de Picos, no Piauí, o abastecimento é feito exclusivamente por águas subterrâneas e quase que de forma integral pelo aquífero Serra Grande (SOARES F^o, 1993, *apud* VIDAL, 2003). A utilização intensiva da água neste município provocou a depleção acentuada no nível potenciométrico.

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros de monitoramento nesse aquífero

7.2.2.2. Sistema aquífero Cabeças

O sistema aquífero Cabeças é constituído por arenitos, localmente silicificados, depositados no terço inferior da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Esse sistema é considerado como o de melhor potencial hidrogeológico nessa bacia.

Tem comportamento livre e confinado. Aflora em faixa de direção aproximadamente norte-sul abrangendo os Estados do Piauí e Tocantins. O confinamento é dado pela Formação Longa que exhibe espessuras, localmente, de até 200 m (ANA, 2005a).

Aspectos Hidrodinâmicos: O sistema aquífero Cabeças apresenta vazões médias, na porção livre e confinada, respectivamente, de 12 e 50,2 m³/h. A capacidade específica média da porção livre é 1,774 m³/h/m, enquanto para a porção confinada é de 8,179 m³/h/m (ANA, 2005a). Tais valores médios denotam um aquífero de produtividade boa a elevada. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero, conforme Costa (1994), são: 1,3.10⁻² m²/s de transmissividade, 5,4.10⁻⁵ m/s de condutividade hidráulica e 3,7.10⁻⁴ de coeficiente de armazenamento (condições confinadas).

Aspectos Hidroquímicos: As águas do sistema aquífero Cabeças apresentam boa qualidade química, revelada pelos baixos valores de condutividade elétrica, comumente abaixo de 50 µS/cm (SANTIAGO *et al.*, 1999a; *apud* ANA 2005b). Nas porções confinadas, mais profundas do aquífero, a salinidade tende a ser bastante elevada.

Usos preponderantes: Os principais usos da água desse aquífero são o doméstico e a irrigação.

Principais problemas relacionados ao uso da água: No vale do Gurguéia, porção sul do estado do Piauí, existem centenas de poços desprovidos de projetos construtivos adequados e de equipamentos de controle de vazão, aspectos que associados à ocorrência do artesianismo, gera grande desperdícios da água subterrânea. O principal aquífero da área é representado pela Formação Cabeças, responsável pela quase totalidade da produção e suprimento d'água da área. A Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Piauí, em parceria com a Agência Nacional de Águas, está desenvolvendo um projeto que visa implantar registros de controle de vazão, bem como fazer a recuperação das estruturas de proteção sanitária, em 30 (trinta) poços jorrantes localizados no vale do rio Gurguéia, perfurados em áreas dos municípios de Santa Luz, Alvorada do Gurguéia, Colônia do Gurguéia, Bom Jesus, e Cristino Castro, Este projeto trata da implantação de estruturas de controle de vazões (SEMAR, 2006). Os poços Violeto I e II foram contemplados em uma primeira fase (ANA, 2005a).

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Somente no vale do Gurguéia existem pelo menos 264 poços jorrantes, situados numa faixa de 30 km ao longo das margens do curso d'água.

Monitoramento existente: Como já mencionado, é feito o controle de vazões em poços situados no vale do Gurguéia, Piauí.

7.2.2.3. Sistema aquífero Potí-Piauí

O sistema aquífero Potí-Piauí aflora em grande parte do Estado do Piauí, alcançando o sul do Pará e o nordeste do Tocantins. Corresponde a um dos sistemas aquíferos de maior extensão na bacia do Parnaíba, possuindo área de exposição de 117.012 km². As condições livres são dominantes, mas apresenta-se também confinado. A espessura média da unidade é de 400 m (COSTA, 1994).

Aspectos Hidrodinâmicos: As vazões médias nas porções livre e semi-confinada são respectivamente, de 18 e 40 m³/h. As capacidades específicas médias encontram-se entre 1,4 (livre) e 2,57 m³/h/m (confinado). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são (COSTA, 1994): 1,7.10⁻³ m²/s de transmissividade, 1,7.10⁻⁵ m/s de condutividade hidráulica e 2,0.10⁻³ de coeficiente de armazenamento (condição de aquífero livre).

Aspectos Hidroquímicos: Apresenta águas de boa qualidade, com resíduo seco médio de 200 mg/L (COSTA, 1994).

Usos preponderantes: O principal uso das águas do sistema aquífero Poti-Piauí é o doméstico.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Não foram encontrados registros.

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

7.2.2.4. Sistema aquífero Motuca

O sistema aquífero Motuca é constituído por folhelhos e siltitos com intercalações de arenitos, calcários e argilitos. Em geral, é um aquífero de baixa capacidade, sendo explotado em condições livres, principalmente por poços manuais (10 a 15 m de profundidade). Aflora nos estados do Maranhão, Pará e Tocantins, em área de 10.717 km². Localmente tem suas águas captadas para uso o doméstico.

Aspectos Hidrodinâmicos: Apresenta capacidade específica média de 2,28 m³/h/m e vazão média de 16,3 m³/h (ANA, 2005a). Os parâmetros hidrodinâmicos médios para o sistema aquífero Pastos Bons/Motuca são (COSTA, 1994): $2,3 \cdot 10^{-4}$ m²/s de transmissividade, $3,6 \cdot 10^{-6}$ m/s de condutividade hidráulica e $2,0 \cdot 10^{-4}$ de coeficiente de armazenamento (condição confinada).

Aspectos Hidroquímicos: O resíduo seco, em geral é inferior a 400 mg/L, indicando águas de boa qualidade química (COSTA, 1994).

Usos preponderantes: O uso preponderante da água é para o abastecimento doméstico. Na região de Araguaina (TO), 80% do abastecimento é feito através de poços tubulares que captam, ao menos em parte, águas do aquífero Motuca.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Não foram encontrados registros.

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

7.2.2.5. Sistema aquífero Corda

A Formação Corda é formada por arenitos, siltitos e folhelhos, sendo que o aquífero denominado Corda refere-se aos níveis arenosos (psamíticos) dessa unidade. Ocorre em condições livre, semiconfinada e confinada, sendo mais explorado como semi-confinado onde apresenta melhores condições hidrodinâmicas. É aflorante no centro-sul do estado do Maranhão, extremo norte de Tocantins e na porção centro-oeste do Piauí, perfazendo cerca de 35.266 km² (ANA, 2005a). Apresenta uma espessura média de 160 m (COSTA, 1994).

Aspectos Hidrodinâmicos: Sua produtividade é média, tendo os poços a vazão específica entre 1 e 4 m³/h/m e vazão entre 5 e 25 m³/h para rebaixamentos de 25 m (LOPES, 2004). Apresenta capacidades específicas médias, respectivamente, de 1,59 e 1,86 m³/h/m, para as porções livres e confinadas. A vazão média dos poços é de 14,5 m³/h (ANA, 2005a). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são (COSTA, 1994): $8,0 \cdot 10^{-4}$ m²/s de transmissividade, $2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s de condutividade hidráulica e $4,0 \cdot 10^{-6}$ de coeficiente de armazenamento (condição confinada).

Aspectos Hidroquímicos: A água é de boa qualidade com média de resíduo seco de 400 mg/L (COSTA, 1994).

Usos preponderantes: O principal uso da água é para o abastecimento doméstico.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Não foram encontrados registros.

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

7.2.2.6. Sistema aquífero Itapecuru

O sistema aquífero Itapecuru é litologicamente formado por arenitos finos a muito finos, predominantemente argilosos, esbranquiçados, avermelhados e cremes, com níveis sílticos e argilosos, e grosseiros na base. Ocupa a região centro-nordeste do estado do Maranhão e uma faixa no leste do Pará, com uma área aflorante de 204.979 km². A recarga desse aquífero é realizada, principalmente, através de infiltração direta das precipitações pluviométricas e pelos rios que o drenam. Apesar da grande área de ocorrência, essa alimentação é, em parte, prejudicada pelo desenvolvimento de horizontes plínticos, que constituem verdadeiras barreiras hidrogeológicas (MONTES, 1997). É o aquífero mais explorado do Maranhão, sobretudo em São Luís e São José de Ribamar, que captam suas águas subterrâneas com poços de profundidades que variam, em média, entre 30 e 100 m.

Aspectos Hidrodinâmicos: As vazões variam de 5 a 12 m³/h (média de 12,3 m³/h), chegando, excepcionalmente, a atingir mais de 40 m³/h. A capacidade específica média é de 1,862 m³/h/m (ANA, 2005a). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são (COSTA, 1994): $2,3 \cdot 10^{-4}$ m²/s de transmissividade, $3,6 \cdot 10^{-6}$ m/s de condutividade hidráulica e $2,0 \cdot 10^{-3}$ de coeficiente de armazenamento (condição de aquífero livre).

Aspectos Hidroquímicos: Na cidade de Itapecuru as águas são predominantemente carbonatadas-cloretadas com predominância do tipo sódica (SOUSA, 2000; *apud* ANA, 2005a).

Usos preponderantes: É utilizado principalmente para a pecuária e abastecimento rural no interior do Estado do Maranhão, e para abastecimento doméstico na cidade de São Luís conjuntamente com o sistema aquífero Barreiras.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Não foram encontrados registros.

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

7.2.3. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná estende-se desde o centro-sul do Brasil até o norte do Uruguai, nordeste da Argentina, leste do Paraguai e da Bolívia. No território brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 1.100.000 km², englobando parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Comporta importantes sistemas aquíferos sedimentares, entre eles o sistema aquífero Guarani, um dos maiores mananciais subterrâneos do mundo, o sistema aquífero Serra Geral, sendo formado por rochas que constituem um dos mais expressivos derrames globais de lavas basálticas, que originam um sistema fraturado, além dos sedimentos dos grupos Bauru e Caiuá, os quais originam o sistema aquífero Bauru-Caiuá. Nas regiões da borda da bacia sedimentar, merecem destaque os sistemas aquíferos Furnas e Ponta Grossa (ANA, 2005a).

7.2.3.1. Sistema Aquífero Furnas

A Formação Furnas, unidade basal da Bacia Sedimentar do Paraná, é constituída por um espesso pacote de arenitos médios a grossos que gradam para o topo para areias finas micáceas. Os arenitos quartzosos são mais abundantes e apresentam variações feldspáticas, com impregnações de óxido de ferro, grau médio de seleção com grãos esféricos. O sistema aquífero Furnas é de natureza porosa, variando de livre a confinado, a depender da ocorrência de estratos sobrepostos. Entretanto, podem ocorrer porções consolidadas, de reduzido potencial hidrogeológica, em que a porosidade é

dada pela presença de falhas ou fraturas. Tem área de recarga estimada em 24.894 km², distribuída nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e São Paulo e Tocantins, com espessura média de 200 m.

Aspectos Hidrodinâmicos: Sob condições livres, a vazão média dos poços é de 17,4 m³/h e a capacidade específica média de 1,556 m³/h/m. Na porção confinada, a produtividade dos poços é similar à porção livre, com capacidade específica média de 1,510 m³/h/m (ANA, 2005a). Na cidade de Rondonópolis, o sistema aquífero Furnas constitui o principal reservatório de água subterrânea, com poços produzindo vazões que variam de 15 a 250 m³/h e com capacidade específica entre 3 a 28 m³/h/m (CUTRIM e REBOUÇAS, 2005).

Aspectos Hidroquímicos: As águas desse aquífero são caracterizadas pelo baixo grau de mineralização, com valor de sólidos totais dissolvidos entre 15 a 50 mg/L (MENDES *et al.*, 2002; *apud* ANA, 2005b).

Usos preponderantes: Os usos são, principalmente, domésticos e industriais. É bastante explorado na região sul do Estado do Mato Grosso, em especial nas cidades de Jaciara, Juscimeira, Rondonópolis, Campo Verde e Poxoréo. O município de Palmas (TO) é abastecido parcialmente por esse aquífero.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Nas proximidades de Juscimeira verifica-se a superexploração do aquífero termal que, sendo surgente, já exhibe depleção em alguns pontos.

Monitoramento existente: A Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso pretende implantar, ainda em outubro de 2008, o monitoramento em áreas de grande demanda, começando pela Região de Rondonópolis, Juscimeira e Jaciara.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Apenas no Estado do Mato Grosso há a estimativa da existência de 5.000 a 6.000 poços. Entretanto, não se conhece com precisão qual o número correspondente à captação exclusiva no sistema aquífero Furnas.

7.2.3.2. Sistema Aquífero Ponta Grossa

A Formação Ponta Grossa é formada, na base, por folhelhos e siltitos que passam a apresentar para o topo, intercalações de arenito fino a muito fino. Constitui um aquífero de baixa potencialidade, reduzida às camadas arenosas. Encontra-se sobrejacente à formação Furnas em toda a bacia do Paraná, aflorando nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraná, em área de 24.807 km². É explorado em condições livres, apresentando espessura média de 300 m (ANA, 2005a).

Aspectos Hidrodinâmicos: Os poços apresentam vazão média de 5,8 m³/h e capacidade específica média de 0,369 m³/h/m (ANA, 2005a).

Aspectos Hidroquímicos: Não foram encontrados registros a respeito da qualidade das águas do aquífero Ponta Grossa.

Usos preponderantes: As águas desse aquífero são utilizadas, principalmente, para o uso doméstico. Nas porções orientais do Estado do Tocantins e setor sudoeste do Estado de Goiás, o aquífero Ponta Grossa é explorado (juntamente com o aquífero Furnas) para atendimento de atividades industriais e agropastoris (SRH/MMA, 2006)

Principais problemas relacionados ao uso da água: Observa-se um aumento da demanda de águas subterrâneas, motivada pela busca por áreas agricultáveis, como vem acontecendo no nordeste goiano (Vale do Paranã, Província São Francisco) e nas áreas

arenosas do sudoeste goiano (Jataí e Rio Verde, Província Paraná). Na região sudoeste do Estado de Goiás, a utilização das águas subterrâneas da Província Paraná tem tido um aumento gradativo nos últimos anos, tanto para a atividade industrial como para o uso agropastoril (FGV; MMA; ANEEL, 1998; *apud* SRH/MMA, 2006). Dentre os mais importantes focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos pode-se destacar a disposição inadequada de resíduos urbanos, o lançamento de efluentes industriais sem controle; a expansão da atividade agrícola com o uso intensivo de insumos; a adoção de práticas de manejo inadequadas e a atividade extrativista da mineração sem controle (FGV; MMA; ANEEL, 1998; *apud* SRH/MMA, 2006).

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Os dados disponíveis não permitem determinar com precisão o número de poços que captam água exclusivamente desse sistema aquífero.

7.2.3.3. Sistema Aquífero Guarani

O sistema aquífero Guarani é a denominação dada à reserva de água existente em parte do subsolo da região do Mercosul. A reserva é imensa, com uma área total de 1.194.800 km². Além do Paraná, ele atravessa outros sete Estados brasileiros (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina). Também passa pela Argentina, Paraguai e Uruguai. No Brasil, a área do Aquífero Guarani é de 840.000 km², e no Estado do Paraná, de 131.300 km².

O sistema aquífero Guarani é composto por arenitos flúvio lacustrinos de granulação fina a média, localmente grossos e conglomeráticos, basais, exibindo estratificação cruzada planar ou acanalada e plano-paralela, com lâminas ricas em argila e silte (Formação Pirambóia) e por arenitos eólicos, de granulação média a fina, avermelhados, com grãos de alta esfericidade e bem selecionados, exibindo estratificação acanalada de grande porte (Formação Botucatu). Todo o pacote se assenta sobre o Grupo Passa Dois e se sotopõe aos basaltos da Formação Serra Geral. A espessura varia de 100 metros na área aflorante a até mais de 400 metros em sua parte mais confinada.

Trata-se de um aquífero do tipo regional confinado, uma vez que 90% de sua área está recoberta pelos espessos derrames de lavas basálticas da Formação Serra Geral. Suas áreas de recarga localizam-se nas bordas da bacia em faixas alongadas de rochas sedimentares que afloram à superfície. A alimentação do aquífero se dá por dois mecanismos: infiltração direta das águas de chuva nas áreas de recarga; e infiltração vertical ao longo de descontinuidades nas áreas de confinamento, num processo mais lento. No Estado do Mato Grosso do Sul, a superfície potenciométrica indica fluxos de água com para oeste, na área de afloramento, constituindo-se em região de descarga do aquífero, enquanto que já na área confinada os fluxos são para sudeste, não ocorrendo portanto recarga neste estado, que é proveniente de áreas de Goiás e do Paraguai.

Ao contrário de outros estados, no Rio Grande do Sul o Sistema Aquífero Guarani apresenta comportamento variado, tanto na porção livre, como na confinada, onde a profundidade pode ser superior a 1000 m.

Na região oeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre Alegrete, Santana do Livramento, Uruguaiana e Itaqui, ele apresenta as melhores características hidráulicas, com poços que captam até mais de 500 m³/h, sendo comuns poços para irrigação com 150 a 300 m³/h e capacidades específicas superiores a 10 m³/h/m.

Ao norte, na porção confinada pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, apresenta duas características distintas: nas áreas em que está sob influência do Domo

de Lages (SC) e nas menores cotas, apresenta um nível potenciométrico que permite a exploração de poços com até 200 m³/h. No restante da área, seu posicionamento estrutural é desfavorável, com níveis de águas muito profundos, tornando seu bombeamento antieconômico. Os poços de grande profundidade apresentam água termal.

Na porção leste, o sistema aquífero é muito mais argiloso e a produção de água é muito menor, em geral, não ultrapassando 3 m³/h. No Rio Grande do Sul, o Sistema Aquífero Guarani pode englobar também partes dos Aquíferos Rosário do Sul e Santa Maria. Em Santa Catarina é constituído apenas pelos Aquíferos Botucatu e Pirambóia.

O pacote arenoso que constitui o sistema aquífero Guarani pode apresentar espessura variando entre 50 e 800 m desde a borda aflorante até as regiões mais centrais da Bacia do Paraná.

Aspectos Hidrodinâmicos: Na borda ocidental da Bacia do Paraná, o aquífero é livre e os poços apresentam vazões aproximadas de 50 m³/h, mas a capacidade específica no geral é inferior a 1 m³/h/m; na faixa central (Campo Grande e Pontaporã) as vazões médias são da ordem de 150 m³/h; na porção de maior confinamento, as vazões são de até 350 m³/h. No Estado do Paraná, os poços perfurados nesse aquífero podem apresentar grandes vazões, da ordem de 1.000 m³/h. No geral, o nível estático varia de -1 a 260 metros de profundidade, a permeabilidade de 0,01 a 17,51 m/dia, a transmissividade de 1 a 78,29 m²/dia. Na porção livre, o coeficiente de armazenamento fica entre 10⁻³ e 10⁻¹, enquanto que nas porções confinadas, ele varia de 10⁻⁶ a 10⁻⁴.

Aspectos Hidroquímicos: As águas do sistema aquífero são do tipo Alcalina-Bicarbonatada-Cloro-Sulfatada-Sódica, com teores médios de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na faixa de 600 mg/L. Os teores são variáveis e apresentam os menores valores nas proximidades da área de recarga, da ordem de 120 mg/L e maiores nas proximidades da porção central da Bacia do Paraná, onde os valores de STD podem chegar a 1.800 mg/L. O aquífero também apresenta características termais, com temperatura média de 32°C, com grandes variações da borda de afloramento até as proximidades da calha do Rio Paraná onde existem registros de temperatura superior a 50°C. Teores excessivos de fluoretos podem ocorrer na porção confinada em profundidade.

Usos preponderantes: Abastecimento público, doméstico, industrial e irrigação. No Estado de São Paulo, os municípios de Ribeirão Preto e Bauru são abastecidos quase que integralmente por água do aquífero Guarani, sendo que o primeiro abriga cerca de 500.000 habitantes. Em termos volumétricos, o Estado de São Paulo extrai quase 2/3 da produção atual. O consumo atual é estimado em 0,5 km³/ano (CHANG, 2001, *apud* ANA, 2005a).

Principais problemas relacionados ao uso da água: Em Ribeirão Preto (SP), evidenciam-se problemas de interferência entre os cones de depressão dos poços, incluindo rebaixamentos importantes nos níveis d'água no centro da área urbana, em decorrência da grande quantidade de poços em exploração. Observa-se também um aumento do risco de contaminação das águas subterrâneas pelo incremento de fontes potencialmente poluidoras instaladas sobre o aquífero.

Em Santana do Livramento (Rio Grande do Sul) o regime de exploração do Aquífero Guarani, que se apresenta em condições livres, é muito intenso, tanto pelo órgão municipal, como pelos consumidores particulares (residências e indústrias). Os trabalhos realizados na região demonstraram que o aquífero exibe alta vulnerabilidade

natural e apresenta elevado risco de contaminação às diferentes cargas poluentes de superfície.

Também no Estado do Rio Grande do Sul, os extensos bombeamentos de poços realizados na cidade de Santa Cruz do Sul, que captam águas principalmente do aquífero Guarani (e secundariamente do aquífero Serra geral), têm conduzido ao decaimento dos níveis de água subterrânea, em especial na região do Distrito Industrial. Estima-se um rebaixamento a partir da década de 70, de cerca de 30 metros no nível piezométrico. Esta situação estimulou a formulação de um programa de cadastramento e controle de perfurações de poços tubulares dentro do território riograndense, servindo inclusive como modelo para novas ações em outros municípios.

Monitoramento existente: Está prevista a instalação de rede de monitoramento no Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, o que representa o primeiro esforço de monitoramento transfronteiriço de águas subterrâneas no país. Será constituída por poços representativos, existentes ou novos, e em funcionamento, tanto públicos ou privados. Na fase final deverá contar com aproximadamente 180 poços (ou 5% dos poços conhecidos). O conjunto deste conhecimento constituirá os critérios básicos de uma futura gestão participativa para o aproveitamento sustentável e proteção adequada do sistema aquífero (AMORE, 2006). No estado de São Paulo, a CETESB opera uma rede de monitoramento de qualidade de água onde o aquífero Guarani é contemplado com 38 pontos de controle.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Somente para o Estado de São Paulo são mencionados cerca de 2.500 poços situados em área de afloramento ou na borda da porção confinada do Aquífero Guarani (FGV, 1998; *apud* ANA, 2005a). Também é citada a existência de mais 300 poços localizados em áreas de maior confinamento. O banco de dados do SIAGAS-CPRM apresenta o registro de 1584 poços tubulares nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

7.2.3.4. Sistema aquífero Serra Geral

Compreende as rochas basálticas da Formação Serra Geral abrangendo uma área de afloramento de aproximadamente 102.000 km², subdividida em Unidade Serra Geral Norte (aproximadamente 64.000 km²) e Unidade Serra Geral Sul (38.000 km²).

Os derrames são geralmente conhecidos como efusivas basálticas ou simplesmente basaltos, independentemente de sua eventual variação litológica. Na porção sul e central da Bacia do Paraná as porções inferiores das suítes vulcânicas são, em geral, de composição básica. Em muitos locais, no topo dos derrames, é verificada a ocorrência de rochas ácidas, não raro porfiríticas, produtos da diferenciação magmática.

As espessuras dos derrames podem chegar a 1500 m. Sob essa espessa capa são encontradas as seqüências sedimentares da Bacia do Paraná. Imediatamente abaixo e em parte intercalados nos derrames, posiciona-se a Formação Botucatu, também do Grupo São Bento.

Uma das características marcantes das efusivas basálticas é o seu modo de ocorrência, constituindo empilhamentos sucessivos de lavas que formam, em regra, unidades tabulares individualmente bem definidas.

A circulação e acúmulo de água subterrânea nesta unidade são determinados pelas zonas de fraturamento e falhamentos, bem como pelas discontinuidades entre os derrames – zona vesículo-amigdaloidal. O aquífero ocorre, de modo geral, na condição livre e possui área de recarga de 411.855 km².

Aspectos Hidrodinâmicos: No estado do Mato Grosso Sul a capacidade específica dos poços varia de 0,1 a 61,5 m³/h/m, sendo que 58% apresenta vazões abaixo de 2 m³/h/m. Os valores de transmissividade são muito variáveis atingindo 1.176 m²/dia, mas os valores mais frequentes são de 30 m²/dia. Já no Estado do Paraná observam-se diferenciações na produção nas Unidades Serra Geral Norte e Sul. Para a primeira, a vazão média é de 18 m³/hora, enquanto que para a porção sul são significativamente mais baixas, de 10 m³/hora. A capacidade específica média para os poços que captam o aquífero Serra Geral em São Paulo é de 0,62 m³/h/m.

Aspectos Hidroquímicos: As águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (BITTENCOURT *et al.*, 2003; BUCHMANN FILHO *et al.*, 2002; *apud* ANA, 2005b) e apresentam sólidos totais dissolvidos entre 23 e 210 mg/L, com média de 103,27 mg/L. Os valores de pH variam entre 6,0 e 9,5, com média de 7,32 (BITTENCOURT *et al.*, 2003; *apud* ANA, 2005b). As águas bicarbonatadas sódicas, localmente encontradas, evidenciam a existência de condicionadores geotectônicos e morfotectônicos que seriam responsáveis pela mistura das águas dos aquíferos sotopostos, principalmente o Guarani (BITTENCOURT *et al.*, 2003; REGINATO e STRIEDER, 2004; *apud* ANA, 2005b).

Usos preponderantes: O principal uso da água desse sistema é para abastecimento doméstico. Corresponde ao aquífero de maior exploração nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Um outro aproveitamento das águas do aquífero Serra Geral é através de estâncias termais. No Estado de Santa Catarina, em Águas de Prata em São Carlos, Ilha Redonda em Palmitos, Águas de Chapecó e Quilombo, as águas atingem em média 38°C (FREITAS *et al.*, 2002; *apud* ANA, 2005b).

Principais problemas relacionados ao uso da água: No estado de Santa Catarina, importantes sedes municipais da região como Chapecó, Concórdia e São Miguel d' Oeste possuem uma grande concentração de poços, principalmente em edifícios residenciais. Na área urbana de Chapecó, onde se estima que existam mais de 300 poços, verificam-se vários casos de interferências entre poços, causando rebaixamento dos níveis do aquífero e diminuição nas vazões destes (FREITAS *et al.*, 2002; *apud* ANA, 2005a).

Monitoramento existente: A CETESB realiza o monitoramento regional de qualidade de água subterrânea no Estado de São Paulo. O aquífero Serra Geral possui 10 pontos de monitoramento, sendo analisados 40 parâmetros físico, químicos e biológicos e, localmente, substâncias tóxicas orgânicas das águas.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Existem cerca de 2.500 poços cadastrados no Banco de Dados Hidrogeológicos da SUDERHSA (estado do Paraná) na Unidade Serra Geral Norte e 550 poços na Unidade Sul. O banco de dados do SIAGAS-CPRM possui cerca de 21.000 cadastrados nos domínios desse aquífero.

7.2.3.5. Sistema Aquífero Bauru-Caiuá

Sistema aquífero composto por rochas dos grupos Bauru e Caiuá. O grupo Bauru é constituído por arenitos grosseiros e imaturos com nódulos e cimento calcíferos, além de bancos de arenitos finos com intercalações de lamitos e siltitos. O grupo Caiuá é formado de arenitos finos maciços com baixo teor de matriz. Estratigraficamente, situa-se sobre os basaltos da Formação Serra Geral, como topo das rochas sedimentares da Bacia do Paraná, com espessura média de 75 metros, podendo atingir até 300 metros.

O sistema aquífero Bauru-Caiuá é poroso e livre a semiconfinado com uma área aflorante de 353.420 km². Ocupa grande parte do oeste do Estado de São Paulo, a porção oriental do Estado de Minas Gerais e parte do Estado do Paraná.

Aspectos Hidrodinâmicos: Nas proximidades do Rio Paraná; o sentido do escoamento regional se dá para as principais drenagens como é o caso do Rio Tietê. A permeabilidade encontrada para as rochas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo varia de 0,1 a 0,4 m/dia e a transmissividade, de 10 a 50 m²/dia. Já as rochas do Grupo Caiuá exibem permeabilidade variável de 1 a 3 m/dia, e a transmissividade, de 100 a 300 m²/dia. A capacidade específica dos poços apresentou média de 0,57 m³/h/m. Admite-se um potencial hidrogeológico de 4,2 L/s/ km² para esta unidade no Estado de São Paulo.

Análise dos 840 poços cadastrados no Banco de Dados Hidrogeológicos da SUDERHSA (Estado do Paraná) revelou profundidade média 110 metros e vazão média de 18 m³/hora.

Rebouças (1980) encontrou para o Bauru, os seguintes parâmetros hidrodinâmicos médios: condutividade hidráulica de 10⁻⁶ a 10⁻⁵ m/s e, os coeficientes de armazenamento variam de 5.10⁻² a 15.10⁻², em condições de aquífero livre, e é de 10⁻³, sob condições confinadas.

Na região de Araguari, Minas Gerais, o aquífero Bauru apresenta os seguintes valores de parâmetros dimensionais (OLIVEIRA e CAMPOS, 2004): espessura saturada de 33 metros, espessura da zona vadosa variando de 7 a 36 metros, porosidade efetiva média de 15%, condutividade hidráulica variando de 5 x 10⁻⁶ a 1,6 x 10⁻⁴ m/s, com média de 3,1.10⁻⁵ m/s, transmissividade média de 9,6.10⁻⁴ m²/s, vazões médias de 19,5 m³/h e capacidade específica média de 1,3 m³/h/m.

Aspectos Hidroquímicos: A qualidade natural das águas atende aos requisitos de consumo humano e irrigação, sendo que para alguns tipos de usos industriais, necessitam de correção, principalmente da dureza e do pH no domínio das águas bicarbonatadas cálcicas (CAMPOS, 1988; *apud* ANA, 2005b). No Estado do Paraná, as águas caracterizam-se pela baixa mineralização, com sólidos totais dissolvidos em torno de 50 mg/L, pH entre 5,0 e 6,5 e são classificadas como bicarbonatadas cálcicas a mistas (MENDES *et al.*, 2002; *apud* ANA, 2005b).

Usos preponderantes: Seus usos predominantes são para abastecimento doméstico e industrial. Cerca de 80% do abastecimento público da região de abrangência do aquífero Caiuá é feito através de água subterrânea. Em algumas regiões o aquífero é intensamente explorado, como por exemplo, na cidade de São José do Rio Preto (SP), em que 70% da população é abastecida por água subterrânea. Também em Minas Gerais, a cidade de Araguari (cerca de 100.000 habitantes), tem seu sistema de abastecimento feito exclusivamente por água deste aquífero.

Principais problemas relacionados ao uso da água: O Bauru-Caiuá por ser um aquífero livre apresenta maior vulnerabilidade à contaminação por atividades poluidoras, especialmente aquelas decorrentes do desenvolvimento agrícola e industrial. Na rede de monitoramento do Estado de São Paulo, foi constatada a presença de elevadas concentrações de nitrato e de cromo nos poços de monitoramento (CETESB, 2004). A contaminação por nitrato foi associada a fontes difusas, tais como: aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços. As altas concentrações de cromo total, acima do padrão de potabilidade (0,05 mg/L), foram relacionadas por Almodovar (1999; *apud* ANA, 2005b) a origem natural derivada dos sedimentos da Formação Adamantina, uma das unidades que compõe o Grupo Bauru. Entretanto, sabe-se que justamente a região onde estas anomalias foram

detectadas existiu a disposição no solo, por várias décadas, dos resíduos da indústria de curtume contendo cromo (CETESB, 2004).

A exploração intensiva na cidade de São José do Rio Preto promoveu, entre a década de 70 e 90, o rebaixamento do nível de água do sistema aquífero Bauru-Caiuá em 10 metros (OLIVEIRA e WENDLAND, 2004; *apud* ANA, 2005a).

Monitoramento existente: A CETESB realiza o monitoramento regional de qualidade de água subterrânea no Estado de São Paulo. O aquífero Bauru possui 63 pontos de monitoramento, sendo analisados 40 parâmetros físico, químicos e biológicos e, localmente, substâncias tóxicas orgânicas das águas.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: O banco de dados do SIAGAS-CPRM possui 6500 poços cadastrados no Aquífero Bauru, nos Estados de São Paulo e Paraná.

7.2.4. Bacia Potiguar

Está localizada na porção extremo nordeste do Brasil, na margem costeira norte do Estado do Rio Grande do Norte e nordeste do Ceará, ocupando área de cerca de 25.000km². Apresenta como principais aquíferos as formações Açu e Jandaíra.

7.2.4.1. Sistema Aquífero Açu

A Formação Açu apresenta-se essencialmente arenosa na base, gradando para sedimentos mais pelíticos em direção ao topo. O sistema aquífero Açu corresponde a essa porção inferior, essencialmente arenosa, sendo constituído de arenitos predominantemente grosseiros a conglomeráticos na base, passando a arenitos médios na porção intermediária e arenitos mais finos no topo, com teor de argila continuamente crescente no sentido vertical. O sistema aquífero Açu é o mais importante da Bacia Potiguar, aflorando na sua borda sul ao longo de uma faixa marginal com largura variando entre cerca de 5 km, no extremo leste acerca de 20 km, no extremo oeste. Além das áreas onde aflora, este aquífero ocorre em todo o restante da bacia, capeado ora pela Formação Açu superior, ora pelos calcários Jandaíra. As águas se infiltram na zona de afloramento da Formação Açu e seguem de sul para norte em direção ao mar. O sistema aquífero Açu na sua zona de afloramento é referido como sendo do tipo livre. Nos demais domínios da Bacia Potiguar o mesmo apresenta condições de semi-confinamento, quando sotoposto pelas camadas argilosas da porção superior da Formação Açu e/ou porção basal da Formação Jandaíra. Ocupa área de 3.764 km².

Aspectos Hidrodinâmicos: As médias de vazão e capacidade específica são, respectivamente, de 24,9 m³/h e 2,925 m³/h/m (ANA, 2005a). Os poços profundos tendem a ser mais produtivos. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero, apresentados por Costa (1994) são 2,3.10⁻⁴m²/s de transmissividade, 7,5.10⁻⁶ m/s de condutividade hidráulica e 1,0.10⁻⁴ de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero confinado). Melo *et. al.* (2007) verificaram que a transmissividade do aquífero cresce no sentido de sul para norte segundo a direção do fluxo subterrâneo, com valores de menos de 10 m²/dia até 280 m²/dia, evidenciando, maiores potencialidades do sistema aquífero Açu na faixa norte da área.

Aspectos Hidroquímicos: As águas, em geral, são boas, podendo ser utilizadas para consumo humano, animal, industrial e outros, não havendo limitações quanto à qualidade.

Usos Preponderantes: O sistema aquífero Açu constitui o principal recurso hídrico disponível para o suprimento das populações com água potável e uso na irrigação,

desempenhando, um papel importante no desenvolvimento da região. É também verificada a industrialização, com o envase de água mineral.

Principais problemas relacionados ao uso da água: A intensa exploração do sistema aquífero Açú em Mossoró (RN) está causando o rebaixamento excessivo do nível potenciométrico e ocasionando eventuais perdas dos poços tubulares. Esta situação, caso perdure, pode gerar sérios prejuízos ao sistema de abastecimento de água. Ressalta-se, também, a grande concentração de poços nas áreas de recarga do sistema aquífero (cerca de 430 poços), que também correspondem a zonas de expressiva atividade agrícola. Pode-se prever, portanto, contaminações por nitratos ou defensivos agrícolas. A mesma situação é visível no vale do rio Jaguaribe, onde intensa irrigação é realizada a partir da exploração da água subterrânea. São conhecidos processos de salinizações de poços, construídos no arenito Açú, nas proximidades da cidade de Mossoró. A presença de hidrocarbonetos na Formação Açú é um aspecto importante a ser comentado, pois, dependendo do seu nível de ocorrência, poderá limitar as potencialidades do aquífero Açú.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Na área de recarga (exposição) são estimados cerca de 430 poços tubulares.

Monitoramento existente: Não há um programa de monitoramento formal para a área. Dados localizados em Mossoró (alguns poços da CAERN) são disponíveis, assim como baterias de medições na área de recarga, quase sempre em poços de bombeamento. Este procedimento não é ideal, devido aos vários filtros presentes, que misturam respostas de níveis diferentes (GOMES, 2002).

7.2.4.2. Sistema Aquífero Jandaíra

O sistema aquífero Jandaíra localiza-se na porção superior da seqüência carbonática da Formação Jandaíra, dispondo-se quase que de forma horizontal, com espessuras variando de 50 a 250 metros. Trata-se de um sistema aquífero essencialmente livre, heterogêneo, hidraulicamente anisotrópico e de circulação cárstica em seu interior. É limitado em sua porção inferior por sedimentos pouco permeáveis pertencentes à base da Formação Jandaíra e topo da Formação Açú, compostos por argilas arenosas, argilas siltosas, argilitos, folhelhos, margas, calcarenitos e calcários compactados, que funcionam como camadas confinantes ou semi-confinantes do aquífero Açú.

Aspectos Hidrodinâmicos: Os valores médios de vazão e capacidade específica são, respectivamente, de 6,2 m³/h e 4,453 m³/h/m (ANA, 2005). Por se tratar de um aquífero de natureza fissurado-carstica, cuja produção está diretamente relacionada às fendas e fraturas e à intensidade do processo de carstificação, apresenta produtividade extremamente variável. Os valores de transmissividade até hoje medidos em diversos pontos do estado variam muito, com valores entre 8 x 10⁻⁶ m²/s a 7 x 10⁻³ m²/s, sendo a média 8 x 10⁻⁴ m²/s (PROASNE, 2008).

Aspectos Hidroquímicos: As águas do sistema aquífero Jandaíra apresentam durezas em geral superiores a 200 mg/L (CaCO₃), e às vezes são salgadas (concentração de sais entre 1 e 5 g/L), sendo nesses casos aproveitadas apenas para consumo animal.

Usos Preponderantes: O sistema aquífero Jandaíra em virtude das vazões elevadas dos poços e da cobertura de solos de excelente qualidade tem sido intensamente utilizado para a irrigação de culturas de frutas na região da chapada do Apodi, na área limítrofe entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte-SERHID/RN apontam a ocorrência de rebaixamentos

acentuados, de até 21 metros, nos níveis estático e dinâmico dos poços tubulares que exploram esse aquífero na região de Baraúna (RN), em resposta à atividade de irrigação. Estes problemas motivaram a implantação de gerenciamento integrado do Aquífero Jandaíra.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: 670 poços registrados até 2004, conforme informação da SEMARH do Rio Grande do Norte.

Monitoramento existente: O nível d'água e a aspectos qualitativos de cem poços tubulares são monitorado periodicamente pela SEMARH do Rio Grande do Norte

7.2.5. Bacia Costeira Pernambuco-Paraíba

Estende-se desde a cidade do Recife prolongando-se por toda a costa do Estado da Paraíba e parte do Rio Grande do Norte a qual é encoberta discordantemente pelos sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, que em certas locais, constitui excelente aquífero, como verificado no Rio Grande do Norte e Paraíba. Nas áreas mais planas ou nos vales fluviais, ocorrem ainda os depósitos recentes de aluviões misturados a depósitos marinhos, colúvios retrabalhados e outros sedimentos de idade recente, os quais podem constituir, como na Planície do Recife, um aquífero de boa potencialidade, tendo como exemplo o aquífero Boa Viagem (COSTA, 1994).

O recurso hídrico subterrâneo mais importante desse domínio é o Aquífero Beberibe que vem sendo explorado, principalmente, pela empresa concessionária dos serviços de abastecimento de água do Estado – a COMPESA.

7.2.5.1. Sistema aquífero Beberibe

O sistema aquífero Beberibe é formado por uma seqüência de arenitos de granulação variada, contendo na base, clastos de natureza silicosa que gradam, progressivamente, para sedimentos calcíferos, no topo, chegando a atingir mais de 300 m de espessura, na faixa litorânea. A porção inferior da formação é caracterizada por arenitos continentais quartzosos, de granulação variável, com intercalações de siltitos e folhelhos. Na parte superior predominam arenitos duros, compactos, com abundante cimento calcífero (fácies litorânea). Corresponde a um aquífero confinado drenante, com forte anisotropia e permeabilidade vertical menor em relação à horizontal (CPRH, 2003).

As camadas sobrejantes, contínuas e selantes das Formações Gramame e Maria Farinha e a extensa cobertura da Formação Barreiras protegem o aquífero de contaminações salinas superficiais.

Aspectos Hidrodinâmicos: A produtividade do aquífero é elevada a média. Os poços que captam água desse aquífero possuem uma vazão específica média em torno de $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e vazões médias de $58 \text{ m}^3/\text{h}$.

Aspectos Hidroquímicos: Verifica-se uma estratificação química de suas águas, com águas cloretadas e mais agressivas, na porção inferior e águas carbonatadas com dureza elevada, na porção superior. A maior dureza na porção superior do aquífero restringe sua utilização para o abastecimento público.

Usos preponderantes: O sistema aquífero Beberibe constitui o principal manancial hídrico subterrâneo da Região Metropolitana do Recife e vem sendo amplamente utilizado no abastecimento das populações dos municípios de seu setor norte, além de suprir de água os parques industriais e recreativos (CPRH, 2003). Na região metropolitana de João Pessoa a AESA (2008) reconhece o sistema aquífero Beberibe

como de grande potencial hídrico, mas não dispõe de informações para determinar a relação da demanda com a disponibilidade de água subterrânea.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Atualmente, o sistema aquífero Beberibe vem sendo, em áreas restritas, superexplorado para o abastecimento do setor norte da Região Metropolitana de Recife, acarretando uma redução significativa de sua carga potenciométrica. Estudo hidrogeológico realizado pela empresa COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. (ABAS, 2002) demonstrou que o aquífero Beberibe apresenta déficit (diferença entre as entradas e saídas de água) de 1,38 m³/s na Planície do Recife e de 1,84 m³/s em Olinda. Algumas áreas de recarga do Beberibe são bastante vulneráveis à poluição, visto que em parte de sua porção aflorante, existem loteamentos não regularizados, moradias sem esgotamento sanitário ou grandes plantações de cana-de-açúcar, além de indústrias, postos de gasolina e disposição de resíduos urbanos sem controle hidrogeológico.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Não há registro do número de poços que captam água exclusivamente do sistema aquífero Beberibe. Entretanto, a concessionária de águas e esgotos do Estado de Pernambuco estima a existência de cerca de 15.000 poços somente nos municípios de Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Camaragibe.

Monitoramento Existente: Foi instalada uma rede de monitoramento telemétrico dos aquíferos para medição dos níveis de água e da condutividade elétrica (COSTA e COSTA FILHO, 2004) visando auxiliar o gerenciamento da água subterrânea em Recife.

7.2.6. Bacia do Araripe

Localiza-se no alto sertão nordestino nos limites dos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, possuindo uma área de aproximadamente 11.000 km². Constitui o divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE) ao norte, São Francisco (PE) ao sul e Parnaíba (PI) a oeste.

A bacia é formada por um vasto planalto, a Chapada do Araripe, e por planícies que circundam a chapada, com desníveis que chegam a 400 m. A Chapada do Araripe ocupa 73% da Bacia e compreende altitudes que variam de 1.000 m ao norte de Porteiras - CE, no setor oriental a 700 m nas imediações de Araripina - PE, a oeste.

Nesta região, os recursos hídricos subterrâneos constituem-se na mais importante fonte de água disponível, sendo que grande parte da demanda é atendida pela exploração do dos Aquíferos Missão Velha, Rio da Batateira e Abaiara (Sistema Aquífero Médio), e secundariamente, pelos Aquíferos Exu e Arajara (Sistema Aquífero Superior) e Aquíferos Mauriti e Brejo Santo (Sistema Aquífero Inferior).

7.2.6.1. Aquíferos Mauriti e Brejo Santo (Sistema Aquífero Inferior).

A Formação Mauriti é constituída por uma seqüência de arenitos claros, quartzosos e/ou feldspáticos, de granulometria média a grosseira, com grãos sub-angulares, mal selecionados. Geralmente são silicificados, principalmente em áreas próximas às falhas e no topo da unidade. O grau de litificação é um importante limitador da capacidade de acumulação de água subterrânea nesta unidade, sendo esta a razão pela qual exhibe, sobretudo nas fraturas, um comportamento semelhante ao do embasamento pré-cambriano (aquífero fissural). Quando friáveis, mostram-se com boa permo-porosidade.

A Formação Brejo Santo constitui-se, na base, por uma alternância bem estratificada de arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos, contendo, localmente, intercalações de

arenitos vermelhos. No topo, ocorrem argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons escuros estratificados e esporádicos leitos de folhelhos verdes. Assim como a Formação Mauriti, sua área de domínio acha-se restrita quase que exclusivamente, à porção da bacia correspondente ao Vale do Cariri. Excetuando-se o Vale do Cariri e a região localizada a oeste e ao sul da cidade de Nova Olinda (CE), esta formação é reconhecida apenas em sub-superfície, conforme atestam os poços 2-AP-1-CE e 4-BO-1-PE, perfurados pela CPRM e que a atravessam nas profundidades de 1.023 a 1.490 metros e 729 a 916 metros respectivamente.

O aquífero Mauriti possui área de exposição de 986 km², com o nível d'água entre 10 e 15 metros de profundidade.

Aspectos Hidrodinâmicos: As vazões são bastante variáveis, mas podem alcançar até 30m³/h (RIBEIRO *et al.*, 1996).

Aspectos Hidroquímicos: Não foram encontradas informações a respeito da qualidade da água nesse sistema aquífero.

Usos preponderantes: O abastecimento doméstico representa a principal modalidade de uso das águas desse sistema aquífero.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Não são descritas interferências quali-quantitativas nessa unidade aquífera.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: O banco de dados do SIAGAS – CPRM apresenta 312 poços perfurados no sistema Mauriti-Brejo Santo.

7.2.6.2. Aquíferos Missão Velha, Rio da Batateira e Abajara (Sistema Aquífero Médio)

A Formação Missão Velha aflora única e exclusivamente no Vale do Cariri sendo constituída de arenitos grosseiros, mal selecionados, de coloração esbranquiçada ou amarelada, mostrando estratificação cruzada e leitos conglomeráticos. Na Chapada do Araripe é recoberta pelos sedimentos da Formação Abaiara, que cria condições de confinamento. Entretanto, no geral, a exploração ocorre geralmente em condições livres.

A Formação Abaiara é composta por alternâncias bem estratificadas de arenitos micáceos cinza, amarelos ou avermelhados, predominantemente finos, argilosos e semi-friáveis com siltitos, argilitos e folhelhos de cores variegadas.

Litologicamente a Formação Rio da Batateira é composta por bancos de arenitos fluviais médios a grosseiros, gradando, ascendentemente, para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e se encerra com uma seção de folhelhos negros, orgânicos, fossilíferos.

O Sistema Aquífero Médio, composto pelas três formações, possui espessura de aproximadamente 500 metros e ocupa uma superfície aflorante de 1.058 km². É considerada a unidade aquífera mais importante da região em termos de potencial de exploração. Atualmente é o aquífero mais perfurado e explorado do Cariri.

Aspectos Hidrodinâmicos: A Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE opera com poços que possuem, em média, 133 metros e capacidade específica de 1,26 m³/h/m. As maiores vazões alcançam até 300 m³/h. Sua permeabilidade média é de 4,99.10⁻⁵ m/s, e a transmissividade situa-se em torno de 4,93.10⁻³ m²/s.

Aspectos Hidroquímicos: A qualidade da água do Aquífero Missão Velha não impõe restrições para o consumo humano, exigindo apenas, em alguns casos, a adoção da técnica de aeração para a remoção do ferro.

Usos preponderantes: O uso principal é para abastecimento doméstico, destacando-se as cidades de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, no Ceará, como aquelas que mais se utilizam das águas subterrâneas desse sistema aquífero.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Alguns fatores ameaçam a integridade das águas do aquífero Missão Velha destacando-se (COGERH, 2001): a perfuração indiscriminada de poços, a ausência de saneamento básico; as atividades agrícolas e industriais e os poços abandonados e/ou mal construídos, que associados a alta vulnerabilidade natural desta unidade aquífera destacam a necessidade da implantação de instrumentos de gestão que favoreçam a exploração racional deste aquífero. Verifica-se a superexploração no Vale do Cariri, principalmente nos municípios de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte devido a alta densidade demográfica e elevado consumo para abastecimento e para irrigação. Já se fala em colapso no sistema de abastecimento d'água, sendo esta uma das áreas mais críticas da região. Ocorrências de amônio e nitrato elevados são conhecidas e relacionadas à carga de esgotos domésticos na região. Em 57 pontos monitorados, 14 apresentaram valores de nitrato acima do limite para potabilidade (TEIXEIRA *et al.*, 2004, *apud* ANA, 2005b). As áreas críticas foram classificadas por Veríssimo (1999) em três índices de vulnerabilidade e dois níveis de carga poluidora. As zonas de maior risco ambiental concentram-se na zona urbana de cada município, com uma atuação mais elevada na região de Juazeiro do Norte (Ceará).

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Encontram-se registrados no banco de dados do SIAGAS-CPRM, somente nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha, 853 poços.

Monitoramento existente: Não há registros de monitoramento sistemático. A COGERH apresentou ao BIRD, em 2007, um plano de monitoramento e gestão dos aquíferos da Bacia do Araripe. Neste plano, está previsto o monitoramento de nível d'água (níveis estático e dinâmico) e de vazões de 20 poços tubulares.

7.2.6.3. Aquíferos Exu e Arajara (Sistema Aquífero Superior)

A Formação Arajara litologicamente é composta por siltitos, argilitos, arenitos finos argilosos e/ou caulínicos, bem estratificados, exibindo estruturas sedimentares e coloração variegada. A espessura da formação, levando-se em conta os dados de superfície, é difícil de ser estimada, haja vista que na maioria das vezes, encontra-se recoberta por depósitos de talus provenientes dos arenitos da Formação Exu.

A Formação Exu é a unidade estratigráfica que encerra a seqüência paleo-mesozóica da Bacia Sedimentar do Araripe, constituindo uma capa contínua em toda extensão da chapada, representada por uma seqüência monótona de arenitos vermelhos friáveis, argilosos, em geral caulínicos, de granulometria variável, contendo, por vezes, vezes, leitões intercalados de arenitos grosseiros a conglomeráticos. As espessuras aflorantes desta formação são variáveis, atingindo valores máximos (150 a 200 metros) na parte leste da chapada e valor mínimo, em torno de 100 metros, na extremidade oeste.

Esse sistema aflora por cerca de 6.397 km² e localiza-se no topo da Chapada do Araripe. A porção superior apresenta condições hidrogeológicas mais favoráveis, com maior permeabilidade. O aquífero é predominantemente livre.

Aspectos Hidrodinâmicos: Os valores médios de vazão e capacidade específica são, respectivamente de 6,0 m³/h e 7,92 m³/h/m (ANA, 2005a). A condutividade hidráulica determinada pelo DNPM (1996, *apud* ANA, 2005a) é de 3.10⁻⁵ m/s.

Aspectos Hidroquímicos: São águas de boa qualidade, exibindo baixas concentrações de sais dissolvidos, condutividade elétrica entre 11 e 24 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e pH ácido com valores entre 5,2 e 5,5 (SANTIAGO *et al.*, 1988, *apud* ANA, 2005b).

Usos preponderantes: O uso principal do manancial é para o abastecimento doméstico, podendo, locamente, ser utilizado para irrigação de pequenas lavouras.

Principais problemas relacionados ao uso da água: A principal fonte de contaminação corresponde aos “barreiros”, que são escavações utilizadas para armazenar águas de chuva. As águas armazenadas apresentaram concentrações de nitrato acima dos valores de potabilidade (10 mg/L) e foi identificada presença de coliformes fecais e *Escherichia coli*. Estes aspectos químicos devem-se às precárias condições sanitárias desses reservatórios, que não possuem medidas de controle do acesso de pessoas e animais, e representam, portanto, fontes contínuas de contaminação das águas subterrâneas (MENDONÇA *et al.*, 2000; *apud* ANA, 2005b).

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Não foram encontrados registros quanto ao número de poços que captam exclusivamente esse sistema aquífero.

7.2.7. Bacias do Jatobá-Tucano-Recôncavo

As bacias do Jatobá-Tucano-Recôncavo abrangem parte dos estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia. Nas bacias Jatobá e Tucano o principal sistema aquífero é formado pelas formações Tacaratu e Inajá. Os aquíferos associados às formações Marizal e São Sebastião destacam-se na bacia do Recôncavo e também exercem papel secundário, mas ainda significativo para o abastecimento na bacia de Tucano.

A Formação Tacaratu, representa a porção basal do Grupo Jatobá. É formada, por arenitos esbranquiçados a róseos, médios a grosseiros, heterogêneos, de grãos subangulosos e subarredondados, por vezes pintalgado de caulim e até com níveis caulínicos, configurando-se num aquífero de boa potencialidade hidrogeológica. A espessura média desse aquífero é de cerca de 200 m (COSTA, 1994). Apresenta condições de confinamento quando sobreposto pelo aquífero Inajá.

A Formação Inajá é constituída, basicamente, de clásticos (arenito, siltito e folhelho) de cores claras, geralmente finos a sílticos de grãos arredondados, micromicáceos, compactos e com partes contendo algum carbonato. Faz parte de um sistema aquífero com a Formação Tacaratu. O aquífero Inajá é poroso, variando de condição livre a confinada, e tem espessura média de 300 m (COSTA, 1994).

O sistema aquífero Marizal, de idade cretácica, ocorre nas bacias Recôncavo e Tucano, recobrando parte expressiva da primeira. Constitui-se de arenitos grossos com níveis sílticos, além de conglomerados em sua porção basal. À porosidade primária intersticial se sobrepõe uma porosidade secundária fissural, resultado da atuação de importantes eventos deformacionais de natureza rúptil. A área de exposição é de 18.797 km^2 , ao longo de uma faixa de direção norte-sul, localizada na porção oriental do estado da Bahia. Encontra-se sobreposto à Formação São Sebastião.

O sistema aquífero São Sebastião, também de idade cretácica é formado por termos arenosos com intercalações argilosas. Aflora em grande parte na Bacia Sedimentar do Recôncavo, porção sudeste da Bahia e ocorre encoberta na Bacia do Recôncavo.

Aspectos Hidrodinâmicos: As vazões no sistema aquífero Tacaratu variam entre 4 a 30 m^3/h , com média de 5,6 m^3/h . A capacidade específica média é de 0,860 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. O aquífero Inajá, nas porções livres, apresenta vazão média de 3,5 m^3/h e a capacidade específica média de 0,474 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Já nos setores confinados, a produtividade melhora,

atingindo valores médios para vazão e capacidade específica, respectivamente, de 20,1 m³/h e 1,587 m³/h/m. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero Inajá/Tacaratu, determinados por Costa (1994), são: 4,0.10⁻⁴ m²/s de transmissividade, 6,0.10⁻⁶ m/s de condutividade hidráulica e 2,0.10⁻⁴ de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero confinado) (COSTA 1994).

O sistema aquífero Marizal apresenta, nas porções não confinadas, vazão média é de 21,3 m³/h e a capacidade específica média é 2,13 m³/h/m. Nas porções confinadas os valores médios de vazão e capacidade específica são, respectivamente, de 15,1 m³/h e 2,00 m³/h/m (ANA, 2005a). Tais valores indicam o bom potencial hidrogeológico do aquífero.

O sistema aquífero São Sebastião possui elevada produtividade, tanto nas áreas livres como naquelas confinadas. A vazão e a capacidade específica médias, para as porções livres, são respectivamente de 23,7 m³/h e 2,88 m³/h/m e para as zonas confinadas, de 40,4 m³/h e 2,367 m³/h/m. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero, apresentados por Costa (1994), são: 3,5.10⁻³ m²/s de transmissividade, 1,2.10⁻⁵ m/s de condutividade hidráulica e 2,0.10⁻⁴ de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero confinado).

Aspectos Hidroquímicos: As águas do sistema Tacaratu-Inajá exibem salinidade relativamente alta com média de condutividade elétrica de 900µS/cm. Tanto o aquífero Marizal quanto o aquífero São Sebastião, possuem, de modo geral, águas de boa qualidade.

Usos preponderantes: Os principais usos para as águas do sistema aquífero Tacaratu-Inajá são o abastecimento doméstico e a irrigação. A cidade de Salvador tem parcela importante de seu abastecimento dependente do aquífero São Sebastião, bem como a cidade de Camaçari, onde o manancial é explorado também para uso industrial.

Principais problemas relacionados ao uso da água: A exploração do sistema aquífero Tacaratu-Inajá está sendo feita de forma intensiva. Na Bahia são extraídos grandes volumes de água para irrigação, em especial nos municípios de Tucano, Ribeira do Amparo, Cícero Dantas, Banzaê, Cipó e Ribeira do Pombal, no nordeste do estado. Existem programas governamentais de incentivo e expansão desse pólo hortícola. Uma das principais questões quanto ao incremento na exploração refere-se ao conhecimento ainda precário quanto às profundidades dos aquíferos Tacaratu e Inajá, e consequentemente da produtividade e reservas dos mesmos. Há riscos de contaminação em áreas de alta vulnerabilidade (zonas de afloramento dos aquíferos / zonas de recarga). Estudos realizados pela UFBA revelaram que os efluentes domésticos e urbanos provenientes de postos de gasolina e garagens de ônibus e caminhões são os principais agentes de contaminação antrópica das águas subterrâneas de Salvador. O monitoramento realizado na região do pólo industrial de Camaçari revelou rebaixamento do nível d'água o que conduziu a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia a realizar um trabalho para promover uma maior disciplina no uso das águas na região.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: O banco de dados SIAGAS/CPRM registra a existência de mais de 1.500 poços na área de ocorrência desse sistema aquífero.

Monitoramento existente: No Pólo Industrial de Camaçari, que utiliza o aquífero São Sebastião, o Programa de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (PGRH) tem cadastrado uma rede de poços para o monitoramento das águas subterrâneas, em número total de 938 poços, sendo (WERLANG *et al.*, 2006): 642 poços de

monitoramento (PM); 119 poços de monitoramento multiníveis (PMM); 6 poços de monitoramento multiníveis profundos (PMMP); 01 poço de monitoramento multinível sentinela (PMMS); 156 poços de produção (PP) e 14 poços de extração (PE) no sistema Barreira Hidráulica do Pólo. Esta rede inclui 13 poços de monitoramento e 45 poços de monitoramento multiníveis na planície de inundação do rio Imbassaí, com o objetivo de avaliar a qualidade química das águas de descarga, além das possíveis trocas entre águas superficiais e subterrâneas naquela área. As frequências de amostragens desses poços são semestrais, anuais ou quadrimestrais.

7.2.8. Sistema Aquífero Barreiras

O sistema aquífero Barreiras tem ampla distribuição na costa brasileira, adentrando-se também no interior de Minas Gerais e Bahia. Aflora de forma descontínua ao longo da costa brasileira em área de cerca 176.532 km². É constituído de sedimentos continentais costeiros de idade Terciária (Mioceno-Plioceno), que formam extensos tabuleiros, freqüentemente cortados por falésias junto a linha de costa. Os principais constituintes litológicos na área são arenitos maduros, arenitos conglomeráticos com intercalações de siltitos e folhelhos, variando de alguns centímetros a dezenas de metros. A espessura do pacote sedimentar é superior a 150 metros, com média de 60 metros (COSTA, 1994). Comporta-se como aquífero livre, mas a existência de níveis pelíticos pode criar condições locais confinadas. Tem grande participação no abastecimento de várias capitais brasileiras, particularmente das capitais litorâneas como Belém, São Luís, Fortaleza, Natal e Maceió. É explotado também nas porções norte dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Aspectos Hidrodinâmicos: A variabilidade litológica do sistema aquífero Barreiras ocasiona permeabilidade e transmissividade, e consequentemente, potencialidade, também variáveis. A porção livre desse sistema tem poços com vazão média de 23,4 m³/h. Já a capacidade específica tem valor médio de 2,158 m³/h/m. Na parte confinada, o valor médio para vazão e capacidade específica são, respectivamente, de 103,4 m³/h e 4,508 m³/h/m, indicando produtividade boa a elevada (ANA, 2005a).

Aspectos Hidroquímicos: O sistema aquífero Barreiras apresenta, de modo geral, águas de boa qualidade química caracterizada por baixa mineralização (conteúdo médio de sólidos totais dissolvidos inferior a 150 mg/L). É comum, entretanto, a ocorrência de elevadas concentrações de ferro que exigem a adoção de técnicas apropriadas de tratamento.

Usos preponderantes: Os principais usos correspondem, nas áreas urbanas, ao abastecimento humano, hospitalar e industrial. No norte do Estado do Espírito Santo, é utilizado, em menor escala, para irrigação.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Nas cidades de Belém, Natal e Fortaleza são encontradas concentrações de nitrato acima do limite de potabilidade. Esta contaminação está relacionada aos efluentes líquidos (principalmente esgotos domésticos) das águas superficiais que interagem com as águas subterrâneas, à presença de fossas negras e inexistência de saneamento básico. A estes fatores se somam a a pequena profundidade do nível, muitas vezes inferior a 5 metros e algumas vezes subafiorante. A exploração intensiva em alguns locais, na região litorânea, tem promovido salinização da água configurando avanço da cunha salina. Essa situação é verificada em Maceió e em algumas cidades no norte do Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Os altos teores de ferro acarretam diversos problemas: gosto metálico nas águas produzidas, manchas em roupas e em instalações hidráulicas, incrustações nas bombas,

nos filtros dos poços e nos materiais de revestimento, provocando diminuição de vazões e redução da vida útil dos poços (MATTA, 2002; *apud* ANA, 2005b).

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Em Maceió, os sistemas Barreiras e Barreiras/Marituba respondem por 81% do abastecimento de água da população através de mais de 400 poços profundos (NOBRE e NOBRE, 2000; *apud* ANA, 2005a.). No norte do Estado do Espírito Santo cerca de 450 poços captam água do sistema aquífero Barreiras e dos aquíferos relacionados aos sedimentos quaternários (MOURÃO *et al.*, 2002)

7.2.9. Sistema Aquífero Urucuia – Areado

O Sistema Aquífero Urucuia representa um manancial subterrâneo de extensão regional, composto por subtipos de aquíferos inter-relacionados. O aquífero é constituído de quartzo arenitos e arenitos feldspáticos eólicos, bem selecionados, com presença de níveis silicificados, e em menor proporção níveis conglomeráticos, relacionados ao Grupo Urucuia, Neocretáceo da Bacia Sanfranciscana, cobertura fanerozóica do Cráton São Francisco. O Grupo Urucuia distribui-se pelos estados da Bahia, Tocantins, Minas Gerais, Piauí, Maranhão e Goiás, ocupando área estimada de 120.000 km². Deste total, cerca de 75-80% encontra-se na região oeste do Estado da Bahia. As espessuras das rochas do Grupo Urucuia variam da ordem de 100 a 600 metros. Estudos efetuados por Bomfim e Gomes (2004), com auxílio de geofísica, demonstraram que as profundidades podem atingir 1500 metros.

Toda a região de ocorrência do aquífero, denominada “Chapadão do Urucuia”, vem experimentando a partir da década de 80, acentuado processo de expansão agro-industrial, o que a torna, em termos econômicos e sociais, uma área de fundamental importância no desenvolvimento do país. As culturas predominantes nos chapadões são a soja, café, algodão e milho, estes três últimos, normalmente irrigados (BOMFIM e GOMES, 2004).

Existe um eixo divisor longitudinal que separa o fluxo subterrâneo para o oeste (bacia hidrográfica do Tocantins) e para leste (bacia hidrográfica do São Francisco). À oeste do divisor há um aumento progressivo da profundidade da superfície potenciométrica, caracterizada por níveis estáticos profundos (GASPAR, 2006). São encontrados quatro subtipos de aquíferos no Sistema Urucuia (GASPAR, 2006): aquífero livre regional; aquífero suspenso local; aquífero confinado ou semiconfinado e aquífero livre profundo.

Aspectos Hidrodinâmicos: Os parâmetros hidrodinâmicos são os seguintes (GASPAR, 2006): condutividade hidráulica (K) de 10^{-6} a 10^{-7} m/s e transmissividade (T) de 10^{-4} a 10^{-5} m²/s para o aquífero livre regional; $K=10^{-6}$ m/s e $T=10^{-3}$ m²/s para o aquífero livre profundo; $K=10^{-5}$ m/s, $T=10^{-3}$ a 10^{-2} m²/s e coeficiente de armazenamento (S) de 10^{-4} para o aquífero confinado ou semiconfinado.

Aspectos Hidroquímicos: As águas do sistema aquífero Urucuia-Areado, em Minas Gerais, são de boa qualidade, predominantemente bicarbonatadas cálcicas, pouco mineralizadas, com condutividade elétrica média de 82,2 µS/cm, e com pH inferior ou igual a 7, média de 6,75 (MOURÃO *et al.*, 2001).

Usos preponderantes: No oeste do Estado da Bahia e norte do Estado de Minas Gerais o uso principal corresponde à irrigação. O abastecimento doméstico é também importante em determinados locais.

Principais problemas relacionados ao uso da água: As culturas de café, algodão e milho nos chapadões do oeste da Bahia são irrigadas em parte com a exploração de água subterrânea. A exigência de água é grande o que pode provocar interferências significativas nos níveis d'água. Além disso, há a preocupação com a contaminação difusa resultante da aplicação de defensivos agrícolas. GASPAR (2006) sugere para a gestão da água subterrânea do aquífero Urucuia-Areado os seguintes procedimentos: monitoramento sazonal dos níveis estáticos; implantação efetiva da outorga pra todos os poços; cadastramento universal do número e tipos de usuários da água subterrânea; implantação da cobrança pelo uso da água; melhoria na fiscalização ambiental no que tange à manutenção das reservas legais; realização de campanhas educativas quanto ao uso racional e valor econômico da água e incentivo à aplicação da técnica de captação da água da chuva e armazenamento para uso na pulverização ou para usos menos exigentes.

Monitoramento existente: No estado do Tocantins, o uso intensivo de agroquímicos em culturas instaladas nos domínios do aquífero Urucuia-Areado conduziu a Secretaria dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente, juntamente com o gestor Naturatins, a elaborar projeto de monitomento abrangendo a região centro-leste do Estado. O projeto será financiado pelo Banco Mundial e está com início previsto para 2009.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Os dados disponíveis não permitem determinar com precisão o número de poços que captam água exclusivamente desse sistema aquífero.

7.2.10. Sistema Aquífero Boa Vista

Constitui-se de sedimentos cenozóicos (65 Ma.), representados por arenitos conglomeráticos e arcoseanos. Ocorre na porção nordeste do estado de Roraima, aflorando por cerca de 14.888 km², com espessura máxima estimada em 120 m. Apresenta-se, em geral, em condições livres.

Aspectos Hidrodinâmicos: Os poços apresentam vazão média de 50,0 m³/h e elevada capacidade específica média, que pode atingir 5,8 m³/h/m.

Aspectos Hidroquímicos: Não foram encontrados dados a respeito da qualidade das águas desse aquífero.

Usos preponderantes: É importante fonte de abastecimento para a cidade de Boa Vista.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Não foram encontrados registros.

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: No município de Boa Vista, encontram-se cadastrados, no banco de dados SIAGAS-CPRM, 110 poços tubulares, sendo 70 pertencentes à Companhia de Água e Esgoto de Roraima e 40 de particulares.

7.2.11. Sistema Aquífero Parecis

É constituído por arenitos cretácicos com intercalações de níveis de conglomerado e lentes pelíticas. Esse sistema aflora no oeste de Mato Grosso e na extremidade leste do estado de Rondônia, ocupando cerca de 88.157 km² com espessura média de 150 m (ANA, 2005a). Corresponde a um aquífero livre, com condições locais de semiconfinamento conferido por níveis argilosos ou coberturas lateríticas.

Aspectos Hidrodinâmicos: Apresenta excelente produtividade, com vazão média de 146,9 m³/h e capacidade específica média de 8,830 m³/h/m (ANA, 2005a).

Aspectos Hidroquímicos: Não foram encontrados dados a respeito da qualidade das águas desse aquífero.

Usos preponderantes: O uso principal das águas desse aquífero é para o abastecimento doméstico, com destaque para a cidade de Vilhena (RO), integralmente suprida por esse manancial. No norte do Estado do Mato Grosso, o aquífero Parecis abastece a região e as cidades de Sinop, Sorriso e Lucas do Rio Verde.

Principais problemas relacionados ao uso da água: Não foram encontrados registros.

Monitoramento existente: Não foram encontrados registros.

Numero estimado de poços que captam água do aquífero: Os dados disponíveis não permitem determinar com precisão o número de poços que captam água exclusivamente desse sistema aquífero.

7.3. Síntese dos Usos e Demandas dos Principais Aquíferos no Brasil

A análise da relação demanda e disponibilidade para os recursos hídricos subterrâneos foi feita pela ANA (2005a) com base no conceito criado de “vazão de retirada potencial” que corresponde ao volume de água retirado pelos municípios situados sobre a área de recarga dos aquíferos. Por meio desse indicador foram definidas as condições de exploração dos aquíferos evidenciando aqueles que possuem potencial de abastecimento das demandas locais de água e também aqueles que se encontram em provável situação de sobreexploração. Quanto aos resultados obtidos foi feita a ressalva de que estes devem ser entendidos apenas como uma tendência geral, visto que os aquíferos não são homogêneos e as condições de recarga e escoamento variam fortemente dependendo dos aspectos geológicos, climáticos e geomorfológicos. Além disso, a avaliação foi feita apenas para as áreas de exposição (recarga) dos aquíferos, desconsiderando as zonas confinadas intensivamente exploradas no caso dos sistemas aquíferos Beberibe, Guarani e Serra Grande.

A planilha apresentada pela ANA (2005a) contendo os resultados do balanço entre vazão de retirada (demanda) e disponibilidade hídrica foi complementada com informações referentes ao conhecimento a respeito de interferências reais ou iminentes e a existência de monitoramento (Tabela 6).

Os dados apresentados na Tabela 6 indicam que a demanda de água subterrânea pode ser atendida por quase todos os aquíferos. Entretanto, observa-se que existem aquíferos com relações muito altas entre a vazão de exploração e a reserva explorável (células sombreadas). São eles: Sistemas Aquíferos Açu, Jandaíra, Motuca, Beberibe, Marizal, Inajá, Tacaratu, Exu, Missão Velha e Bambuí. Percebe-se haver correspondência entre esses valores e a existência de interferências quantitativas no aquífero em decorrência da exploração intensiva.

Tabela 6. Relação da demanda versus disponibilidade de água subterrânea e aspectos de uso dos principais aquíferos do Brasil.

Sistema Aquífero	Bacia Sedimentar	Abrangência	Monitoramento Estadual	Interferências qualitativas ou quantitativas identificadas	Vazão de Retirada Potencial (m3/s)	Reserva Explotável (m3/s)	Vazão de Retirada Potencial/Reserva Explotável (%)
Solimões	Amazonas	Estados do Amazonas e Acre	Não	Qualitativas - Rio Branco (AC)	3,3	896,3	0,4
Alter do Chão	Amazonas	Estados do Pará e do Amazonas	Não	Qualitativas - Áreas Urbanas (Belém, Manaus, Santarém)	15,5	249,5	6
Boa Vista	Tucutu	Estado de Roraima	Não	-	1,9	32,4	6
Parecis	Parecis	Estados do Mato Grosso e Rondônia	Não	-	13,2	464,8	3
Jandaíra	Potiguar	Estados do Rio Grande do Norte e Ceará	Rio Grande do Norte (nível d'água e qualidade)	Quantitativas - Rio Grande do Norte	11,2	6,1	185
Açu	Potiguar	Estados do Rio Grande do Norte e Ceará	Mossoró (RN - nível d'água)	Quantitativa - Mossoró (RN) e Vale do Rio Jaguaribe (CE) Qualitativa - zonas agrícolas em áreas de afloramento (RN)	9,8	2,1	476
Itapecuru	Parnaíba	Estados do Maranhão e Pará	-	-	17,9	214,8	8
Corda	Parnaíba	Estados do Maranhão, Tocantins e Piauí	-	-	7,4	9,2	81
Motuca	Parnaíba	Estados do Maranhão e Pará	-	-	3,6	3	119
Poti-Piauí	Parnaíba	Estados do Piauí, Pará e Tocantins	-	-	13,5	130	10
Cabeças	Parnaíba	Estados do Piauí e Tocantins	Vale do Gurgueia - controle de vazões do poços (a ser implantado)	Quantitativo - Vale do Gurgueia (PI)	5,7	7,2	79
Serra Grande	Parnaíba	Estados do Piauí e Ceará	-	Quantitativo - Cidade de Picos (PI)	7,3	12,7	58
Barreiras	Barreiras	Costa Brasileira, interior do Estado da Bahia e Estado de Minas Gerais	-	Qualitativo - Belem, Natal, Fortaleza. Qualitativo e Quantitativo - Maceió, Norte do ES e Norte do RJ.	147,2	217	68
Beberibe	Pernambuco-Paraíba	Estados do Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte	Recife - Nível d'água e Condutividade Elétrica	Quantitativo e Qualitativo - Recife	9,4	0,4	2255
Marizal	Tucano e Recôncavo	Estado da Bahia	-	-	7,1	7,2	99
São Sebastião	Tucano e Recôncavo	Estado da Bahia	Polo Industrial de Camaçari - Nível d'água e Qualidade	Quantitativo - Polo Industrial de Camaçari	1,6	8,2	19
Inajá	Jatobá e Tucano	Estado da Bahia	-	Quantitativo - pólos agrícolas (municípios de Tucano, Ribeira do Amparo, Cícero Dantas, Banzaê, Cipó e Ribeira do Pombal)	2	0,3	643
Tacaratu	Jatobá e Tucano	Estado da Bahia	-	-	8,7	2,9	300
Exu	Araripe	Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí	-	Qualitativo - zonas rurais (estruturas precárias de armazenamento de água pluvial)	3,7	0,6	583
Missão Velha	Araripe	Estado do Ceará	-	Quantitativo e Quantitativo - Vale do Cariri (CE)	4,5	0,2	2380
Uruçuia-Areado	Uruçuia	Estados da Bahia, Tocantins, Minas Gerais, Piauí, Maranhão e Goiás	-	Qualitativo e Quantitativo - Área agrícola dos Chapadões do Uruçuia (BA)	26,7	236,4	11
Bambuí	São Francisco	Minas Gerais, Bahia e Goiás	Qualitativo - sub-bacias dos rios Verde-Grande, Riachão, Jequitai e Pacuí (MG)	Quantitativo e Qualitativo - região agrícola da bacia do rio Verde Grande (MG), áreas urbanas de Minas Gerais (Sete Lagoas, Curvelo, Montes Claros, Jaíba e Capitão Enéias) e Platô do Irecê (BA).	81,4	40,3	202
Bauru-Caiuá	Paraná	São Paulo, Minas Gerais e Paraná	Qualitativo - Estado de São Paulo	Qualitativo - áreas urbanas e agrícolas do Estado de São Paulo Quantitativo - São José do Rio Preto (SP)	123,7	587,9	21
Serra Geral	Paraná	Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais	Qualitativo - Estado de São Paulo	Quantitativo - municípios de Chapecó, Concórdia e São Miguel d' Oeste (SC)	298,8	746,3	40
Guarani	Paraná	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina	Qualitativo - Estado de São Paulo	Quantitativo e Qualitativo - municípios de Ribeirão Preto (SP), Santana do Livramento (RS), Santa Cruz do Sul (RS)	91,8	161,1	57
Ponta Grossa	Paraná	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraná	-	Quantitativo - Vale do rio Paraná (GO) e municípios de Jataí e Rio Verde (GO) Quantitativo - áreas urbanas e zonas agrícolas	15,1	29,1	52
Furnas	Paraná	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e São Paulo	Qualitativo (a implantar) - Região de Rondonópolis, Juscimeira e Jaciara (MT)	Quantitativo - região termal de Juscimeira (GO)	17,2	28,6	60

*1 - Consumo total dos municípios situados sobre a área de recarga dos aquíferos; *2 - 20% das reservas renováveis

Fonte : Modificado de ANA (2005a)

8.0. FUNDAMENTOS E ELEMENTOS DA REDE NACIONAL DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PROPOSTA PELA CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

As diretrizes e principais elementos do programa nacional de monitoramento de águas nacionais foram estabelecidos a partir de reuniões internas que contaram com a presença do chefe do DEHID, hidrogeólogos de diversas unidades operacionais, além de consultores ligados a instituições de ensino e pesquisa (UNESP – Universidade de Rio Claro e UFC – Universidade Federal do Ceará), companhia de saneamento (COMPESA – Companhia de Saneamento do Estado de Pernambuco) e órgãos ambientais (SMA/SP – Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo e CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental).

È preciso ressaltar que o processo de definição do programa foi pautado pelas determinações e orientações contidas no sistema normativo que trata direta ou indiretamente dos recursos hídricos subterrâneos, além das diretrizes estabelecidas no Plano Nacional de Recursos Hídricos e em seu detalhamento, o Programa Nacional de Águas Subterrâneas.

8.1. Monitoramento de Água Subterrânea: Definição

A definição estabelecida para o programa corresponde àquela apresentada por Vrba (2006) que de forma concisa descreve os principais elementos e procedimentos que devem abranger o monitoramento: “Programa contínuo, metodológica e tecnicamente padronizado, de aquisição de medidas, de procedimentos de amostragem e de análises laboratoriais de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos”. Esta conceituação contém dois aspectos fundamentais ao êxito de um programa de monitoramento que devem ser enfatizados: continuidade e padronização de procedimentos.

8.2. Objetivo Geral

Foi estabelecido como objetivo geral do programa: ampliar a base de conhecimento hidrogeológico dos aquíferos brasileiros e acompanhar as alterações espaciais e temporais na qualidade e quantidade das águas subterrâneas para fins de gestão integrada de recursos hídricos. Este propósito encontra-se em conformidade com a missão corporativa e as atribuições estabelecidas para o Serviço Geológico do Brasil.

Deve-se esclarecer que a proposta definida para o programa não corresponde a uma rede quali-quantitativa integrada no sentido de que esta irá atender de forma ampla as funções específicas de cada um dos tipos. Tal fato decorre das diferenças de objetivos, o que implica eventualmente em locais distintos para implantação, aliadas à dificuldade em se proceder a coleta de parâmetros hidráulicos e de amostras de água em um mesmo poço (ou piezômetro). No primeiro caso, o ideal é o emprego de poços dedicados que não estejam em bombeamento e no segundo, poços produtivos que facilitem a amostragem. Além disso, existe a questão do elevado custo de operação e manutenção de uma rede com dupla função. Tradicionalmente, o que se verifica em vários países é que o monitoramento da rede quantitativa nacional é de competência dos serviços geológicos, ou instituições similares, enquanto a rede qualitativa fica a cargo de órgãos ambientais.

O que se propõe é uma rede essencialmente quantitativa, porém com medições diárias de dois parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica e temperatura) e análises químicas completas a cada período de cinco anos, ou se houver variações significativas nos parâmetros diários que justifique a coleta em intervalo mais reduzido. Desta forma,

será possível estabelecer a caracterização hidrogeoquímica da água e verificar a relação entre mudanças de nível e variações na concentração de sais, incluindo a indicação de intrusão salina. No entanto, a identificação e o acompanhamento de problemas ambientais, ainda que regionalmente, irá exigir uma rede de configuração distinta.

Ressalta-se ainda que um dos principais aspectos do programa refere-se à concepção de um monitoramento integrado (águas subterrâneas e superficiais) em que o ambiente aquático é considerado de forma inteiramente interrelacionável e não fracionada nos diversos componentes. Isto é refletido no reconhecimento do papel da água subterrânea na manutenção do fluxo, qualidade e ecologia das águas superficiais e vice-versa. Portanto, o monitoramento deve permitir também a compreensão e avaliação do fluxo subterrâneo entre os aquíferos e os cursos d'água e entre os aquíferos e os ecossistemas terrestres.

8.3. Critérios de seleção de aquíferos a serem monitorados

Considerando a grande variedade hidrogeológica do país, associada às significativas diferenças sociais e econômicas que se traduzem em demandas distintas por água tanto em natureza quanto em volume, tornou-se necessário estabelecer critérios de priorização de aquíferos a serem monitorados. Além disso, em função dos altos custos operacionais e a relativa complexidade na estruturação e implantação de uma rede de monitoramento é recomendável que o programa seja instituído de forma gradual.

Os critérios de seleção dos aquíferos que deverão ser primeiramente contemplados pelo programa de monitoramento são:

- Aquíferos sedimentares e cársticos. Foi dada prioridade a esses dois tipos de aquíferos visto que apresentam maior volume de exploração e conseqüentemente, atendem às maiores demandas. Adicionalmente, por exibirem anisotropia menos pronunciada se comparados aos aquíferos fissurados, em especial os sedimentares, fornecem menor complexidade ao planejamento da rede.
- Importância sócio-econômica da água. Refere-se a uma estimativa do valor da água subterrânea para a manutenção ou desenvolvimento sócio-econômico de uma região.
- Uso da água para abastecimento público. Considerando que o abastecimento público possui primazia dentre os demais tipos de demanda, o uso primordial da água subterrânea para consumo humano foi considerado um aspecto relevante na seleção dos aquíferos.
- Aspectos de vulnerabilidade natural e riscos. Aquíferos importantes para o país, em vista do uso atual ou potencial de água subterrânea, que apresentam elevada vulnerabilidade natural à contaminação e/ou se encontram em risco de degradação qualitativa e quantitativa devem, necessariamente, ser monitorados como forma de assegurar a manutenção e conservação de sua função.
- Representatividade espacial do aquífero. Visto que o programa envolve a implantação e operação de uma rede de âmbito nacional, deverão ser privilegiados os aquíferos de dimensões regionais e que, preferencialmente, abrangem territórios de dois ou mais estados. Este aspecto também se deve à preocupação de não se sobrepor à autonomia dos Estados em estruturar e operar sua própria rede de monitoramento, em especial, para aqueles aquíferos cujas dimensões encontram-se restritas à sua jurisdição.

- Existência de poços para monitoramento. Em virtude do elevado custo de perfuração de poços de observação e a fim de se otimizar os recursos disponíveis será dada preferência aos aquíferos que apresentam um número relativamente elevado de poços tubulares, indicando maior probabilidade de emprego de poços existentes na rede. A quantidade de poços pode ser estimada por meio do SIAGAS e/ou dos registros de órgãos gestores e companhias de saneamento.

Os critérios descritos encontram-se em conformidade com aqueles estabelecidos pelos grupos de trabalho no Workshop de Monitoramento de Água Subterrânea organizado pela ANA, em parceria com a SRHU/MMA e CPRM (Anexo 1). Além desses critérios foram ainda incluídas “áreas de preservação de ecossistemas”.

8.4. Características dos pontos de monitoramento

A rede será composta por dois tipos de pontos de monitoramento:

- 1) Poços tubulares existentes que atendam os objetivos da rede básica nacional e os critérios pré-definidos (item 8.5). Estes poços, selecionados a partir da base de dados do SIAGAS e de instituições estaduais, deverão ser avaliados quanto aos aspectos construtivos, locais e de manutenção para que a qualidade dos dados a serem obtidos possa ser assegurada.
- 2) Poços de monitoramento construídos para a rede básica nacional. Deverão ser construídos poços de observação em locais em que não foram identificados poços tubulares capazes de serem aproveitados para a rede e que são considerados fundamentais para a compreensão da resposta do aquífero tanto para as variações naturais quanto para as pressões a que está submetido.

8.5. Critérios de seleção de poços tubulares existentes

Todo o programa de monitoramento é integralmente dependente de uma rede de poços de observação. Um monitoramento quantitativo efetivo será aquele em que os pontos de observação são capazes de identificar o impacto potencial das pressões existentes e a evolução do nível d'água a curto, médio e longo termos.

Portanto, a seleção dos poços existentes deve ser feita de forma bastante criteriosa, considerando os seguintes aspectos:

- Ser representativo das condições aquíferas específicas a serem monitoradas, com filtros localizados em uma única unidade hidrogeológica. Este critério determina que os aspectos hidráulicos e litológicos devam ser característicos do aquífero selecionado. Além disso, é preciso assegurar que a(s) entrada(s) d'água esteja(m) restrita(s) àquele aquífero.
- Possuir perfis técnico, construtivo e litológico. Além dessas informações, deve ser feita verificação em campo da situação atual do poço e uma análise de como esta pode influenciar no dado a ser obtido no monitoramento.
- Ter sido construído de acordo com as normas ABNT. A construção correta do poço implica em maior segurança na confiabilidade do dado de monitoramento;
- Estar localizado, preferencialmente, próximo à rede de monitoramento hidrometeorológico. A interpretação dos dados requer informações hidrometeorológicas, em especial da pluviosidade e, em casos de conexão hidráulica com cursos d'água, da vazão. Este critério tem o propósito também de subsidiar a gestão integrada das águas.

- Possuir condições locais de segurança. Este é um aspecto desejável, mas não restritivo. Abrange a existência de cerca de proteção, acesso fácil e de um responsável pela manutenção do poço. Tais condições deverão ser estabelecidas, caso o poço não as possua.

Deve-se acrescentar ainda que como a rede proposta é essencialmente quantitativa, os poços deverão ser dedicados visto que não devem ser bombeados ou então por apenas curtos períodos de tempo de modo que as medidas de nível d'água possam refletir as condições naturais. Adicionalmente, a localização dos pontos deve estar fora da influência hidráulica imediata das pressões, de forma que as variações diárias decorrentes do bombeamento não sejam evidentes no dado obtido.

8.6. Critérios para construção de poços de monitoramento

É certo que o programa de uma rede de monitoramento para um determinado sistema aquífero não poderá ser construído somente com os poços existentes, sendo exigida a perfuração de piezômetros simples ou multiníveis. Estes poços de observação deverão ser perfurados conforme os seguintes preceitos:

- Estar localizado, preferencialmente, próximo à rede de monitoramento hidrometeorológico. Do mesmo modo que no item anterior, há a preocupação com obtenção de dados complementares para análise e interpretação dos resultados do monitoramento bem como com a gestão integrada das águas.
- Ser construído, preferencialmente, com profundidade de até 50 metros. Considerando os elevados custos de perfuração, a construção de novos poços irá privilegiar as porções livres e áreas de recarga dos aquíferos e, portanto, esse valor deve ser entendido como uma média. Entretanto, dadas as significativas variações hidrogeológicas e a diversidade de pressões sofridas pelos aquíferos no território brasileiro é possível que, eventualmente, seja necessária a perfuração de poços com profundidades muito maiores.
- Ser projetado e construído de acordo com as normas ABNT, especialmente, a NBR 13895 que trata da construção de poços de monitoramento e amostragem.

8.7. Densidade de pontos de monitoramento

A rede de monitoramento deve incluir pontos de controle com densidade suficiente para obtenção de valores representativos das condições hidrogeológicas: carga hidráulica, variações de nível d'água e alterações de qualidade, de curto e longo prazo, em função da dinâmica de fluxo. Deste modo, a malha de poços terá uma densidade variável dependente do uso da água, uso e ocupação do solo, densidade demográfica e a extensão regional do aquífero.

8.8. Periodicidade e parâmetros de monitoramento

Na estruturação de uma rede de monitoramento é necessário o adequado planejamento da periodicidade de observação e do tipo e quantidade de parâmetros de medida e análise. Para a rede programada, de caráter essencialmente quantitativo, o cotejo de custos e dos dados considerados satisfatórios ao cumprimento dos objetivos definidos para o programa conduziu à seguinte configuração:

- Medidas diárias de nível d'água, condutividade elétrica e temperatura.
- Medidas mensais de taxa de infiltração;

- Análises físico-químicas envolvendo parâmetros inorgânicos (íons maiores, menores e metais pesados) e demais parâmetros selecionados em função do uso e ocupação da área. A coleta será feita na instalação do ponto de observação e a cada cinco anos, ou ainda quando houver anomalias significativas no valor médio da condutividade elétrica.

Eventualmente, poderão ser monitorados vazão e nível dinâmico em poços de produção, em especial, de companhias de saneamento e em áreas de uso intensivo de água subterrânea.

Os parâmetros mínimos selecionados para análise química encontram-se apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Relação dos parâmetros mínimos para análise química.

<i>Parâmetros</i>				
pH	Eh	Temperatura	Condutividade Elétrica	Sólidos Dissolvidos Totais
Resíduo Seco 180°C	Turbidez	Cor	Dureza Total	Alcalinidade de Bicarbonato
Alcalinidade de Carbonato	Alcalinidade de Hidróxido	Alumínio Total	Arsênio Total	Bário Total
Boro Total	Carbono Orgânico Dissolvido	Cálcio Total	Cádmio Total	Cloreto Total
Chumbo Total	Cobre Total	Cobalto Total	Cromo Total	Ferro Total
Fluoreto Total	Fósforo	Magnésio Total	Manganês Total	Mercúrio Total
Nitrato	Nitrogênio Kjeldhal (combinação amônia e N _{orgânico})	Níquel Total	Selênio Total	Sódio Total
Sulfato	Sílica	Vanádio Total	Zinco Total	

8.9. Instrumentação

A escolha do grau de automação a ser implantado para a rede de monitoramento levou em conta diversos fatores: objetivos do programa, custos, facilidade operacional, qualidade, confiabilidade e precisão das medidas.

Assim sendo, optou-se pelo grau de automação *dois*, conforme a classificação de Kiang e Carnier Neto (2006), em que um *datalogger* efetua, automaticamente, a medição e o armazenamento em intervalos pré-estabelecidos, normalmente de curta duração. Os resultados permanecem no local do monitoramento e são transferidos periodicamente por um operador humano para um computador.

Foi prevista a aquisição de conjuntos formados por dataloggers com sensores para determinação do nível d'água, temperatura e condutividade elétrica e os respectivos cabos, fontes de energia (preferencialmente baterias) e software para configuração e leitura do datalogger. Medidores manuais de níveis d'água deverão ser também adquiridos e funcionarão para aferição dos resultados e, ocasionalmente, para realização de medidas na situação de não funcionamento e manutenção dos equipamentos automáticos.

Visando a determinação da taxa de recarga, importante para interpretação dos dados do monitoramento, serão instalados infiltrômetros de gaveta, preferencialmente na proximidade de estações hidrometeorológicas. As medidas do nível d'água serão determinadas por sensores à semelhança dos poços de observação.

Em determinadas circunstâncias, a critério do hidrogeólogo responsável pelo planejamento da rede no aquífero ou local específico, pode ser estabelecido grau de automação 0 ou 3. No primeiro caso, há a manipulação, por um operador humano, do instrumento de medida (por exemplo, um medidor de nível que deve ser baixado dentro do poço, ou uma amostra de água deve ser colhida para a medição de condutividade elétrica). O intervalo de medição é previamente estabelecido (diário, semanal, mensal etc) e o registro da medida é feito em uma planilha de papel. Já no grau 3, tanto a medição e armazenamento quanto a transferência dos dados medidos são realizados de maneira automática, à distância, usando-se meios de comunicação de dados (telemetria).

Visto que uma das grandes preocupações ao se empregar equipamentos mais sofisticados tecnologicamente consiste na possibilidade de roubos ou danos deverão ser adotadas medidas para garantir a sua integridade.

8.10. Armazenamento, tratamento e disponibilização das informações

O sistema de informações de água subterrânea, a ser disponibilizado aos diversos usuários, deverá ser construído de tal maneira que os dados do monitoramento - analisados, transformados e tratados estatisticamente – sejam transmitidos de forma clara, interativa e com recursos gráficos. Esta ênfase baseia-se no fato de que ainda que os dados do monitoramento sejam de alta qualidade, mas a forma de apresentação e disponibilização não é inteligível ao usuário, os resultados do programa de monitoramento não serão efetivamente utilizados e todo o gasto em sua construção e operação não terão o retorno esperado. É necessário que os dados brutos obtidos no monitoramento sejam transformados em informação de modo a atender às diferentes demandas dos usuários e fornecer suporte à tomada de decisões.

O SIAGAS, mantido pela CPRM e criado para dar suporte ao gerenciamento de águas subterrâneas, será adotado como o sistema para consistência e armazenamento dos dados contínuos que serão gerados no monitoramento. Para que o SIAGAS cumpra efetivamente esse papel pretendido foram previstas algumas ações:

- Adequação e integração do SIAGAS ao Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH). O SNIRH constitui um importante instrumento, previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, para a gestão integrada das águas. Tem como função armazenar as informações hidrológicas, hidrogeológicas e de qualidade das águas. Atualmente, apenas dados hidrometeorológicos compõem o sistema e portanto, é fundamental a promoção da articulação entre a CPRM e ANA para a integração do SIAGAS ao SNIRH por meio da criação de uma interface amigável entre os dois sistemas. Esta atividade encontra também prevista no Programa Nacional de Águas Subterrâneas-PNAS.
- Estruturação do SIAGAS para armazenar os dados temporais do monitoramento e aprimoramento de rotinas de pesquisa. O SIAGAS encontra-se estruturado de modo a armazenar e analisar dados predominantemente estáticos. Apesar de permitir a inserção de dados dinâmicos não está totalmente adaptado para receber o grande volume de dados referentes ao monitoramento diário ou mesmo de proceder a pesquisas específicas para este conjunto de dados.

- Adaptação de rotinas no SIAGAS para consistência dos dados. Deverão ser criadas rotinas particulares para análise de consistência dos dados do monitoramento, incluindo a identificação e preenchimento de hiatos de medição e procedimentos estatísticos.
- Criação de um subsistema no SIAGAS apenas para o monitoramento da rede nacional. Visto que o monitoramento será um programa específico e contínuo e dadas as diferenças na análise, consistência e tratamento dos dados comparativamente àqueles que compõem hoje o sistema, deverão ser criados subsistemas distintos.
- Disponibilização de dados e informações. Como já enfatizado, o modo como os dados brutos consistidos e transformados em informação são disponibilizados aos usuários representa um dos principais aspectos do monitoramento. Deste modo, na web SIAGAS, dedicada ao monitoramento, o usuário deverá ter acesso a recursos gráficos, mapas, tabelas além do acesso, por meio de *links*, com outros bancos de dados existentes (hidrometeorológicos e de monitoramentos regionais de água subterrânea).
- Adaptação da web SIAGAS para disponibilizar relatórios anuais do monitoramento de poços. A transformação das informações em conhecimento será apresentada em relatórios de periodicidade anual que conterão a integração e interpretação dos dados para os aquíferos monitorados. Estes relatórios poderão conter ainda, a depender da disponibilidade de informações, avaliação econômica-financeira do uso da água e do recurso hídrico subterrâneo associada ao desenvolvimento sócio-econômico e de condições de saúde nas regiões monitoradas.

8.11. Integração com as redes de monitoramento regional ou específico

O Programa Nacional de Águas Subterrâneas - PNAS destaca “a necessidade de que os órgãos, em diversas instâncias, que têm atribuições na gestão das águas subterrâneas estejam devidamente articulados a fim de viabilizar a gestão integrada, com o estabelecimento de mecanismos de integração e articulação interinstitucional, intra-institucional e intersetorial”. Este documento reforça que apesar da dominialidade das águas subterrâneas pertencer aos Estados é necessária a abordagem da gestão integrada, no nível nacional, como preconizado pela lei 9.433/97.

Dentre os objetivos estabelecidos no subprograma do PNAS “Ampliação do Conhecimento Hidrogeológico Básico”, está prevista a contribuição na concepção, planejamento e implementação de redes básicas de monitoramento quali-quantitativo de águas subterrâneas, **de caráter regional**. Assim, pode-se presumir que serão buscados meios de se estabelecer uma padronização mínima em termos de procedimentos de medida, amostragem e análise, a despeito das diferenças hidrogeológicas e de intensidade de uso das águas subterrâneas.

O **programa nacional** de monitoramento de águas subterrâneas proposto deverá complementar os **programas regionais** de monitoramento ainda que as diretrizes destes estejam orientadas, principalmente, para questões inerentes à gestão dos recursos hídricos em determinados locais tais como o acompanhamento das atividades que causam contaminação (potencial ou real) e a proteção das regiões de captação de água para abastecimento. Deste modo, as atividades previstas para o programa, incluindo a concepção e estruturação, deverão ser previamente apresentadas e discutidas de modo que se estabeleça estreita articulação com os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos, companhias de saneamento e demais entidades que operam uma rede de monitoramento.

Para a formulação das diretrizes de articulação de redes considerou-se dois tipos de redes de monitoramento, conforme o objetivo: 1) Monitoramento Regional - rede operada pelos órgãos gestores estaduais; e 2) Monitoramento Específico – redes operadas por autarquias ou concessionárias de abastecimento, vigilância sanitária, comitês de bacias etc.

O intercâmbio de informações será concretizado a partir de acordos de cooperação a serem firmados com os órgãos gestores e as entidades responsáveis pelo monitoramento específico, estabelecendo-se formas e periodicidade de transferência. Os dados que deverão ser incorporados ao sistema de informações do monitoramento nacional, advindos dessas instituições são: quantitativos, qualitativos além de dados outorgados de produção setorial e total.

Considerando o exposto, a integração da rede nacional com as redes regionais tem como desafios:

- a integração do órgão responsável pela operação da rede nacional com os respectivos órgãos regionais;
- a padronização de procedimentos de medida, coleta e análise para que os resultados possam ser tratados e interpretados em conjunto;
- compatibilização dos sistemas de informação e banco de dados para que os dados possam ser utilizados, com facilidade, pelos órgãos gestores nas diversas instâncias.

Um aspecto a ser destacado é que atualmente a CPRM - Serviço Geológico do Brasil possui convênios com vários órgãos gestores e companhias de saneamento no país para alimentação e acesso ao Banco de Dados do Sistema de Informações de Água Subterrâneas – SIAGAS. A existência desses acordos deverá facilitar a integração entre a rede nacional e as redes regionais de monitoramento.

8.12. Integração da rede nacional de monitoramento de água subterrânea com as redes hidrometeorológicas nacional e estadual

A importância da gestão integrada, em especial a inter-relação entre águas superficiais e subterrâneas, é mencionada como um dos fatores que induziram a formulação do Programa Nacional de Águas Subterrâneas - PNAS. Dentre as ações previstas no programa estão incluídas: i) fomentar a pesquisa básica e tecnológica para a gestão sistêmica e integrada das águas e caracterização dos fluxos de água entre os sistemas subterrâneo e superficial e com o meio ambiente, além da verificação da sua interferência na gestão das águas minerais; e ii) Promover a integração e a ampliação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), com a inserção efetiva do tema das águas subterrâneas e estudos correlatos.

O aspecto enfatizado pelo PNAS é que a gestão das águas subterrâneas não pode ser dissociada da das águas superficiais, visto a forte inter-relação destes dois componentes do ciclo hidrológico. Nesse contexto, é preciso vencer a tradicional separação entre o estudo das águas superficiais e subterrâneas. Esta realidade está mais relacionada com as dificuldades associadas à definição de relações quantitativas do que com a ausência de necessidade de promover a gestão de forma integrada.

Os benefícios de se realizar o monitoramento integrado das águas superficiais e subterrâneas e também de parâmetros climatológicos são os seguintes:

- Permitir o cálculo do balanço hídrico com base em parâmetros mais consistentes;
- Favorecer as estimativas de recarga, porosidade eficaz e reservas renováveis para os aquíferos;
- Estimar o tempo de residência das águas subterrâneas, partir das respostas do nível d'água e das vazões dos cursos d'água com referência a um evento de recarga,
- Determinar a relação dos cursos d'água e o fluxo subterrâneo (rios efluentes e influentes);
- Avaliar a influência dos aquíferos na qualidade química dos cursos d'água ou vice-versa;

Deste modo, foram definidas atividades que promovam, de forma efetiva, o monitoramento integrado:

- Integração dos subsistemas de água subterrânea (nacional e regionais) com os sistemas hidrometeorológicos (nacional e estaduais) através de *links* de modo a permitir a análise conjunta dos dados e informações;
- Promover avaliação criteriosa das bacias monitoradas para determinação daquelas cujo monitoramento de vazão possa vir a ser empregado na análise integrada dos dados coletados no monitoramento das águas subterrâneas. Este procedimento decorre do fato de que tanto as estações hidrométricas nacionais quanto as estaduais abrangem bacias hidrográficas, de modo geral, de grandes extensões superficiais e, comumente, heterogêneas com relação aos domínios aquíferos.
- Promover avaliação da distribuição das estações pluviométricas e demais estações climatológicas e verificar se a densidade e localização destas favorecem a interpretação dos resultados do programa de monitoramento;
- Prever técnica e financeiramente a necessidade de ampliação da rede hidrometeorológica existente para atendimento à rede nacional de monitoramento de água subterrânea.

Um aspecto que favorece esta integração é que a CPRM é responsável pela implantação e operação de redes hidrometeorológicas, telemétricas, de qualidade de água e sedimentométricas bem como monitoramento de níveis em açudes. Opera a rede hidrometeorológica nacional constituída de cerca de 2.500 estações, sendo 200 telemétricas via satélite. Além da coleta, consiste e armazena cerca de 240.000 dados hidrológicos anuais.

De acordo com ANA (2008) são registradas 17.355 estações hidrometeorológicas no Brasil sendo que 4.691 encontram-se sob a administração dessa agência – 2500 operadas pela CPRM e o restante pelos Estados.

8.13. Amostragem e análise de águas subterrâneas

É importante que a coleta, preservação e análise da amostra de água sejam realizadas de forma adequada e precisa, de modo que haja representatividade nos resultados e para tal é necessário que se estabeleçam normas e padrões.

Para os procedimentos de amostragem e análise adotou-se como referência básica os artigos 17 e 18 da resolução CONAMA 396-2008, cujos aspectos considerados mais importantes são abaixo apresentados:

- As amostras de água subterrânea deverão ser coletadas utilizando-se métodos padronizados em pontos de amostragem que sejam representativos da área de interesse;
- As análises deverão ser realizadas em amostras íntegras, sem filtração ou qualquer outra alteração, a não ser o uso de preservantes que, quando necessários, deverão seguir as normas técnicas vigentes. A filtração é admitida em casos especiais, quando tecnicamente justificada;
- As análises físico-químicas deverão ser realizadas utilizando-se métodos padronizados, em laboratórios que atendam aos limites de quantificação praticáveis, listados no Anexo I desta Resolução;
- Os resultados das análises deverão ser reportados em laudos analíticos contendo, no mínimo: identificação do local da amostragem, data e horário de coleta, entrada da amostra no laboratório; indicação do método de análises utilizado para cada parâmetro analisado; limites de quantificação praticados pelo laboratório e da amostra, quando for o caso, para cada parâmetro analisado; incertezas de medição para cada parâmetro.

Para os procedimentos de coleta e preservação de amostras deverão ser adotados os métodos e padrões apresentados no Guia editado pela CETESB (1987).

Foi determinado também que as análises das águas subterrâneas deverão ser realizadas por laboratórios ou instituições que possuam critérios e procedimentos de qualidade fixados pela CPRM. O número de laboratórios e a localização destes serão dependentes da rede de monitoramento programada, especialmente dos pontos de coleta.

8.14. Aspectos financeiros associados à implantação e operação da rede de monitoramento

O monitoramento de água subterrânea a nível nacional é um processo de grande demanda técnica e organizacional e também bastante dispendioso em termos operacionais e de instrumentação. Os benefícios advindos dos custos do monitoramento devem ser dimensionados a partir do valor e da qualidade da informação obtida.

Os custos do monitoramento quali-quantitativo envolvem, em termos gerais:

- Capacitação de técnicos para realização de medidas e coleta de amostras
- Coleta dos dados. Se o grau de automação for de grau 0, 1 ou 2 devem ser previstos os gastos com observador (graus 0 e 1), com deslocamento de hidrotécnicos e de aquisição e manutenção dos instrumentos de medição. No caso dos sistemas automáticos (grau 3) serão considerados apenas os custos de aquisição e manutenção dos equipamentos;
- Análise físico-química. Os custos irão depender dos parâmetros a serem analisados e a frequência de coleta. As determinações diárias (condutividade elétrica e temperatura) irão exigir a aquisição de sensores automáticos;
- Criação e manutenção de um sistema de armazenamento e disponibilização dos dados;
- Equipe especializada para acompanhamento da estruturação e operação da rede; consistência e tratamento dos dados resultantes do monitoramento; e alimentação do banco de dados;

9.0. AQUÍFEROS SELECIONADOS PARA IMPLANTAÇÃO PRIORITÁRIA DA REDE DE MONITORAMENTO

A seleção dos aquíferos que serão prioritariamente contemplados para o monitoramento foi feita em reunião interna que contou com a presença de hidrogeólogos experientes do quadro da empresa, representantes de cada uma das regiões do país. Os critérios de escolha fundamentaram-se nos aspectos previamente estabelecidos (item 8.3).

O método adotado para a definição dos aquíferos compreendeu a seguinte seqüência:

- Preparação de planilha contendo as principais características dos aquíferos mais importantes do Brasil;
- Apresentação por parte dos técnicos presentes de informações complementares referentes aos aquíferos;
- Avaliação dos aquíferos quanto aos critérios estabelecidos. Para cada critério foi dada uma nota: 3 – alto; 2 - médio e 1 – baixo. Os aquíferos que tiveram soma 11 ou 12 foram preliminarmente separados para análise quanto ao risco ou existência de interferências significativas de ordem quantitativa. Estes aspectos tidos como de grande importância na seleção conduziram à escolha de alguns aquíferos com soma inferior a 11.
- Definição de 10 aquíferos com prioridade de monitoramento. A Tabela 8 relaciona os aquíferos, as bacias e regiões em que estão inseridos e as unidades regionais que serão responsáveis pelo planejamento, implantação e operação da rede de monitoramento de cada unidade hidrogeológica.

Tabela 8 – Relação dos aquíferos selecionados para implantação prioritária do programa de monitoramento

Sistema Aquífero	Região	Bacia Sedimentar	Unidade regional responsável pela rede de monitoramento
Alter do Chão	Norte	Amazonas	SUREG/MA
Açu	Nordeste	Potiguar	SUREG/RE
Serra Grande	Nordeste	Parnaíba	RETE
Beberibe	Nordeste	Pernambuco-Paraíba	SUREG/RE
Urucuia	Nordeste	Urucuia	SUREG/SA
Parecis	Centro-Oeste	Parecis	SUREG/GO
Furnas	Centro-Oeste	Paraná	SUREG/GO
Guarani	Sul-Sudeste	Paraná	SUREG's SP, GO e PA
Bauru-Caiuá	Sul-Sudeste	Paraná	SUREG's SP, GO e BH
Serra Geral	Sul-Sudeste	Paraná	SUREG's SP, GO, BH e PA

Esta relação não deve ser entendida como definitiva podendo ser ampliada, modificada ou reduzida a partir da avaliação mais detalhada a respeito dos aquíferos para a implantação da rede ou mesmo dos contatos que serão feitos com os órgãos gestores e companhias de saneamento. Além disso, esta corresponde à primeira fase do programa que será gradativamente estendido para outros aquíferos.

10.0. MATERIAL E MÉTODOS

O planejamento, estruturação e operação do programa de monitoramento integrado de águas subterrâneas deverão obedecer ao cumprimento de diversas atividades seqüenciais ou simultâneas. O êxito do programa depende da promoção de ações coordenadas nas diversas unidades regionais, responsáveis pela implantação do monitoramento, que deverão estar devidamente organizadas e estruturadas tanto em termos materiais quanto de recursos humanos para sua execução.

10.1. Contatos iniciais e visitas aos órgãos gestores estaduais e companhias de saneamento.

Dentre as diretrizes estabelecidas para o programa de monitoramento destaca-se que a concepção, planejamento e implementação da rede básica serão feitos em estreita articulação com os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos e companhias de saneamento. Este procedimento além de assimilar as demandas estaduais, fornecendo um caráter complementar às redes estaduais, possibilita a otimização dos recursos técnicos, financeiros e humanos e pode auxiliar na padronização de métodos de coleta e de armazenamento e tratamento de dados.

Serão efetuados contatos iniciais com os órgãos gestores e as companhias de saneamento por meio de documentos que contêm a apresentação do projeto e a solicitação de colaboração para sua implementação. A partir das respostas com manifestação de interesse serão agendadas visitas a serem promovidas por representantes do Departamento de Hidrologia, oportunidade em que serão apresentados maiores detalhes a respeito da proposta da rede básica nacional de monitoramento. Acordos de parcerias a serem firmados com as instituições irão consolidar a participação dos estados.

Ressalta-se que dois aspectos devem ser frisados na condução desses contatos: i) a atribuição do estado, juridicamente estabelecida, na definição de seu programa de monitoramento não será contrariada pela rede básica nacional visto o seu propósito de complementaridade; e ii) a demanda dos Estados será, ao menos parcialmente, atendida na medida em que se encontra em consonância com os objetivos da rede nacional.

10.2. Preparação dos termos de referência para aquisição dos equipamentos necessários ao monitoramento

A automação prevista para os poços de monitoramento (item 8.9) requer a aquisição de conjuntos formados por dataloggers com sensores para determinação do nível d'água, temperatura e condutividade elétrica e os respectivos cabos, fontes de energia (baterias ou painéis solares) e software para configuração e leitura do datalogger. Equipamentos dessa natureza encontram-se disponíveis no mercado e têm sido empregados tanto no Brasil como em outros países em programas de monitoramento de água subterrânea. Será contratada a consultoria de professores da Universidade de Rio Claro – Unesp para a elaboração do termo de referência contendo a especificação dos equipamentos em virtude da experiência desta instituição na automação de poços de observação em áreas piloto de pesquisa.

Deverão ser adquiridos também *notebooks* para a leitura dos dados armazenados nos *dataloggers* e equipamentos para a extração de água dos poços visando a coleta de amostras para análises químicas.

10.3. Seleção de poços cadastrados no SIAGAS e fornecidos pelos órgãos gestores e companhias de saneamento que sejam potencialmente adequados aos objetivos da rede de monitoramento.

Tendo em vista o grande número de poços cadastrados no SIAGAS deverá ser procedida uma avaliação criteriosa para seleção daqueles que atendam aos critérios estabelecidos para o programa (item 8.5) e que possam vir a ser aproveitados. Adicionalmente, deverão ser analisados também os poços tubulares repassados pelos órgãos gestores e companhias de saneamento em contrapartida aos termos de cooperação firmados.

Os técnicos responsáveis por essa atividade poderão ser da equipe do SIAGAS nas diversas unidades regionais ou hidrogeólogos ligados ao projeto de cadastramento de poços que deverá ser reiniciado somente no segundo semestre de 2009.

10.4. Preparação de diagnóstico a respeito dos aquíferos selecionados a fim de subsidiar a estrutura da rede de monitoramento.

A estruturação do programa de monitoramento para cada aquífero ou local selecionado exige que seja feita uma caracterização hidrogeológica a partir da integração, análise e interpretação de dados existentes. Deste modo, deverá ser efetuada ampla pesquisa bibliográfica, incluindo projetos da CPRM e tratamento de dados do SIAGAS, visando o levantamento de informações a respeito de: sistema de fluxo das águas subterrâneas; características hidroquímicas e hidrodinâmicas; extensão dos aquíferos e unidades confinantes; potencial de uso das águas subterrâneas em termos quantitativos e qualitativos; vulnerabilidade natural; fontes potenciais de poluição; problemas de superexploração; e monitoramentos existentes.

Como o monitoramento da água subterrânea será integrado ao monitoramento hidrometeorológico deverão ser ainda obtidos dados relativos às estações existentes no domínio dos aquíferos enfocados além de estudos hidrológicos e climatológicos realizados na região.

Deverá ser preparado um relatório contendo todas essas informações e a justificativa para os pontos de observação selecionados, compreendendo poços existentes e a serem construídos (e.g. acompanhamento da evolução do nível d'água em áreas de intensa exploração; avaliação das variações naturais do nível d'água em condições não afetadas). Será incluída também análise crítica quanto à possibilidade de emprego dos dados das estações fluviométricas e pluviométricas para interpretação dos resultados do monitoramento quanto à representatividade do aquífero nas bacias hidrográficas monitoradas, densidade, localização etc.

Este relatório deverá ser elaborado de modo que represente o modelo conceitual para o aquífero abrangendo o estágio atual de conhecimento de suas características naturais, pressões percebidas e impactos identificados. A partir da interpretação deste modelo serão identificadas as principais exigências do monitoramento, os locais a serem monitorados, a densidade de pontos de observação.

A elaboração do relatório, em cada unidade que irá operar a rede em 2009, deverá ficar a cargo de um hidrogeólogo a ser contratado ou do quadro atual que possa ser disponibilizado para a atividade e que tenha a experiência profissional necessária à execução dessa atividade.

10.5. Realização de visitas a campo para verificação dos pontos e locais selecionados para monitoramento.

Após a elaboração do diagnóstico a respeito dos aquíferos a serem contemplados no monitoramento e a seleção de pontos de observação, feita a partir dos cadastros SIAGAS e de instituições estaduais, serão realizadas visitas a campo para verificação da situação dos poços tubulares e das condições locais como também para a locação dos poços a serem perfurados.

A avaliação dos poços tubulares existentes irá requerer, em especial para os mais antigos, o uso de equipamentos de perfilagem ótica adquiridos pela CPRM. Neste procedimento serão analisados o revestimento e os filtros, identificados os aquíferos interceptados e

definidas as entradas d'água. Para alguns poços poderão vir a ser necessárias a realização de limpeza e a execução de testes de bombeamentos, serviços estes a serem contratados.

Nestas visitas a campo deverão ser observados vários aspectos relativos aos aspectos construtivos, manutenção, acesso e segurança dos poços existentes, às características geológicas e hidrogeológicas locais, à identificação dos usos e formas de ocupação dos terrenos, à avaliação do uso da água subterrânea e demais informações apresentadas na Tabela 9 (item 8.6).

É preciso sempre levar em conta, na definição do número e de tipos de poços de observação (se existentes ou construídos), as implicações para o custo do monitoramento. No caso de poços existentes, é recomendável que não exista bombeamento para que as medidas de nível estático não sejam prejudicadas. Estes poços, portanto, serão dedicados ao monitoramento devendo-se buscar, preferencialmente, poços desativados ou abandonados para os quais não há expectativas de uso futuro. O emprego de poços escavados requer criteriosa avaliação para identificar se não estão sujeitos à infiltração direta ou propensos à contaminação, sendo que são sempre representativos apenas da parte superior do aquífero.

Quanto aos poços a serem construídos, os custos serão dependentes da profundidade, quantidade e tipo (simples ou multinível).

Uma questão a ser contornada, tanto para poços existentes quanto construídos, refere-se à coleta periódica de amostras para análises, visto que deverá ser efetuado um bombeamento. Desta forma, será adquirido e disponibilizado para todas as unidades regionais responsáveis pelo monitoramento um equipamento com esta função.

A Tabela 9 apresenta um cotejo entre os tipos de poços de observação, a qualidade dos dados a serem obtidos e os custos.

Assim como a atividade anterior, as visitas a campo deverão ser realizadas por hidrogeólogos experientes contratados ou do quadro atual.

10.6. Elaboração de fichas para cadastro dos pontos selecionados, cartilhas para coletas de amostras, definição dos padrões de numeração.

Uma das maiores preocupações relacionadas a um programa de monitoramento, em especial de abrangência nacional, refere-se à padronização de procedimentos e a garantia da qualidade dos resultados obtidos. Conforme as orientações de European Commission (2004) é necessária a implantação de medidas com esse propósito, tendo como base:

- O desenvolvimento de procedimentos operacionais padrões;
- Emprego de métodos comprovados e validados de monitoramento (incluindo amostragem, análises químicas, relatórios);
- Estabelecimento de rotina interna para controle da qualidade;

Assim sendo, serão elaboradas fichas padrão para o cadastro dos pontos de observação que deverão conter, ao menos, as informações apresentadas na Tabela 10, conforme orientação de European Communities (2007).

Tabela 9. Comparação entre os tipos de poços de observação, qualidade dos dados e custos.
Fonte: European Communities (2007)

Tipo de poço de observação	Característica da descarga	Medidas Quantitativas	Custo de perfuração	Custo de amostragem química
Poços Existentes				
Poço tubular público	Normalmente alta e contínua	Comumente prejudicadas pelo bombeamento	-	Muito baixo
Poço tubular particular	Geralmente baixa e intermitente	Por vezes prejudicada pelo bombeamento	-	Baixo
Poços tubulares de irrigação	Alta, mas intermitente ou sazonal	Possível em períodos chuvosos	-	Baixo
Poço Escavado	Geralmente intermitente	Possível na maioria das vezes	-	Baixo
Poços desativados	Sem descarga	Sempre possível		Moderado. Necessita de bombeamento
Poços de Observação Construídos				
Piezômetro simples	Baixa e necessita de bombeamento por meio de instrumento portátil	Sempre possível	Moderado	Moderado. Necessita de bombeamento
Agrupamento de piezômetros simples	Baixa e necessita de bombeamento por meio de instrumento portátil	Sempre possível	Muito Alto	Alto. Necessita de bombeamento
Piezômetro multicâmara	Muito Baixa. Necessita de bombeamento por meio de instrumento	Sempre possível	Alto	Alto

Tabela 10 - Informações necessárias para o cadastro de pontos de monitoramento de água subterrânea

<i>Aquífero Monitorado</i>
<i>Localização, numero do ponto e identificador único</i>
<i>Propósito do ponto de monitoramento</i>
<i>Tipo de ponto de monitoramento – poço tubular, piezômetro, medidor de nível d'água</i>
<i>Profundidade e diâmetro do poço</i>
<i>Profundidade dos filtros</i>
<i>Vulnerabilidade ou indicação da espessura do subsolo</i>
<i>Estimativa visual da área de recarga</i>
<i>Detalhes construtivos</i>
<i>Quantidade explotada</i>
<i>Regime de bombeamento</i>
<i>Rebaixamento verificado</i>
<i>Aspectos de uso e ocupação do solo</i>
<i>Profundidade do bombeamento</i>
<i>Nível estático</i>
<i>Elevação do datum e descrição do datum</i>
<i>Existência de Artesianismo</i>
<i>Perfil litológico do poço</i>
<i>Propriedades do aquífero (transmissividade, condutividade hidráulica etc.)</i>

Padrões também deverão ser preparados para proteção dos pontos de observação; identificação local do programa de monitoramento efetuado pela CPRM; orientação para coleta, armazenamento e preservação das amostras; e procedimentos analíticos e limites de detecção. Outras atividades como avaliação de consistência, interpretação, armazenamento, disponibilização dos dados serão igualmente padronizadas.

Esta atividade ficará a cargo da coordenação do programa com auxílio de colaboradores do quadro da empresa e, eventualmente, de consultoria externa.

10.7. Perfuração de poços de observação e construção de infiltrômetros

A perfuração de poços de observação será contratada após as visitas de campo que conduziram à definição dos locais adequados que se ajustam aos objetivos do programa. A construção dos poços deverá seguir aos critérios apresentados no item 8.6.

É importante que o documento de licitação seja elaborado de modo que se assegure a qualidade dos serviços. Deste modo, deve-se exigir da empresa, ao menos (ABAS, 2009):

- Registro ou visto no CREA;
- Responsável Técnico: geólogo ou engenheiro de minas;
- Atestado de Capacidade Técnica fornecido pelo CREA;
- Atestados de idoneidades: administrativas, jurídicas e financeiras;
- Relação de Equipamentos;
- Relação de Pessoal Técnico;
- Projeto Técnico executivo especificando diâmetros de perfuração, litologias, atravessadas, teste de bombeamento e eventuais acréscimos de preço em profundidade.
- Selo de qualidade ABAS.

Todas as etapas dessa atividade – perfuração, completação, limpeza, teste de bombeamento – deverão ser supervisionadas por hidrogeólogos ou técnicos experientes da CPRM. Ao final do teste de bombeamento deverá ser realizada a coleta de amostra de água para análise físico-química.

A construção de infiltrômetros visa a obtenção de dados complementares à interpretação dos resultados do monitoramento. Os locais de instalação serão definidos a partir da integração das informações disponíveis (item 10.5) e posterior investigação de campo. Deverão ser construídos preferencialmente próximos a estações hidrometeorológicas.

Optou-se pelo tipo em gaveta onde se determina, com auxílio de instrumentos semelhantes àqueles instalados nos poços de observação, o volume de água infiltrada (por meio das variações de nível d'água em tubos de pvc acoplados às gavetas).

Empresas ou instituições experientes deverão auxiliar na construção dos infiltrômetros. Um esquema da estrutura desses equipamentos encontra-se apresentado na figura 9.

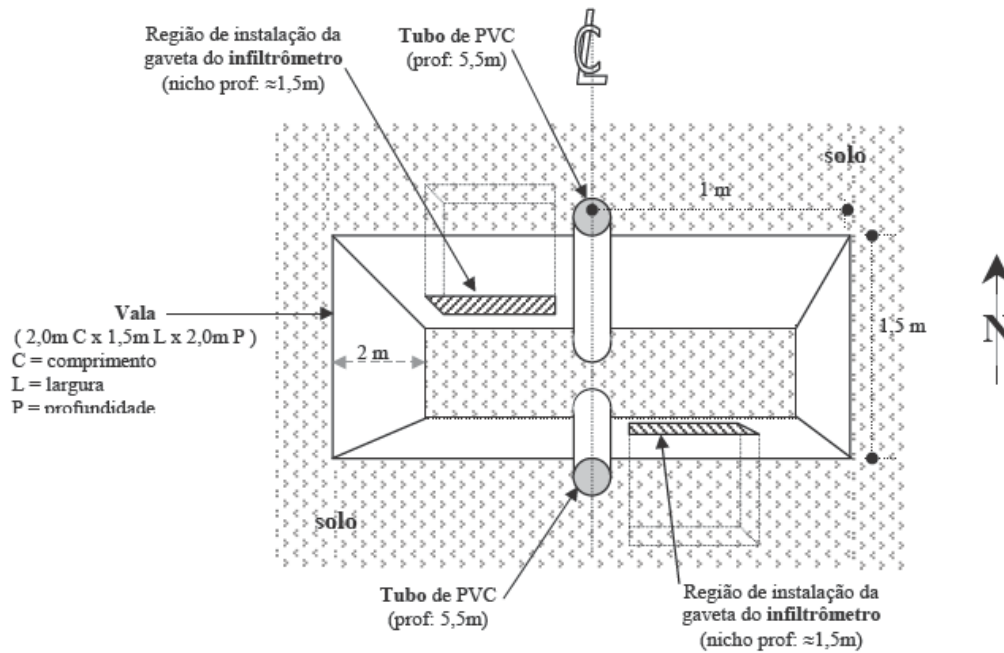


Figura 9 – Projeto construtivo de um infiltrômetro de gaveta.

Fonte: Velásquez (2008)

10.8. Instalação dos equipamentos de medição

Conforme descrito no item 8.9, o grau de automação preferencial escolhido para os pontos de observação consiste em equipamentos que permitem a medição e armazenamento dos dados de forma automatizada, cabendo a um operador humano o descarregamento automático desses dados para fins de tratamento e análise.

A instalação ficará a cargo de técnicos, inseridos no programa ou pertencentes ao quadro da rede hidrometeorológicas, devidamente treinados pela empresa fornecedora dos equipamentos.

10.9. Coleta de amostras de água e seleção de parâmetros

A coleta de amostras, conforme descrito no item 8.8, será feita na instalação do ponto e periodicamente, seguindo as instruções contidas no Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água (CETESB, 1987), respeitando-se as especificidades dos parâmetros a serem analisados. Ressalta-se que a coleta deverá ser efetuada por equipe (hidrotécnico ou hidrogeólogo e auxiliar) devidamente treinada.

Visto que os poços de monitoramento serão dedicados ao programa e não disporão de equipamentos de bombeamento a coleta envolverá o emprego de procedimentos para limpeza e extração da água seja por meio de bombas do tipo slow-flow, bombas submersas ou injetoras ou compressor de ar, os quais deverão ser adquiridos.

A coleta deverá ser programada de tal forma que as amostras possam dar entrada no laboratório no mesmo dia, visto que o prazo de validade para análise de alguns parâmetros é de 24 horas. As amostras deverão ser preservadas em gelo, em recipiente termoisolante, de modo que possa assegurar a manutenção de suas características até o início do processo analítico. A questão do transporte deverá ser devidamente avaliada, sendo talvez necessário o apoio de alguns órgãos municipais ou estaduais, com sede em

idades do interior dos Estados, em vista da dificuldade que pode advir em se contar com o transporte rodoviário regular. A Tabela 11 apresenta as recomendações da CETESB (2007) para os frascos, preservação, volume necessário e prazo de validade das amostras de água, por parâmetro.

Tabela 11 – Orientações para o acondicionamento, preservação, volume necessário e tempo para análises de amostras de água. Fonte: CETESB (2007)

Parâmetro	Frasco	Preservação	Volume (ml)	Prazo de Validade
Acidez/ Alcalinidade,	P, V	Refrigerar a 4 ± 2 °C	250	24 horas
Cor, Turbidez, PH	P, V	Refrigerar a 4 ± 2 °C	250	48 horas 15 minutos (pH)
Condutividade	P, V	Refrigerar a 4 ± 2 °C	250	28 dias
Cianeto total	P, V	Adicionar NaOH até pH>12, Refrigerar e manter ao abrigo da luz	250	24 horas
Metais (em geral), Arsênio, Selênio Boro, Mercúrio, Dureza	P, V (1)	Adicionar HNO ₃ até pH<2	250	6 meses 6 meses 28 dias (boro) 28 dias (mercúrio)
Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico Nitrogênio kjeldahl, Fósforo total*	P, V	Adicionar H ₂ SO ₄ até pH 1,5, Refrigerar a 4 ± 2 °C	500	7 dias 7 dias 7 dias 28 dias (fósforo)
Nitrato, Nitrito, Sulfato, Cloreto, Fluoreto,	P, V	Refrigerar a 4 ± 2 °C	250	48 horas
Sólidos	P, V	Refrigerar a 4 ± 2 °C	500	7 dias
Sólidos sedimentáveis	P, V	Refrigerar a 4 ± 2 °C	1500	24 horas
Carbono Orgânico Dissolvido	V	Adicionar H ₂ SO ₄ até pH 2, Refrigerar a 4 ± 2 °C	300 ml	7 dias
Substâncias Orgânicas voláteis (varredura)	V (3)	Refrigerar a 4 ± 2 °C	2 frascos de 60 ml	14 dias

(1) Lavar com solução a 10% de HNO₃ e enxaguar com água destilada ou osmose reversa.

(2) Para determinação de espécies químicas dissolvidas, filtrar a amostra no momento da coleta.

(3) O frasco deve estar totalmente preenchido, sem volume morto. O frasco deve ter tampa rosqueável com septo de silicone faceado com teflon. Alternativamente pode ser utilizado frasco com tampa de vidro esmerilhado. Utilizar papel alumínio para envolver o frasco.

P : frasco de polietileno ou polipropileno. V : frasco de vidro borosilicato.

Os valores indicados na coluna volume (ml) correspondem às quantidades mínimas necessárias para análise segundo os métodos hoje empregados nos Laboratórios da CETESB.

Parâmetros Não Listados : Observar disposição das referências abaixo.

Referências: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 20th ed., 1998.

*U. S. Environmental Protection Agency. 1983 - Sample preservation. pp.xv-xx. In Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, EPA-600/4-79-020. U.S.E.P.A., Cincinnati, Ohio, USA

As análises das águas subterrâneas deverão ser realizadas por laboratórios ou instituições selecionados pela CPRM. Visto se tratar de uma rede nacional, em que os dados serão analisados de forma integrada, é importante que os laboratórios selecionados apresentem metodologias e limites de quantificação semelhantes que permita a comparação e o tratamento estatístico.

Como rotina de avaliação da qualidade dos resultados analíticos e da representatividade destes para o aquífero deverá ser instituído o procedimento de realização do balanço iônico.

Um aspecto a ser tratado de forma bastante criteriosa refere-se à seleção de parâmetros adicionais àqueles definidos como mínimos para o programa de monitoramento (Tabela 7) e que deverá basear-se nos aspectos de uso e ocupação dos terrenos, nas características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas e no comportamento dos poluentes.

Como forma de orientação para escolha desses parâmetros é apresentada a Tabela 12 extraída do documento preparado pela European Commission (2004) e que constitui um exemplo de elementos e compostos que têm sido analisados em programas de monitoramento no Reino Unido. Complementando esta listagem, European Communities (2007) estabelece como critérios de seleção:

1) Propriedades ecotoxicológicas e toxicológicas dos poluentes. A priorização de substâncias deve ser baseada na avaliação do risco direto para organismos aquáticos e o risco indireto para a saúde humana em decorrência do consumo de água, de organismos aquáticos e de vegetais. O risco para organismos aquáticos deve ser avaliado a partir da interação da água subterrânea com os corpos d'água superficiais.

2) Características intrínsecas dos poluentes. Devem ser analisadas as propriedades físico-químicas, em particular dos compostos orgânicos, entre eles: a solubilidade na água, a densidade relativa, a persistência, parâmetros de partição associados às características dos solos (e.g. coeficiente de adsorção). Estes dados permitem ampliar o conhecimento a respeito do que pode vir acontecer ao meio ambiente tanto na superfície, quanto em subsuperfície e nos corpos d'água.

3) Pressões antropogênicas. As pressões antropogênicas devem ser sempre consideradas na determinação dos compostos e elementos a serem analisados. A relação de parâmetros não deve se restringir aos usos atuais, mas também aqueles antigos e que podem não mais existir o exigirá uma investigação junto a órgãos locais ou moradores da região.

- Agricultura, pastagem, pecuária: fertilizantes; produtos para proteção de plantas e biocidas; poluentes derivados do esterco e resíduos de pocilgas, aviários, currais etc; e produtos farmacêuticos - antibióticos, hormônios etc.
- Atividades industriais: produtos para polimento e remoção de gordura na manufatura de metais, para tecelagem, para pintura e tintura, detergentes, produtos para galvanização, bem como aqueles usados em curtume, mineração e na extração de combustíveis fósseis.
- Atividades municipais (redes de esgoto, áreas de recreação): fertilizantes, produtos para proteção das plantas, biocidas.
- Locais de disposição de resíduos (lixões, aterros): lixiviados.
- Sobreexploração de água subterrânea: incremento no conteúdo em sais, concentração ou redução de poluentes de águas poluídas existentes nas imediações.

A época das coletas deverá ser sempre avaliada e ser, de certo modo, coincidente para evitar efeitos sazonais que reduzam a capacidade de análise de tendências químicas e de comparação entre as amostras.

A análise do estado químico da água subterrânea deverá ser baseada em três aspectos (EUROPEAN COMMISSION, 2004):

- A concentração de poluentes não deve exibir os efeitos de intrusões salinas determinadas por mudanças na condutividade;
- A concentração de poluentes não deve exceder os padrões de qualidade aplicáveis;
- A concentração de poluentes não pode ser tal que comprometa os objetivos ambientais para as águas superficiais associadas, nem promova a redução

significativa da qualidade química e ambiental de tais corpos ou ainda produza qualquer dano aos ecossistemas terrestres que dependem diretamente do corpo de água subterrânea.

Tabela 12 – Critérios para seleção de parâmetros de análise com base no Uso da Terra.
Fonte: European Commission (2004)

Parâmetros	Uso da Terra				
	Agricultura	Pastagens	Reflorestamento	Urbano	Pecuária
Íons Maiores	✓	✓	✓	✓	✓
Metais Traços				✓	
Inorgânicos Especiais				✓	
Pesticidas Organonitrogenados	✓		✓		✓
Pesticidas Organoclorados	✓				
Herbicidas Ácidos	✓	✓		✓	
Pesticidas	✓			✓	
Fenóis				✓	
VOCs – Compostos Orgânicos Voláteis				✓	
PAHs Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos				✓	
Orgânicos Especiais	✓				✓

10.10. Operação da rede de monitoramento

A operação da rede envolve a visita periódica aos pontos de monitoramento para coleta dos dados armazenados nos dataloggers, medidas manuais de nível d'água para avaliação dos registros feitos pelo equipamento automático, conservação e limpeza da área protegida do poço ou infiltrômetro, manutenção dos equipamentos e periodicamente, coleta de amostras para análises químicas.

Estas atividades ficarão a cargo de equipes formadas por um hidrotécnico, devidamente treinado, acompanhado de um auxiliar. A periodicidade de visita deverá ser mensal, ao menos nos primeiros meses, para se comprovar o funcionamento adequado dos equipamentos. Após esse período experimental, a frequência poderá ser estendida para até 3 (três) meses.

10.11. Consistência, Análise, Tratamento e Interpretação dos dados

Os dados coletados nos dataloggers serão submetidos a uma análise de consistência que consiste na correção dos seguintes problemas de ocorrência mais comum (KIANG, 2008):

- *Gaps*: Falhas na continuidade, causadas pelo mal-funcionamento da instrumentação (quedas de energia, travamento do sistema, etc). Podem ser corrigidos por interpolação

- *Offsets*: Quando há uma mudança brusca no valor medido, causado pelo deslocamento da sonda (acidental ou deliberado, quando é necessário ajustar a posição acompanhando a variação natural do NA).

A partir dos dados consistidos será feito o tratamento baseado principalmente em procedimentos estatísticos. Cálculo da média, mediana, variância, mínimo, máximo são, geralmente, os primeiros passos de avaliação dos dados. Técnicas mais sofisticadas (e.g. análises de correlação, análises de séries temporais, análises geoestatísticas) deverão ser implementadas para otimizar possíveis limitações quanto à densidade e localização da estações de monitoramento, à frequência de amostragem e ao número de variáveis monitoradas.

É preciso enfatizar que a interpretação dos dados requer informações meteorológicas, em especial de pluviosidade. Caso os poços de observação estejam instalados em aquíferos aluvionares ou com conexão hidráulica com corpos d'água serão necessárias também as séries históricas de vazão. Deste modo, é fundamental que durante a seleção dos pontos seja feita a avaliação da rede pluviométrica e fluviométrica existente e considerada a possibilidade de expansão para atendimento ao monitoramento de poços.

Todos os procedimentos mencionados deverão ser devidamente padronizados, garantindo a qualidade dos dados que serão disponibilizados. Estas atividades serão de responsabilidade dos hidrogeólogos responsáveis pelo programa nas unidades regionais, auxiliados por hidrotécnicos treinados.

10.12. Armazenamento e disponibilização dos dados

Como apresentado no item 8.10, o SIAGAS será adotado como o sistema para consistência e armazenamento dos dados contínuos que serão gerados no monitoramento depois de promovida sua reestruturação para esse fim. Deverá ser criado também o módulo de disponibilização e visualização dos dados gerados no programa de monitoramento.

As modificações necessárias serão feitas por empresa contratada, orientada e supervisionada por técnicos da CPRM. Apresenta-se abaixo a concepção que se almeja para o módulo de monitoramento do SIAGAS:

- Lançamento dos dados de monitoramento em mapas (hidrogeológico, imagens de satélite, planimétricos, bacias hidrográficas etc.)
- Apresentação em mapa dos poços de observação e das estações hidrometeorológicas;
- Opção de *links* de acesso aos dados das estações hidrometeorológicas;
- Opção de *links* para programas regionais de monitoramento;
- Opção de busca por aquífero, bacia, estado, município;
- Apresentação das informações detalhadas dos pontos de observação (perfil litológico, perfil construtivo, dados de teste de bombeamento)
- Apresentação de análises estatísticas em conjunção com gráficos.

10.13. Elaboração de relatórios anuais

Relatórios anuais serão elaborados a partir da análise e interpretação dos dados. A estrutura e formatação serão objetos de padronização, entretanto entende-se que as informações necessárias a estes documentos são: as incertezas dos resultados do monitoramento, advindas de suas diversas etapas; a variabilidade no tempo e no espaço

dos parâmetros monitorados para os aquíferos contemplados; a análise estatística dos dados; a interpretação conjunta com os dados climatológicos, fluviométricos e de infiltração; avaliação crítica do monitoramento quanto ao atendimento aos objetivos traçados para o programa e indicações de ajustes, caso sejam necessários.

11. EQUIPE TÉCNICA

É fundamental que seja organizada uma estrutura interna **permanente** para a construção, operação, tratamento, armazenamento e disponibilização dos dados. Esta estrutura inclui equipe, de preferência, **integralmente** dedicada à rede envolvendo hidrogeólogos e técnicos. Em consonância com os aquíferos selecionados e as unidades regionais que estarão inicialmente envolvidas com a rede, foi estimado, para o ano de 2009, o número mínimo de 8 (oito) hidrogeólogos, um em cada unidade, para a coordenação regional das atividades. Este número deverá ser aumentado para 11 (onze) com a ampliação futura da rede para os aquíferos não contemplados.

Ainda que a rede de monitoramento utilize-se, ao menos parcialmente, da estrutura hoje existente (hidrotécnicos, veículos etc) para a rede hidrometeorológica, é importante que não haja dependência desta organização para sua operação. Para a instalação dos instrumentos de medição e operação da rede foram previstos, para 2009, 8 (oito) hidrotécnicos e 8 (oito) auxiliares.

As atividades de consistência preliminar de dados e inserção desses no banco SIAGAS serão realizadas por hidrotécnicos (ou técnicos de informática), em número total de 8 (oito), devidamente treinados e supervisionados pelo responsável regional do Programa.

Além desses profissionais, foram considerados também 3 técnicos em informática, que deverão ficar lotados no escritório do Rio de Janeiro e farão a alimentação da Web SIAGAS com os dados brutos e consistidos, a manutenção do site, a integração com redes estadual e local, o suporte aos usuários e etc. A coordenação do trabalho desses técnicos será feita por um analista de sistemas.

A atividade inicial de estabelecimento de contatos com órgãos gestores estaduais e companhias de saneamento ficará a cargo de representantes do DEHID e hidrogeólogos de diferentes unidades regionais, abrangendo as várias regiões do país.

12. CRONOGRAMA FÍSICO PREVISTO

O programa de monitoramento de água subterrânea é de caráter permanente. Os custos para implantação do programa deverão ser mais elevados do que aqueles em que, com a rede instalada e em funcionamento, os gastos estarão basicamente relacionados à operação e a análise, consistência e tratamento dos dados.

Para os anos de 2009-2010 foi prevista a instalação de 200 pontos de observação sendo 100 poços tubulares existentes e 100 piezômetros construídos. O cronograma físico de execução das atividades do programa encontra-se apresentado na Tabela 13.

Tabela 13. Cronograma Físico de Execução das Atividades do Programa de Monitoramento

CRONOGRAMA FÍSICO	2009									2010					
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Etapa 1 - Realização de visitas aos órgãos estaduais e estabelecimento de termos de cooperação	█	█													
2. Preparação de termo de referência para aquisição de equipamentos		█													
3. Seleção dos pontos e locais de monitoramento			█	█											
4. Preparação de diagnósticos a respeito dos aquíferos definidos.				█	█										
5. Realização de visitas a campo					█	█	█								
6. Preparação de padrões para o programa	█	█	█												
7. Perfuração de poços de observação e construção de infiltrômetros							█	█	█				█	█	█
8. Instalação dos equipamentos de medição										█	█			█	█
9. Coleta de amostras de água e seleção de parâmetros							█	█	█	█				█	█
10. Operação da rede de monitoramento											█	█	█	█	█
11. Estruturação do SIAGAS para consistência, armazenamento e disponibilização dos dados e criação de visualizador na Web				█	█	█	█	█	█	█	█				
12. Consistência, Análise, Tratamento e Interpretação dos dados												█	█	█	█
13. Armazenamento e disponibilização dos dados													█	█	█

13. PRODUTOS

Para esta fase inicial de implantação da rede de monitoramento, os produtos esperados correspondem a 200 pontos de observação instalados, entre poços existentes e construídos, e relatórios trimestrais de desenvolvimento do programa.

Indicador físico primário: Poços de observação instalados

Indicador físico secundário: Relatórios trimestrais

14. BENEFÍCIOS ESPERADOS

A rede de monitoramento de água subterrânea, de âmbito nacional, irá promover a ampliação do conhecimento hidrogeológico para os principais aquíferos do país e fornecerá suporte às medidas de proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos. A integração com a rede hidrometeorológica irá auxiliar na gestão conjunta dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Além disso, irá fortalecer o papel do Serviço Geológico do Brasil como órgão responsável pela geração e disponibilização de dados e informações relativos aos recursos hídricos do país.

15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. *Educação. Poços para captação de água. Roteiro para a contratação, construção e instalação. Como contratar uma empresa de perfuração de poços*. Disponível em: <http://www.abas.org.br/educacao_pocos.php>. Acesso em 22 jan. 2009.

ABAS. Concluído o novo zoneamento de exploração de águas subterrâneas em Recife. *Jornal ABAS Informa*. São Paulo, n. 130, set. 2002.

AESA. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. João Pessoa: AESA. – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba Relatório Final. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em 15 ago. 2008.

AMORE, L. Aspectos do Desenvolvimento e Implementação da Rede de Monitoramento do Projeto Aquífero Guarani In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG, 2006. 1 CD-ROM.

ANA. Agência Nacional de Águas. *Informações Hidrológicas. Projetos e Programas. Rede Hidrometeorológica Básica*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/docs/RedeHidrometeorologicaBasica.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2008.

ANA. *Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA – Agência Nacional de Águas. 2005a. Cadernos de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/01%20Disponibilidade%20e%20Demandas/VF%20Disponibilidade%20Demanda.pdf. Acesso em: 01 ago. 2008.

ANA. *Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil*. Agência Nacional de Águas. 2005b. Cadernos de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/02b%20Panorama%20da%20Qualidade%20C1guas%20Subterr%20neas/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf. Acesso em: 01 ago. 2008.

BOMFIM, L.F.C. & GOMES, R.A.D. 2004. Aquífero Urucuia – Geometria e espessura: idéias para discussão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, Cuiabá. *Anais...ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, 2004. CD-ROM.

CETEC. *Estudos Integrados de Recursos Naturais: Bacia do Alto São Francisco e Parte Central da Área Mineira da SUDENE, Hidrologia Subterrânea*. 1984. Belo Horizonte: CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 274p. (inclui mapas)

CETEC. *Estudos Integrados de Recursos Naturais: Bacia do Alto São Francisco e Parte Central da Área Mineira da SUDENE, Hidrologia Subterrânea*. 1984. Belo Horizonte: CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 274p. (inclui mapas)

CETESB. *Águas Subterrâneas. Rede de Monitoramento. Resultados 2004-2006*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/rede_resultados.asp> Acesso em: 01/10/2008.

CETESB. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo: CETESB/SEMA, 1987. 150p.

CETESB. *Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2001 – 2003*. São Paulo: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2004. 106p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/publicacoes.asp>. Acesso em: 06 ago. 2008.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas. Anexo 3. Metodologia do monitoramento de qualidade de águas subterrâneas. Período 2004-2006. São Paulo: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/publicacoes.asp>> . Acesso em: 12 ago. 2008.

COGERH. *Implantação do Sistema de Monitoramento/Gestão de uma Área Piloto do Aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri, no Estado do Ceará*. Subprograma de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos para o Semi-Árido Brasileiro. PROÁGUA / SEMI-ÁRIDO. Fortaleza: COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2001. Disponível em: <<http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/elaboracao-de-estudos-e-projetos-sobre-recursos-hidricos/aguas-subterraneas/projetos/implantacao-do-sistema-de-monitoramento-gestao-de-uma-area-piloto-do-aquifero-missao-velha-2013-proagua/download>>. Acesso em: 01 ago. 2008

COSTA, W.D. 1994. *Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semiárido nordestino*. Projeto ÁRIDAS. Brasília, Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República. 53 p. (GT II – Recursos Hídricos, Versão Preliminar).

COSTA, W.D. e COSTA FILHO, W.D. 2004. A gestão dos aquíferos costeiros de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, Cuiabá. *Anais... ABAS*. 2004. CD-ROM.

CPRH. Diagnóstico Socioambiental - Litoral Norte. *O Meio Físico da Área. Recursos Hídricos Subterrâneos*. CPRH/ MA - PNMA11. 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idconteudo=460> . Acesso em: 03 ago. 2008.

CUTRIM, A. O; REBOUÇAS, A.C. Aplicação de sondagem elétrica vertical na estimativa do topo e da espessura de unidades geológicas da bacia do Paraná na cidade de Rondonópolis-MT. *Rev. Bras. Geof.*, v. 23, n.1, Jan./Mar. 2005.

EPA. Practical Guide for Ground-Water Sampling. Illinois: EPA - U.S. Environmental Protection Agency. , 1985. 94p.

EUROPEAN COMMISSION. *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Groundwater Monitoring*. Technical report on groundwater monitoring as discussed at the workshop of 25th June 2004. Version 0.5.13.12-2004.

DIAS, C. L.; BARBOUR, E. D. A.; MODESTO, R. P.; CASARINI, D. C. P. A Importância do Monitoramento das Águas Subterrâneas na Gestão dos Recursos Hídricos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, 2008, Natal: ABAS, 2008. 1 CD-ROM

EUROPEAN COMMUNITIES. *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No15. Guidance on Groundwater Monitoring*. Technical Report – 002 – 2007. 2007. Luxemburgo: European Communities, 52p.

GASPAR, M. T. P. *Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão*. 2006. Tese (Tese de Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

GOMES, D. C. *Transferência de Tecnologia em Modelamento de Águas Subterrâneas Aplicado a um Aquífero Sedimentar no Nordeste Brasileiro*. Cooperação Canadá – Brasil. Projeto Água Subterrânea no Nordeste do Brasil – PROASNE. 2002. Relatório Fase 1: Missão de Reconhecimento Local. Disponível em: <http://proasne.net/Phase1_Report_Pt.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2008.

GONÇALVES, R, L. F. A Importância do Monitoramento nas Empresas de Saneamento. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG, 2006. 1 CD-ROM.

KIANG, C. H. Monitoramento de Águas-Subterrâneas. Experiências em uma porção da Formação Rio Claro. In: SEMINÁRIO PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE REDE NACIONAL DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2008, São Paulo: CPRM/SUREG-SP, 2008.. Documento interno.

KIANG, C. H.; CARNIER NETO, D. Automação no Monitoramento de Águas Subterrâneas. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG, 2006. 1 CD-ROM.

KOREIMANN, C.; GRATH, J.; WINKLER, W.N.; VOGEL, W. R. *Groundwater Monitoring in Europe*. European Topic Centre on Inland Waters. Copenhagen: European Environment Agency.. 1996. 140p.

LOPES, J. T. *Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido*. 2004. *Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica)* - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

LOPEZ-VERA, F. Estado Actual del Monitoreo en la Unión Europea. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG, 2006. 1 CD-ROM.

- MARTINEZ, N. O. V. *Monitoreo de Águas Subterrâneas*. Bogotá: IDEAM – Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales. 2004. Disponível em: <<http://www.ideam.gov.co/temas/guiaagua/index4.htm>> . Acesso em: 08 ago. 2008.
- MELO, J. G.; STEIN, P.; VASCONCELOS, M.B.; SILVA, F. H. R. *Fatores condicionantes na recarga do Aquífero Açu na borda sudoeste da Bacia Potiguar (RN)*. 2007. Disponível em: <http://en.scientificcommons.org/22762730>. Acesso em: 08 ago. 2008.
- MONTES, M. L. *Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão. Diretrizes Gerais para a Ordenação Territorial*. Salvador: IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Divisão de Geociências da Bahia. 1997. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/diagnosticos_levantamentos/maranhao/mapa.htm Acesso em: 30 de jul. 2008
- MOURÃO, M.A.A.; LIMA, J.E.S.; MONTEIRO, E.A. 2002. Os sistemas aquíferos do norte do Estado do Espírito Santo: Potencial de exploração e diagnóstico atual de aproveitamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, 2002, Florianópolis. *Anais...* 2002. CD-ROM.
- MOURÃO, M.A.M.; CRUZ, W. B.; GONÇALVES, R. L. F. Caracterização Hidrogeológica da Porção Mineira da Bacia Hidrográfica do São Francisco. In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. (Ed.). *Bacia do São Francisco. Geologia e Recursos Naturais*. Belo Horizonte: SBG, 2001. p.327-349.
- OLIVEIRA, L. A.; CAMPOS, J. E. Parâmetros Hidrogeológicos do Sistema Aquífero Bauru na Região de Araguari/MG: Fundamentos Para a Gestão do Sistema de Abastecimento de Água.. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 2, p. 213-218, 2004.
- PROASNE. *Modelamento Matemático da Área de Recarga do Aquífero Açu, Rio Grande do Norte*. Projeto Água Subterrânea no Nordeste do Brasil. Cooperação Brasil-Canadá. Disponível em: <http://proasne.net/acufinalreport.html>. Acesso em: 20 jul. 2008.
- REBOUÇAS, A.C. 1980. Potencial hidrogeológico da Bacia do Paraná - Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 1980, Recife. *Anais...* ABAS- Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1980. p. 35-47.
- RIBEIRO, J. A. *et al. Diagnóstico mineral da região do Cariri*. Fortaleza: CPRM, 1996. 42p.
- RURALMINAS. Fundação Rural Mineira. Hidrogeologia. In: *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia de Afluentes do Rio São Francisco, em Minas Gerais*. Belo Horizonte: MMA/SRH/SEAPA/RURALMINAS/SEMAD/IGAM - Consórcio Ecoplan/Magna/Cab, Tomo 8 v.1, 120p.
- SEMAR. *Implantação de Sistemas de Controle de Vazão em Poços Jorrantes no Vale do Gurguêia, Estado do Piauí*. Teresina: SEMAR - Secretaria de Meio Ambiente E Recursos Naturais, 2006. Disponível em: <<http://www.semar.pi.gov.br/arquivos/publicacoes/ProjetoBasico-ContVazao30PocosMI-TextosRevMAI-0639.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2008.
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. *Projeto Aquíferos*. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/projetos11.php>> Acesso em: 10 nov. 2008.

SRH/MMA. *Programa de Estruturação Institucional para a Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos - BRA/OEA/01/002*. Caderno Regional da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia Brasília – DF. 2006. Disponível em: http://www.semarnh.goias.gov.br/protar/documentos/caderno/caderno_51-62.pdf. 2008. Acesso em: 30 jul. 2008

VELÁSQUEZ, L. N. M. (2008). *Ênfase no Estudo da Recarga Aquífera no Projeto Processos Geradores de Concentração Anômala de Fluoreto na Água Subterrânea em Região Semi-Árida: Estudo de Caso em Aquífero Cárstico-Fissural do Grupo Bambuí em Verdelândia, Minas Gerais*. Plano de Trabalho. Edital Fapemig 03/2008. Programa Pesquisador Mineiro. 2008. Inédito

VERÍSSIMO, L. S. (1999). *Importância das Águas Subterrâneas para O o Desenvolvimento Sócio Econômico do Eixo Crajubar, Cariri Ocidental - Estado do Ceará*. 1999. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 1999.

VIDAL, C. L. R. *Disponibilidade e Gerenciamento Sustentável do Aquífero Serra Grande no Município de Picos – Piauí*. 2003. 194f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

VIOLA, Z. G. G.; FRÓES, C. M.; ALMEIDA, M. C.; ALMEIDA, K. C. B.; MELO, F. S. D.; MELO, R. C.; COELHO, P. S.; SARAIVA, V. K.; PEREIRA, K. M. M. S.; BARROS, C. F. A.; NACIF, W. F.; PAIXÃO, M. M. O. *O Atual Estágio do Monitoramento no Estado de Minas Gerais*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG, 2006. 1 CD-ROM.

VRBA, J. *The Role of Groundwater Monitoring in the Management of Groundwater Resources*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG, 2006. 1 CD-ROM.

WERLANG, J. L.; SANTOS, P. R. P.; VILELA, G. M. *Monitoramento das Águas Subterrâneas na Região do Pólo Industrial de Camaçari*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG, 2006. 1 CD-ROM.

ANEXO 1 – Texto síntese das discussões ocorridas no Workshop de Monitoramento de Águas Subterrâneas. Brasília, 9 a 11 de Dezembro de 2008.

Monitoramento das águas subterrâneas no Brasil (pensamos um título chamativo)

Dr. Ricardo Hirata

Dezembro 2008

Introdução

Nas duas últimas décadas, os estudos de caracterização de solo e água subterrânea contaminados e a sua remediação têm impulsionado o desenvolvimento do monitoramento ambiental no Brasil. O mercado nacional tem respondido positivamente a esta demanda trazendo novas tecnologias e equipamentos, bem como formando e treinando hidrogeólogos especializados nessa área. Muitos sítios contaminados têm sido monitorados com as mesmas tecnologias empregadas em países europeus e norte americanos.

De outro lado, o monitoramento regional (tipicamente <1:100.000), característico de redes nacionais e estaduais, não tem recebido a mesma atenção. Exceto nos estados de São Paulo e Paraná e algumas regiões do nordeste brasileiro, não há no país redes que permitam uma avaliação dos recursos hídricos subterrâneos em uma escala não local.

Redes regionais têm características intrínsecas que limitam a sua eficiência. A raiz desse problema reside basicamente na forma de obtenção da informação hidrogeológica que se monitora, que é através de poços tubulares de produção ou poços dedicados (especialmente desenhados para o monitoramento). Poços que servem ao monitoramento são por essência 'míopes', isto é, não têm a capacidade de 'enxergar' um evento a uma distância maior que algumas dezenas ou centenas de metros a partir de seu centro, tanto para o monitoramento de qualidade como de quantidade. Quando o poço não está em bombeamento, esse raio se reduz a alguns metros.

Em estudos de sítios contaminados (tipicamente >1:10.000), aumentar a densidade é a resposta natural a esta 'miopia', entretanto, em estudos regionais, tal procedimento é inviável economicamente, sobretudo em países com a dimensão do Brasil.

Desenvolver uma rede de monitoramento que quer dar conta de detectar problemas de qualidade ou de quantidade é um grande desafio que se coloca aos órgãos de gerenciamento dos recursos hídricos no país, sobretudo quando se reconhece que o monitoramento é parte essencial de qualquer programa de gerenciamento de recursos hídricos (Fig. 1).

Este documento quer discutir alguns pontos chaves para subsidiar a construção de uma rede de *monitoramento nacional e*

Limitações do monitoramento das águas subterrâneas em escala regional

O uso de poços de produção de água (poços tubulares) em redes de monitoramento é uma prática muito comum, devido ao seu menor custo, sobretudo, de implantação. Os poços dedicados de monitoramento se distinguem dos poços de produção pela sua seção filtrante, geralmente menor e posicionada em níveis geológicos específicos. Embora essas características façam que uma rede de monitoramento baseada em poços dedicados tenha vantagens, os poços de bombeamento capturam um volume maior de água e suas áreas de monitoramento são igualmente maiores, permitindo acompanhar um maior volume do aquífero.

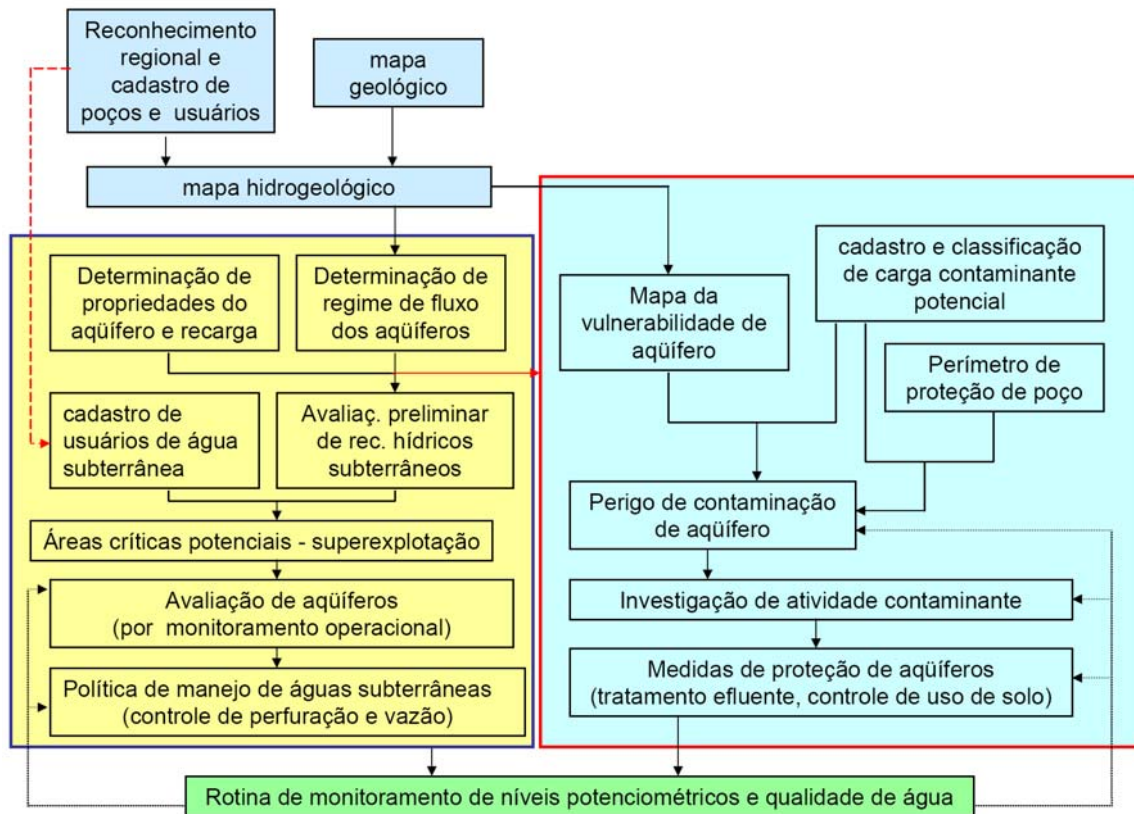


Figura 1. O monitoramento dentro de um programa integrado de gestão de qualidade e quantidade das águas subterrâneas (Foster & Hirata 1988; Foster et al. 2002)

Listam-se as maiores limitações que poços de produção têm para o monitoramento de qualidade e quantidade de aquíferos:

a) estratificação da pluma de contaminação no aquífero: qualquer variação vertical da concentração de uma pluma contaminante traz problemas de interpretação. Os poços de produção geralmente mesclam as águas de diferentes níveis e, por conseguinte, diferentes concentrações e idades, resultando em amostras compostas, com concentração geralmente menor que as observadas nos diferentes níveis do aquífero (Figura 2: colocar);

b) áreas de recarga e descarga de aquíferos: áreas de recarga e descarga são caracterizadas por fluxos verticais descendentes e ascendentes das águas subterrâneas, respectivamente. Quando o poço tem filtros em várias posições e esses cruzam diferentes linhas potenciométricas, ocorrerá um fluxo através do poço, que apresenta uma permeabilidade de várias ordens de magnitude maior que a do aquífero circundante. Assim, a amostra coletada no poço, independentemente da sua profundidade, terá a mesma origem. Poços abertos nessa situação acabam também contaminando as águas das porções superiores ou inferiores do aquífero (Figura 3: colocar);

c) poços de produção parcialmente penetrantes e a interceptação de diferentes linhas de fluxo das águas subterrâneas: poços parcialmente penetrantes capturam apenas alguns tubos de

fluxo horizontal do aquífero permitindo, algumas vezes, que porções contaminadas do aquífero não sejam detectadas (Figura 4: colocar).

d) carga hidráulica menor em poços de produção: os poços de produção têm carga hidráulica menor que o nível freático em área de recarga e maior, em área de descarga, pois interceptam linhas potenciométricas menores e maiores que as observadas no nível freático. Assim, se a constatação de queda do nível estiver relacionada a poços de diferentes profundidades, é provável que se gerem interpretações errôneas da hidráulica do aquífero (Figura 5: colocar).

e) tempo de estabilização hidráulica dos poços de produção: os poços de produção estão geralmente operando, dificultando o reconhecimento dos níveis potenciométricos do aquífero, que para serem adequadamente medidos terão que aguardar a estabilização, que pode tomar dezenas de horas (Figura 6: colocar).

Figuras 2 ate 6

Programa de monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos.

O monitoramento se define como o acompanhamento temporal e espacial de parâmetros hidráulicos e/ou físico-químicos de um 'corpo de água subterrâneo' (um aquífero, grupo de aquíferos ou parte de um aquífero), que subsidie decisões para um manejo adequado dos recursos hídricos, permitindo a sua preservação ou o seu uso econômico, social e ambiental racional.

O sucesso do monitoramento está diretamente ligado aos seus objetivos. Uma vez se definindo a área geográfica de interesse, a partir de uma análise de prioridades, se estabelecem os objetivos a que o monitoramento vai atender (Fig. 2). Nesse momento, é importante distinguir os limites de uma rede de monitoramento de abrangência regional, em oposição às redes locais. Em um monitoramento regional de **qualidade**, redes regionais podem identificar os seguintes problemas ambientais:

- a)** determinar a qualidade química natural do aquífero (*background*) e os valores de referência ambiental (ou o que é ambientalmente natural);
- b)** identificar a contaminação de corpos de água subterrânea de atividades antrópicas de caráter disperso ou multipontual (atividades agrícolas, áreas urbanizadas, áreas de alta densidade de indústrias);
- c)** avaliar os impactos na química das águas causados por eventos atmosféricos (como chuva ácida, por ex.)

Para o acompanhamento da **quantidade**, as redes regionais podem:

- a)** detectar quedas de níveis hidráulicos em áreas de alta densidade de ocupação e/ou de uso da água subterrânea;
- b)** detectar problemas de intrusão salina ou de águas de baixa qualidade química em áreas de exploração não controlada do aquífero.

Tanto para os casos de qualidade como de quantidade, as redes servem também para:

- a)** coletar novas informações da hidrogeologia e da hidrogeoquímica, para melhorar o entendimento do modelo conceitual de circulação de um corpo de água subterrâneo;
- b)** confirmar e acompanhar a efetividade das medidas de gestão das águas (de forma muito restrita);
- c)** criar indicadores das águas subterrâneas dirigidos à conscientização da população e da sociedade para a gestão dos recursos hídricos.

A construção de uma rede nacional de monitoramento das águas subterrâneas

O gerenciamento das águas subterrâneas no país é de responsabilidade dos estados federados. Cabe aos órgãos estaduais o monitoramento das águas subterrâneas, como base para esse gerenciamento. Desta forma, entende-se que uma rede nacional de monitoramento deverá ser conformada pela somatória das redes estaduais já instaladas e de outras redes de caráter extensivo existentes, como aquelas operadas pela CPRM. É desejável, ademais, que os poços que são monitorados com frequência definida, pelas operadoras do serviço de água e esgoto, sejam incorporados às redes estaduais. Da mesma forma, outra base de dados, como aquela operada pelo DNPM para águas minerais, também o faça.

Os dados de monitoramento das redes estaduais deverão ser disponibilizados para o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), operado pelo governo federal.

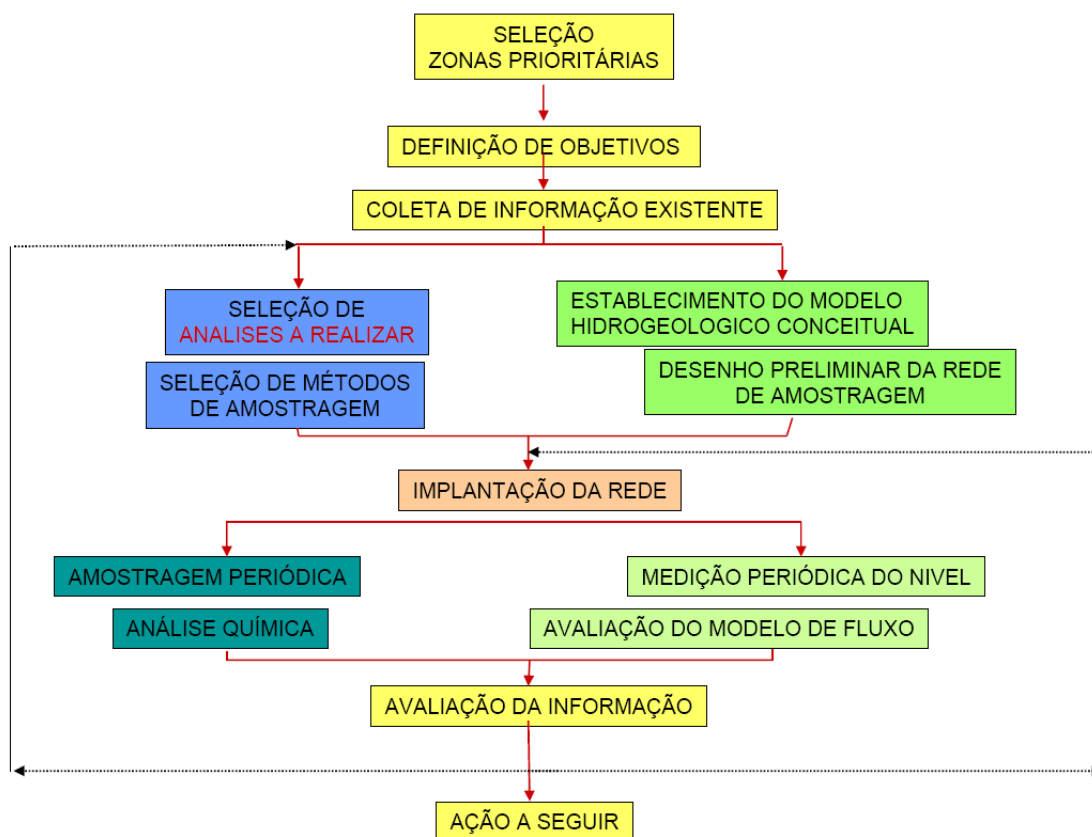


Figura 7. Partes de um programa de monitoramento da qualidade e quantidade das águas subterrâneas (Foster & Gomes 1989)

Devido a esse 'caráter fracionado' da rede nacional é importante que tanto os critérios de tomada de amostras e medições em campo, como os demais procedimentos de preservação e análise laboratorial sejam padronizados, a fim de permitir uma boa comparação de resultados a nível nacional. Entende-se que esse processo de homogeneização ocorra de forma gradual e uma ampla discussão sobre esses critérios seja implementada entre todos os estados. Até lá, é mais importante que os dados das redes sejam gerados e compilados, embora se reconheçam problemas locais de não padronização.

Seleção de poços para conformar a rede de monitoramento regional

A seleção de poços existentes ou áreas para a instalação de novos poços é uma fase importante em um programa de monitoramento. Considerando-se a 'miopia' dos poços de monitoramento, ter o menor número de poços que atenda aos objetivos da rede de monitoramento é um desafio técnico importante, sobretudo em redes estaduais. Para conformar uma rede regional para monitorar a **qualidade** das águas subterrâneas, dentro dos objetivos indicados nesse trabalho, a escolha dos poços deve atender aos seguintes critérios, em ordem de prioridade:

- a)** áreas onde há maior demanda pelos recursos hídricos subterrâneos, identificados por ter maior densidade de poços; áreas com maior exploração ou mesmo áreas de alta densidade populacional;
- b)** áreas ocupadas por atividades potencialmente poluidoras de fontes difusas e multipontuais (áreas urbanas, áreas agrícolas, mineração e áreas de grande densidade industrial), sobretudo se estas áreas estão associadas à maior vulnerabilidade à poluição;
- c)** áreas para o reconhecimento da hidrogeoquímica natural dos aquíferos;
- d)** áreas de maior vulnerabilidade à poluição; e
- e)** áreas de preservação de sistemas ecológicos importantes e aquíferos estratégicos (com potencialidade de uso futuro).

Para uma rede de **quantidade**, a prioridade na escolha da área deve recair nos seguintes critérios:

- a)** áreas onde há menor relação entre a disponibilidade *versus* a demanda (zonas com maior densidade de poços; zonas com maior exploração; zonas de conflitos conhecidos; ou zonas com alta densidade populacional);
- b)** áreas onde a água subterrânea é mais importante, sobretudo para o abastecimento público, ou área onde haja uma grande dependência do recurso subterrâneo, inclusive em suas funções com relação às águas superficiais (fluxo de base para manutenção dos usos múltiplos dos recursos hídricos na bacia) e intrusão salina;
- c)** áreas de preservação de ecossistemas;

É importante também para uma rede de caráter regional que a escolha dos poços ou das áreas para novos poços tenha como critérios adicionais:

- a)** a utilização de poços existentes, desde que esses tenham as informações de perfis construtivos e geológicos conhecidos e sejam, ademais, bem mantidos. Os poços a serem incorporados à rede deverão ter a área caracterizada em termos hidrogeológicos e geoquímicos.
- b)** a rede seja construída em um primeiro momento com poços existentes e, nos vazios de informações, a partir de poços novos; e
- c)** a rede tenha articulação com as redes existentes (redes hidrometeorológicas básica e setorial e redes hidrológicas básica e setorial).

É sempre desejável que a rede de monitoramento da qualidade seja distinta da rede de quantidade. Entretanto, por questões operacionais e de custos, é difícil manter redes separadas. Nesse caso, é mais prático pensar em uma rede com dupla função (mesmos poços medindo o nível hidráulico e a qualidade das águas) e, quando necessário, ter poços específicos para locais ou problemas determinados.

Seleção de parâmetros e frequência de amostragem

O acompanhamento de uma extensa lista de parâmetros físico-químicos e bacteriológico é desejável, mas bastante caro. A mesma limitação também se encontra na frequência de amostragem e na medição dos parâmetros hidráulicos de um poço. Otimizar tanto a frequência como os parâmetros de medição é importante para a sustentabilidade de qualquer rede de monitoramento.

No Brasil, reconhece-se como potável a água que cumpre a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, que incluem uma longa lista de parâmetros, entre outros, os íons maiores, menores, metais pesados, solventes orgânicos sintéticos, hidrocarbonetos, agrotóxicos, radionuclídeos, e os microorganismos. Os custos dessa lista ascendem a mais de milhares de reais, impossibilitando que esses parâmetros sejam repetidos rotineiramente. Portanto, a eleição de parâmetros indicadores é obrigatória, reconhecendo-se que esses apresentam limitações de

alcance. Assim, ter parâmetros indicadores é essencial para a sustentabilidade da operação de redes.

Entretanto, é fortemente recomendável que a primeira análise do poço contemple o maior número de parâmetros possíveis, incluindo os íons maiores e menores, metais pesados e parâmetros bacteriológicos, e, dependendo do uso e ocupação da área, hidrocarbonetos clorados ou não (SVOC e VOC) e agroquímicos (ver lista do Anexo 1, da Resolução CONAMA 396/08). Há necessidade da repetição desses parâmetros a cada cinco anos, ou quando haja variação estatística importante dos parâmetros indicadores.

Os parâmetros indicadores mais importantes são:

- a) condutividade elétrica;
- b) pH;
- c) temperatura;
- d) cloreto;
- e) nitrato; e
- f) carbono orgânico dissolvido.

Um parâmetro que está ganhando espaço entre os indicadores são os isótopos estáveis de oxigênio e hidrogênio. Por fazerem parte da molécula da água, esses elementos, são bons traçadores e indicadores de mudança de origem da água. Seu custo cada vez mais reduzido (ao redor de US\$ 100,00 no país, para o par) e a facilidade laboratorial crescente no Brasil fazem sugerir como uma boa escolha como parâmetro indicador.

Adicionalmente, os seguintes parâmetros hidráulicos devem ser medidos:

- a) nível estático;
- b) nível dinâmico e vazão, quando o poço é de produção, em operação; e
- c) vazão totalizada por mês (desejável) ou pelo menos por ano. Neste caso o poço obrigatoriamente tem que ter um hidrômetro.

A frequência de amostragem deverá ser função das características hidráulicas do aquífero, incluindo a sua geometria, tipo de aquífero, zona de recarga ou descarga e do próprio balanço hídrico da área e do uso do solo do entorno do poço ou da serventia e intensidade de exploração do próprio aquífero.

Caso não haja nenhuma indicação em contrário, devido à especificidade da área, é recomendável que a frequência de amostragem, medições hidráulicas e de características físico-químicas sejam realizadas semestralmente (em períodos de seca e de chuvas) e minimamente em uma base anual.

Já a frequência na coleta de dados hidráulicos deveria ser mensal, pelo menos no primeiro ano, para se entender o comportamento do poço, e semestral, a partir do segundo ano, caso seja proibitivo continuar com as medições com maior frequência. Em áreas de alta pressão de uso pela água ou onde se configure conflitos pelo uso da água, seria interessante que os poços de monitoramento dedicados tivessem medidores contínuos de nível, com uso de transdutores de pressão ou medições em bases mensais, minimamente.

Em qualquer escolha da frequência é importante que o operador da rede de monitoramento tenha claro o comportamento esperado do poço ou frente à demanda de água do aquífero ou frente ao impacto potencial antrópico.

O banco de dados do programa de monitoramento das águas subterrâneas

O banco de dados gerados no monitoramento deverá ser não apenas uma base com dados colhidos de diferentes redes estaduais, mas um sistema dinâmico que se valha das vantagens da Internet. Para isso, é importante que haja clareza nas diretrizes, incorporando processos de consistência, interpretação, compartilhamento e disponibilização ao público das informações do monitoramento.

Consistência: é importante que o dado passe por um processo de validação, tornando-o apto a representar uma realidade, dentro de um padrão estabelecido.

São atividades incluídas nesse item:

- a) promover e apoiar a qualificação das pessoas e das organizações para garantir a operação periódica e continuada de redes de monitoramento de águas subterrâneas e de consistência de dados;
- b) implementar programas de controle de qualidade dos dados;

c) incentivar a automação na obtenção de dados, do cadastro e do tratamento dos dados, com uso de ferramentas estatísticas e de controle de qualidade automática, com a possibilidade de revisão de dados pelo usuário.

Interpretação do dado: promover a análise de dados, transformando os dados em informação, a informação em conhecimento e esta tornada apta para a tomada de decisão.

Essa atividade deve incluir também:

a) disponibilizar ferramentas de interpretação amplamente disponíveis aos estados operadores das redes de monitoramento, mediante acordos de cooperação entre órgãos públicos.

Compartilhamento do dado e da informação: trocar dados entre diferentes sistemas de informações de águas subterrâneas e estes entre si. É importante que o sistema de águas subterrâneas também tenha franco acesso a outros sistemas de água superficial e meteorológicos.

São atividades incluídas nesse item:

a) estabelecer política de compartilhamento de dados entre entidades de diferentes níveis no SINGREH, em especial os municípios;

b) definir ferramentas de atualização freqüente de dados entre os diferentes sistemas;

c) criar um sistema único de leitura e atualização de bancos de dados de diferentes órgãos com diferentes plataformas e estruturas;

Disponibilização ao público: repassar as informações de forma ampla e democrática, promovendo o acesso ao público com informações que permitam o seu entendimento e a tomada de ação.

São atividades incluídas nesse item:

a) disponibilizar dados e informações para o público, respeitando a privacidade de cada nível de usuário e dos informantes;

b) transmitir informações em linguagem adequada a cada tipo de público alvo, incluindo a geração de um sistema de indicadores ambientais para ajudar na conscientização da situação dos recursos hídricos subterrâneos em bacias hidrográficas;

c) promover uma política de divulgação da existência e disponibilidade dos dados e informações geradas;

Idéias para melhorar as redes de monitoramento regional

Embora as redes de monitoramento regional apresentem várias limitações, é possível otimizar os resultados gerados, permitindo que seus alcances sejam ampliados. Sugerem-se algumas propostas:

a) as concessionárias de serviço de abastecimento de água para as populações são obrigadas por lei a realizarem análises químicas e bacteriológicas rotineiramente. Muitas delas operam poços tubulares e têm grande quantidade de informações sobre a qualidade das águas e sobre o regime de operação dos poços, incluindo seus níveis estáticos e dinâmicos. Essa informação poderia ser sistematizada e fazer parte das redes regionais de água subterrânea, servindo duplamente, à concessionária e aos órgãos responsáveis pelo manejo do recurso hídrico;

b) um poço em exploração está retirando água de uma porção específica do aquífero. Essa porção é conhecida como zona de captura (ZOC). A qualidade da água será função da ocupação antrópica na ZOC. Em poços que servem à rede de monitoramento é importante que a ZOC seja delimitada e a ocupação do terreno em sua extensão seja avaliada. Portanto, o que o poço de monitoramento está acompanhando não é a mudança na qualidade de suas águas, mas tão somente a mudança na qualidade da água associada a esta zona de captura.

c) algumas atividades potencialmente contaminantes ocupam uma grande extensão em área e têm o seu manejo razoavelmente homogêneo. As atividades agrícolas são o melhor exemplo desta situação. É importante para o órgão ambiental saber os impactos de determinada atividade nas águas subterrâneas. Portanto, criar redes de monitoramento para algumas atividades extensivas, como agricultura de cana de açúcar e de cítricos, por exemplo, permitirá ao órgão entender os perigos que essas atividades causam às águas subterrâneas. O monitoramento deverá ser precedido de uma avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à poluição, com métodos simples, como o GOD (Foster & Hirata 1988) ou o DRASTIC (Aller *et al.* 1987).

Conclusões e recomendações

As principais conclusões desse documento são apresentadas de **forma extensiva** a seguir:

a) O monitoramento das águas subterrâneas é parte essencial da gestão dos recursos hídricos. Esse deve integrar de forma orgânica o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que deverá subsidiar o Programa Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

b) A rede de monitoramento nacional deverá ser construída a partir da somatória das redes estaduais, operadas pelos órgãos de recursos hídricos e meio ambiente dos respectivos estados e distrito federal. Nos estados onde não há, todavia, redes em operação, o governo federal, através da ANA, devem auxiliar nessa implantação.

c) As limitações técnicas na obtenção dos dados hidrogeológicos, que normalmente se faz por poços de monitoramento ou poços de produção, faz com que a escolha dos poços para a conformação da rede tenha que ser bastante criteriosa. Nesse sentido, para uma **rede de qualidade** devem ser priorizadas as áreas onde há: i) maior demanda pelos recursos hídricos subterrâneos; ii) uso e ocupação do solo com atividades potencialmente poluidoras de fontes difusas e multipontuais de interesse, associadas à maior vulnerabilidade do aquífero à poluição; e iii) sistemas ecológicos e dependentes de água subterrânea. Para a **rede de monitoramento de quantidade**, as áreas devem ser priorizadas, segundo: i) a menor relação entre a disponibilidade *versus* a demanda; ii) a importância do recurso hídrico subterrâneo e a sua possibilidade de ser substituída por outras fontes; e iii) a preservação de ecossistemas frágeis.

d) O monitoramento da qualidade e da quantidade tem objetivos distintos e exigências de poços distintos, sobretudo quando são usados poços de produção. Seria desejável se ter duas malhas dedicadas, mas isso não deve ser impeditivo para a inicialização dos programas de monitoramento a partir de uma só malha de poços. Nesse sentido, malhas únicas que tentam cobrir ambos os objetivos são as mais factíveis, pelo menos no início da implantação da rede nacional.

e) A freqüência de coleta dos dados e de amostras deve ser função das características do aquífero e do tipo de ocupação na ZOC do poço ou do uso da água subterrânea. De uma maneira geral, a freqüência deve ser pelo menos semestral (estação seca e chuvosa), embora uma freqüência anual seja razoável para implementar uma rede com recursos reduzidos.

f) A freqüência na coleta de dados hidráulicos deve ser mensal, pelo menos no primeiro ano, para se entender o comportamento do poço, e semestral, a partir do segundo ano, caso seja proibitivo continuar com as medições com maior freqüência.

g) Os parâmetros analisados devem ser igualmente otimizados. A análise inicial deve contemplar os parâmetros constantes do Anexo 1 da Resolução CONAMA 396/08. Já as medições periódicas devem conter minimamente os parâmetros indicadores: CE, pH, temperatura, nitrato, cloreto, e carbono orgânico dissolvido. Caso haja modificações estatisticamente comprovadas, recomenda-se a repetição dos parâmetros do CONAMA.

h) Os dados hidráulicos dos poços devem conter as seguintes medições minimamente: nível estático, nível dinâmico, vazão (quando o poço é de produção), e vazão totalizada por mês.

i) Os critérios de tomada de amostras e medições em campo devem ser padronizados, bem como para os demais procedimentos de preservação e análise laboratorial. Entende-se que pela variada capacidade operativa nos diferentes estados, isso vai ocorrer de forma gradual no país, sem que isso seja uma restrição para o não início das redes estaduais.

j) Finalmente, é importante que os governos estaduais e federal promovam a qualificação dos técnicos e das próprias organizações, sem o qual será impossível manter uma rede de monitoramento regional que atenda os objetivos de melhora da gestão dos recursos hídricos do país.

Referências bibliográficas

- Aller, L; Bennett, T; Leher, J; Petty, R. 1985. *Drastic: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. USEPA Report 600/2-85/018.
- Foster, S. & Gomes, D. 1989. *Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas: una evaluación de métodos y costos*. CEPIS/PAHO-WHO. Lima Peru, 111pp.
- Foster, S & Hirata, R. 1988. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. CEPIS/PAHO-WHO. Lima Peru, 81pp.

- Foster, S; Hirata, R; Gomes, D; D'Elia, M; Paris, M. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. The World Bank, Washington (DC), 103 pp.
- Tuinhof, A; Foster, S; Kemper, K; Garduño, H; Nanni, M. 2002. *Groundwater monitoring requirements for managing aquifer response and quality threats*. Sustainable groundwater management: concepts & tools. Briefing Notes Series 9. GWMATE, The World Bank. Washington, 10pp.

RH / 01-01-2009