

O PAPEL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COMO RESERVA ESTRATÉGICA DE ÁGUA E DIRETRIZES PARA A SUA GESTÃO SUSTENTÁVEL

GROUNDWATER AS STRATEGIC RESERVE AND GUIDELINES TO SUSTAINABLE MANAGEMENT

José Luiz Albuquerque Filho

Hidrogeólogo, Dr. /// Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT /// SÃO PAULO, SP, BRASIL /// albuselu@ipt.br

Marina Costa Barbosa

Engenheira Civil /// University of Southern Queensland - USQ; PhD Student Department, Australia /// marinac@ipt.br

Sérgio Gouveia de Azevedo

Hidrogeólogo, Msc. /// Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT /// SÃO PAULO, SP, BRASIL /// sazevedo@ipt.br

Ana Maciel de Carvalho

Geóloga /// Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT /// SÃO PAULO, SP, BRASIL /// amaciel@ipt.br

RESUMO: Este trabalho avalia a importância estratégica das águas subterrâneas como manancial para o abastecimento humano. Procura-se demonstrar a relação entre as reservas hídricas de mananciais superficiais e subterrâneos no Brasil e no mundo, por meio de números divulgados em bibliografias técnico-científicas, destacando-se os volumes comprovadamente superiores das ocorrências subterrâneas em relação às águas superficiais. São apresentadas as vantagens e respectivos cuidados a serem adotados para a utilização sustentável das estratégicas reservas subterrâneas de água. A partir daí, apresenta-se uma proposta de diretrizes para o aproveitamento racional dos mananciais subterrâneos, bem como se discute acerca do modelo de gestão integrada das águas superficiais com as águas subterrâneas hoje praticado no Brasil.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; gestão sustentável; importância estratégica; diretrizes para uso.

ABSTRACT: This paper presents the strategic importance of groundwater as a source for human consumption and aims to demonstrate the relationship between superficial water and groundwater in Brazil and the world based on bibliography data, especially about the volume of groundwater availability in relation to superficial water. The paper presents the advantages and precautions to be adopted for the sustainable use of strategic groundwater resources. Therefore, it presents the proposal of guidelines for the rational use of groundwater sources, as well as discussing about the model of integrated management of surface water with groundwater like in Brazil today.

Keywords: Groundwater; sustainable management; strategic importance; guidelines to use.

1. INTRODUÇÃO

Constantemente divulga-se que a Terra é o Planeta Água por ter a sua superfície coberta em 70% por água, ocorrendo em grandes parcelas na forma de vapores (evaporação de corpos d'água, evapotranspiração das plantas etc.), constituindo nuvens; coberturas de neve, formando os rios, lagos, lagoas, pântanos e reservatórios artificiais e, também, as gigantescas calotas polares. Todas essas formas de ocorrência da água dizem respeito a parcelas visíveis ou facilmente perceptíveis.

Uma outra quantidade de água ocupa as estruturas químicas dos componentes naturais da Terra (minerais e plantas), do próprio corpo humano e dos animais mas, sobretudo, saturando porções do subsolo e constituindo as águas subterrâneas.

Portanto, a água como elemento natural, é um componente ambiental de grande importância – senão o mais importante – pois ocorre nos mais diferenciados locais, ou seja, a água circula entre distintos meios, compõe corpos vivos e inertes, reage com materiais à sua volta, sofre influência onde transita, protagoniza inúmeros processos naturais mas, acima de tudo, garante a vida na Terra, notadamente do ser humano, que dessedenta e propicia alimentos, higiene e outros aspectos necessários para a sua saudável qualidade de vida e o desenvolvimento social e econômico.

Há de se ressaltar que as condições que a água deve se encontrar em termos físico-químicos e biológicos, de forma superficial ou subterrânea e a acessibilidade e o custo financeiro relativo para a sua obtenção (em padrões adequados para os diversos fins a que se destina) são determinantes quando se discute o significado ou a oferta da mesma enquanto recurso hídrico: a água pode até ser abundante em uma localidade, mas não, necessariamente, como recurso hídrico, e vice-versa.

Analisando-se as distintas formas locais de ocorrência, percebe-se que uma grande parcela, 97.5%, da água na Terra é salgada, ocupando mares e oceanos; os outros 2.5% é doce, mas constitui, principalmente, as distantes calotas polares e glaciares, representando 68.9% (Rebouças *et al.*, 1999). Portanto, no momento, pode considerá-las relativamente indisponíveis para alguns usos, sendo este condicionado pelas águas terrestres superficiais (rios, lagos, represas, etc.) e subterrâneas, totalizando ambas 0.8% da água na Terra.

Por outro lado, as águas superficiais são corpos d'água limitados em dimensões, se comparados aos corpos d'água subterrânea, os quais preenchem espaços vazios do subsolo, constituídos de camadas geológicas que podem atingir dezenas a centenas de metros de espessura e áreas de ocorrência que, por

sua vez, podem alcançar de centenas a milhões de quilômetros quadrados.

Ao mesmo tempo, esses volumes de água subterrânea, que naturalmente tendem a se apresentar em boa qualidade, também apresentam melhores condições de proteção a possíveis efeitos das mais diferentes intervenções antrópicas ou dos distintos tipos de uso e ocupação do solo, que possam alterar a qualidade e/ou a quantidade da água.

Dessa forma, os mananciais subterrâneos têm assumido cada vez mais o papel de fonte estratégica de recurso hídrico, seja para as gerações atuais, mas, sobretudo, para as futuras gerações; ainda mais, nos cenários que se desenham no horizonte, com crescimento demográfico significativo, aglomerações urbanas cada vez maiores, pressões ambientais e um incremento de produção de alimentos, entre outros, aliados às significativas mudanças climáticas globais em curso.

Além disso, são, também, as águas subterrâneas que na maioria das vezes, garantem o fluxo permanente nos cursos d'água superficiais nos períodos de estiagem, mesmo assumindo, nesses momentos, vazões mínimas de descarga.

Conhecer os corpos rochosos, sua distribuição espacial, suas estruturas e porosidades, bem como caracterizar os aquíferos que eles abrigam ou constituem, sua natureza, suas propriedades hidráulicas, a dinâmica e a qualidade da água, as reservas subterrâneas, as profundidades, as vulnerabilidades, entre outros aspectos, apoiando-se em instrumentos técnicos e legais, e adotando-se modelos adequados de gestão, configuram-se elementos necessários para o conhecimento e o uso sustentável das estratégias águas subterrâneas.

A adoção de estratégias que permitam o uso sustentável dos mananciais subterrâneos é de particular necessidade nas regiões onde os aquíferos representam a única fonte de abastecimento de água doce; se já é grande a responsabilidade da garantia do suprimento de água doce para a atual geração, muito maior é a responsabilidade de garanti-la para as futuras gerações.

2. VANTAGENS E CUIDADOS A SEREM ADOTADOS NO APROVEITAMENTO DOS AQUÍFEROS

As águas subterrâneas, de maneira bem simplificada, podem ser definidas como aquelas que ocorrem no subsolo, ocupando até a totalidade dos espaços vazios ali encontrados.

Por outro lado, denominam-se *aquíferos* as camadas

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em Agosto de 2011, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em Outubro de 2011. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 32, Nº 2, 53-61, Novembro de 2011.
© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh32n2-5

de solo ou de rocha, nas quais as águas ocupam a totalidade dos espaços vazios (poros) no subsolo, portanto, saturando-os, e circulando de tal maneira que possa ser extraída de forma econômica por algum tipo de estrutura (poços, furos, etc.) em quantidade suficiente para atender a algum uso ou demanda.

Essas camadas aquíferas podem se mostrar conexão direta com a atmosfera, quando o aquífero é livre, recebendo a infiltração da água das chuvas que se precipitam sobre a superfície do terreno e penetram no solo alcançando o aquífero pela ação da força da gravidade. Outras vezes existem camadas ou estruturas geológicas que isolam os aquíferos, na base e no topo, de tal forma que a água ali se encontra em pressões maiores que a atmosférica e somente recebem realimentação a partir de faixas de terreno, nas quais, esses aquíferos passam a ter acesso à infiltração das águas pluviométricas através do solo, sendo este o aquífero confinado.

Por outro lado, existem aquíferos confinados profundos e totalmente isolados de acessos por meio da infiltração de águas da chuva ou outros tipos. Esses casos não são muito comuns no mundo e dizem respeito às águas armazenadas em tempos geológicos passados e que não sofreram renovação. Hoje se comportam como se fossem “bens minerais”, esgotáveis e, portanto o seu aproveitamento deve ser efetuado com extremo cuidado e com um planejamento estratégico.

De uma maneira geral, os aquíferos, seja quando ocorrem em maior ou em menor profundidade, podem sofrer interferências advindas das diferentes formas de uso e ocupação do solo. Essas interferências podem alterar a quantidade de água neles armazenadas (diminuição ou incrementos de reservas de água) e/ou impactar a qualidade natural da água.

Algumas interferências podem ocorrer de maneira direta, ou seja, quando se intervêm diretamente na camada aquífera (poços, drenos, túneis, minerações, contaminações diretas, dentre outros) e de maneira indireta, quando a intervenção afeta por vias indiretas o aquífero (impermeabilização do terreno; desmatamentos; lançamentos de contaminantes na superfície do terreno; barramento de rios e criação de reservatórios, dentre outros).

O fato dos aquíferos ocorrerem em subsuperfície e possuírem porções de materiais naturais não saturadas acima dos mesmos confere aos mananciais subterrâneos uma série de vantagens quando comparados com os corpos d'água superficiais. Ao mesmo tempo, esses mesmos aspectos podem representar dificuldades, requerendo cuidados para o aproveitamento das águas subterrâneas.

O Quadro 1, a seguir, mostra uma síntese das mencionadas vantagens, ao lado dos cuidados a serem utilizados para o uso sustentável das águas subterrâneas.

Normalmente o homem é levado a acreditar que os mananciais subterrâneos constituem-se em grandes volumes de água e em quantidades que não se esgotam, uma vez que são recursos não visíveis (ocorrem no subsolo) e de difícil percepção.

Por isso é muito comum o insucesso em perfurações de captações (poços secos), a autocontaminação de captações, a superexploração de água subterrânea, os reflexos no solo por extração exagerada de água, tais como, subsidências, recalques, intrusão da cunha salina em zonas costeiras, dentre muitos outros problemas decorrentes do inadequado aproveitamento e gerenciamento das águas subterrâneas.

Portanto, para a busca da sustentabilidade das águas subterrâneas, considerando-se as variadas dimensões envolvidas (ambiental, social, econômica, etc.), faz-se necessário o cumprimento mínimo dos passos a seguir descritos, iniciando-se tão logo seja feita a opção pela utilização da água subterrânea para qualquer fim. Tais ações caracterizam-se como de diferenciadas responsabilidades, sendo parte delas do próprio utilizador, enquanto outras dizem respeito aos órgãos de gestão de recursos hídricos e, também, podem requerer atividades compartilhadas ou integradas, ou seja:

- a. Caracterização hidrogeológica adequada dos mananciais locais ou regionais de interesse;
- b. Conhecimento dos comprometimentos das reservas subterrâneas de água em relação as demandas existentes e projetadas;
- c. Definição adequada do tipo ou tipos de captação e locação criteriosa da obra em campo;
- d. Projeto adequado da obra de captação;
- e. Construção adequada da obra de captação e proteção sanitária local;
- f. Exploração dimensionada a partir de ensaios de produção de poços;
- g. Monitorização dos bombeamentos utilizados para atendimento dos usos previstos;
- h. Monitorização periódica da qualidade da água do poço;
- i. Manutenção periódica do sistema de bombeamento e da própria obra de captação de água;
- j. Gerenciamento da extração de água, notadamente quando for o caso da existência de número expressivo de captações em relação ao tipo e características do aquífero;
- k. Gerenciamento do uso e ocupação do solo da bacia hidrogeológica utilizada;
- l. Estabelecimento de perímetro de proteção de captações que se referem a fontes de abastecimento público;
- m. Proteção do aquífero contra contaminação, principalmente nas áreas de afloramento/recarga de aquíferos confinados;
- n. Racionalização dos consumos, evitando-se explorações desnecessárias do aquífero;
- o. Minimização de perdas ao longo da rede de distribuição da água captada em aquíferos;
- p. Estimulação de recargas naturais em locais onde seja possível;
- q. “criação” de aquíferos nas regiões onde se possa estabelecer estruturas que retenham ou detenham fluxos subterrâneos, favorecendo

- a existência de reserva subterrânea de água (barragem subterrânea, barragem de acúmulo de areia);
- r. Utilização de recargas artificiais em locais ou regiões deficitárias em água e onde se tenha a garantia da boa qualidade das águas infiltradas para aumentar as reservas subterrâneas naturais; e
 - s. Encerramento (ou tamponamento) adequado de poços ou outras captações não-utilizadas para evitar riscos de contaminação de aquíferos através de poços abandonados, inativos, etc;
 - t. Acessibilidade de dados, bem como possibilite a aplicação do geoprocessamento e modelagem da situação em aquíferos.

Ressalta-se que esses passos indicados anteriormente dizem respeito à utilização da água subterrânea em um determinado local, seja uma área mais restrita ou uma localidade de relativa expressão territorial.

Essas sugestões incorporam a idéia de conhecer, extrair e gerenciar o uso da água de forma a buscar a sustentabilidade do aquífero utilizado, levando-se em conta as suas próprias características e, também, as outras condições de contorno que influenciam ou interagem com o manancial.

Porém, considerando-se que existem aquíferos ou sistemas aquíferos que ocorrem em mais de uma bacia hidrográfica e, também, as interações contínuas entre os corpos d'água subterrâneas e os cursos d'água superficiais, outros aspectos devem ser considerados para que se consiga estruturar modelos de gestão sustentável e integrado dos recursos hídricos.

Quadro 1 – Síntese das vantagens e cuidados a serem adotados para o uso sustentável das águas subterrâneas.

VANTAGEM DO MANANCIAL SUBTERRÂNEO	CUIDADOS A SEREM ADOTADOS PARA O SEU APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL
1. Em geral as águas subterrâneas possuem boa qualidade natural e as porções não saturadas suprajacentes representam relativa proteção no processo de infiltração/percolação vertical, dos líquidos que afluem oriundos da superfície dos terrenos. Isso significa que os perigos de contaminação sanitária tendem a ser menores quando se utiliza água subterrânea para abastecimento humano.	1. Os aquíferos devem ser protegidos, pois a contaminação das suas águas requer técnicas complexas, custos elevados e longo período para recuperação.
2. As quantidades de água nos aquíferos são maiores do que nos corpos d'água superficiais.	2. A realimentação das águas subterrâneas pode não conseguir compensar, na mesma proporção, as extrações, ocorrendo a superexploração do aquífero. Isso requer estudos hidrogeológicos prévios e monitoramento da extração. É importante, também, a gestão ou o gerenciamento das demandas, diminuindo a exploração dos aquíferos com a aplicação de controle tecnológico da irrigação, diminuição de perdas em sistemas públicos, uso de equipamentos hidráulicos econômicos, dentre outros.
3. As quantidades de água subterrânea sofrem menos interferências por períodos longos de estiagem e não apresentam perdas por evaporação, tal como ocorre com os corpos d'água superficiais. A segurança do abastecimento a partir de poços tende a ser maior do que captações superficiais, notadamente para o atendimento de núcleos urbanos de pequeno e médio porte.	3. Em áreas com nível d'água subterrânea raso ou áreas de baixa velocidade de circulação de água e elevada taxa de evaporação, poderá ocorrer aumento no teor de sais na água do aquífero.
4. A extensão territorial, a espessura de camadas componentes dos aquíferos e a presença de espaços vazios na estrutura rochosa, possibilitam o armazenamento de grandes volumes, ou até mesmo, proporcionando gigantescas reservas de águas.	4. Uma vez que não são visíveis, as águas subterrâneas são difíceis de ser avaliadas, requerendo a aplicação de métodos complexos por profissionais técnicos especializados para que seja possível o conhecimento e o uso sustentável do manancial.
5. A expressão territorial dos aquíferos facilita a localização de poços, enquanto que nos corpos d'água superficiais os pontos de captação estão sujeitos à rigidez locacional.	5. A facilidade de se localizar poços espalhados nos terrenos pode resultar em concentração indevida de pontos de captação e requerer maior controle na extração de água para não ocasionar a superexploração do aquífero. O monitoramento e controle devem ser adotados.

Continuação do **Quadro 1**

<p>6. Em aquíferos calcários pode se constituir matriz subterrânea de cavidades e canais interconectados que podem produzir vazões muito elevadas para cada poço (>100 m³/h).</p>	<p>6. A extração sem o devido conhecimento prévio das características do aquífero e sem a monitorização do rebaixamento do nível d'água subterrânea pode resultar em subsidência do solo e impactos decorrentes dos diferentes usos e ocupação do solo instalados na bacia de contribuição do aquífero. A monitorização e controle devem ser adotados, tanto em relação à exploração da água subterrânea (diminuição do nível d'água no poço, vazão produzida), quanto no que diz respeito ao comportamento de edificações e superfície dos terrenos.</p>
<p>7. O valor da perfuração de poços, os prazos relativamente curtos para a sua execução, a facilidade de perfuração de poços e a ausência de custos para armazenamentos primários, resultam em custos totais menores do que a instalação de infra-estrutura necessária para a captação, o tratamento e o transporte (adução ao local de consumo) tal como requerida em mananciais de superfície.</p>	<p>7. Mesmas considerações efetuadas nos itens 5 e 6 anteriores.</p>
<p>8. Os impactos ambientais da infraestrutura de aproveitamento da água subterrânea são relativamente pequenos e pouco expressivos se comparados com a infra-estrutura necessária para a captação, tratamento e transporte (adução para o local de consumo) tal como requerido em mananciais superficiais.</p>	<p>8. Mesmas considerações efetuadas nos itens 5 e 6 anteriores.</p>
<p>9. A instalação de poços em pequenas aglomerações populacionais pode se constituir na alternativa mais viável de abastecimento, tendo em vista a relação custo versus benefício para a implantação de infra-estrutura de captação, tratamento e transporte necessário em mananciais superficiais.</p>	<p>9. Mesmas considerações efetuadas nos itens 5 e 6 anteriores.</p>
<p>10. Os mananciais subterrâneos, notadamente os mais profundos e confinados, tendem a apresentar temperaturas elevadas para a água (por exemplo, 50 – 60 0C), como ocorre no Sistema Aquífero Guarani, no Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil, podendo ser utilizadas como fonte de energia, além da própria água de boa qualidade para os diversos usos.</p>	<p>10. Seria necessário instalar estruturas que possibilitassem a diversificação do uso, pois na maioria dos casos, tal como ocorre no Brasil, as águas quentes são aproveitadas resfriando-se para o uso ou são utilizadas como águas quentes para o turismo.</p>
<p>11. Os aquíferos livres/freáticos/não-confinados são os verdadeiros reservatórios/celeiros que fornecem as águas que garantem os fluxos das nascentes, rios e de todos os demais corpos d'água superficiais perenes. No Brasil os aquíferos respondem por 90 % da perenização dos cursos d'água, possibilitando que eles continuem fluindo nas épocas de estiagem (Rebouças et al., 1999 apud Agência Nacional de Águas, 2007).</p>	<p>11. Desenvolver boas práticas ambientais e efetuar aproveitamento racional das águas subterrâneas, conhecendo previamente as características dos aquíferos, monitorizando continuamente a exploração e o comportamento do nível d'água subterrânea ao longo do tempo, possibilitando a manutenção do balanço hídrico da bacia e garantindo o fluxo de base dos cursos d'água superficiais e a vida nas bacias.</p>

3. AQUÍFEROS NO BRASIL E NO MUNDO

Observa-se ao redor do mundo que existe uma distribuição muito irregular de água entre um continente e outro, entre os diversos países, ou mesmo, entre uma região e outra em um mesmo país, seja quando se considera os recursos hídricos superficiais, seja quando se considera os recursos hídricos subterrâneos. O Brasil, país com dimensões de continente, dispõe, segundo vários autores, de 14% das reservas hídricas

superficiais de água doce do mundo, porém mostra diferenças marcantes entre as suas regiões, ou seja: é crítica (<1 500 m³/hab/ano) em parte do nordeste e Distrito Federal; pobre (<3 000 m³/hab/ano) em parte do nordeste e do sudeste; rica (3 000 a 10 000 m³/hab/ano) em parte do sudeste e meio norte; muito rica (10 000 a 20 000 m³/hab/ano) em parte do sul, centro e meio norte; e abundante (>20 000 m³/hab/ano) no centro oeste e norte do país (Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2007).

Por outro lado, segundo prevê Cavalcanti (2007), no ano de 2025, diversos países terão uma quantidade catastrófica de pouca água, quais sejam, Tunísia, Argélia, Mauritânia, Alto Volta, Egito, Sudão, Arábia Saudita, Yemen do Norte, Yemen do Sul, Oman, Kuwait, Iraque, Irã, Turquia, Síria, Jordão, Israel, Kasaquistão, Índia e parte de China e de Nepal.

Em relação às águas subterrâneas, a disponibilidade e a distribuição geográfica também são irregulares. Segundo Rebouças et. al. (1999) o Brasil possui cerca de 112 000 km³ de reservas, considerando até 1 000 km de profundidade para os aquíferos e recarga anual de 3 500 km³.

Mesmo que seja considerado apenas o volume de recarga anual constata-se que grandes contingentes populacionais podem ser abastecidos com esses mananciais, ainda que para cálculo do consumo individual seja adotado com o valor de referência de 200 L/habitante/dia, valor este utilizado no Brasil para planejamento com segurança da oferta de água.

Nesse contexto observam-se regiões com abundantes reservas subterrâneas, quais sejam, as regiões sul, sudeste e centro oeste (onde ocorre o Sistema Aquífero Guarani) e a região norte (onde ocorre o Sistema Aquífero Alter do Chão) e outras são pobres em recursos hídricos subterrâneos, tais como os terrenos de rochas fissurais ou cristalinas da extensa região do semi-árido nordestino (onde predomina amplamente o aquífero

cristalino). O Quadro 2, a seguir, mostra o panorama dos 10 maiores aquíferos mundiais.

Em relação ao uso das águas subterrâneas, dado o fato de que normalmente se encontram mais protegidas do que as águas superficiais, além da magnitude das reservas subterrâneas e da flexibilidade locacional para o estabelecimento de pontos de captação, observa-se o gradativo incremento na sua utilização. No Estado de São Paulo, localizado na região sudeste do Brasil e um dos estados mais ricos do País, dos 645 municípios, cerca de 80% já se utiliza parcial ou totalmente dos mananciais subterrâneos para abastecimento público dos municípios (CETESB, 2010). Citam-se, também, as cidades de Ribeirão Preto (Estado de São Paulo), Natal (Estado do Rio Grande do Norte), Maceió (Estado de Alagoas), Recife (Estado de Pernambuco), Belém (Estado do Pará), nas quais se utilizam de parcelas expressivas de água subterrânea para o abastecimento público.

Ressalta-se que, embora a água subterrânea se traduza em manancial de grande importância hoje para o Brasil, poucos estados do País já dispõem de mapas hidrogeológicos, quais sejam: São Paulo (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005), Rio Grande do Sul (CPRM, 2005), Rio Grande Norte (IBGE, 2005), Paraíba (IBGE, 2006), além do mapa do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2010), que se encontra em elaboração.

É importante destacar em particular o Mapa de Águas

Quadro 2 – Dados acerca dos dez maiores aquíferos do mundo.

Ordem	Nome do Sistema Aquífero	Países de Ocorrência	Área [x10 ⁶ km ²]	Reserva Estimada [x10 ¹² m ³]
1	Amazonas (Solimões, Içá e Alter do Chão)	Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Peru, Venezuela	3.95	86.4*
2	Nubia	Líbia, Egito, Chad, Sudão	2.00	75.0
3	Norte Saara	Argélia, Líbia, Tunísia	1.03	60.0
4	Guarani	Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai	1.20	45.0
5	Grande Bacia Artesiana	Austrália	1.70	20.0
6	Ogallala (High Plain)	Estados Unidos da América	0.45	15.0
7	North China Plain	China	0.14	5.0
8	Vecht	Alemanha e Holanda	0.38	Não definido
9	Kalahari/Karoo Basin	Namíbia, Botswana, África do Sul	0.14	Não definido
10	Índia River Plain	Índia e Paquistão	0.56	Não definido

Fontes: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (2007); * Valor estimado apenas para o Sistema Aquífero Alter do Chão (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2010).

Subterrâneas do Estado de São Paulo (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005) que foi elaborado adotando condições limites para exploração de poços (rebaixamento do nível potenciométrico, diminuição da espessura saturada, tempo), de tal maneira que não se provoque esgotamento dos mananciais subterrâneos. O Mapa apresenta, portanto, zoneamento de produtividade por poço que é de fácil compreensão para qualquer tipo de utilizador do mesmo.

O Quadro 3, a seguir, apresenta o panorama do uso da água subterrânea em alguns países do Mundo.

4. GESTÃO ESTRATÉGICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

De todo o exposto, fica evidenciada a importância estratégica das águas subterrâneas como recurso hídrico e como componente do meio ambiente, que garante o fluxo das bacias hidrográficas e o equilíbrio ecológico.

Portanto, um primeiro aspecto a ser considerado na gestão das águas subterrâneas é que esta não pode ser efetuada de forma dissociada das águas superficiais, pois ambas são parte de um mesmo todo, compondo

um sistema hídrico. Não se consegue gerir um recurso, caso não seja considerado integralmente o conjunto de suas partes.

Ao mesmo tempo, para a gestão dos recursos hídricos há que se considerar unidades fisiográficas que possibilitem a quantificação de volumes de água que circulam no sistema, sejam superficiais, sejam subterrâneas. Ao redor do mundo a unidade que se tem revelado mais adequada é a Bacia Hidrográfica. A Bacia Hidrográfica possibilita, também, a quantificação e controle de intervenções antrópicas (uso e ocupação do solo, contaminação, etc.) e outros processos ambientais (erosão, assoreamento, etc.), notadamente aqueles que têm a força gravitacional terrestre como energia para o movimento.

Outro aspecto importante a ser considerado é que a água é um recurso natural limitado, notadamente nas situações de sistemas aquíferos confinados que não possuem conexões (áreas de recarga) com a água atmosférica, para realimentações anuais, ou senão, em aquíferos com áreas de afloramento e recargas restritas, que se processam lentamente requerendo milhares de anos para alcançar porções mais interiores na área de ocorrência do aquífero.

Quadro 3 – Uso da água subterrânea para abastecimento humano em diversos países do Mundo.

Pais	Proporção de Uso de Água Subterrânea para Abastecimento Humano (%)
Arábia Saudita	100
Dinamarca	100
Malta	100
Áustria	70
Alemanha	70
Bélgica	70
França	70
Hungria	70
Itália	70
Holanda	70
Marrocos	70
Rússia	70
Suíça	70
Brasil	60*

Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano – MMA/SRHU(2007); *IBGE (2003, *apud* ANA, 2007).

Ressalta-se que em locais de pequena oferta de água e em situações de escassez, a gestão da água subterrânea/superficial deve priorizar o atendimento a demandas para abastecimento humano e dessedentação animal.

Os preceitos, fundamentos, objetivos e instrumentos necessários para a gestão integrada da água subterrânea com a água superficial, devem ser estabelecidos conforme a lógica do planejamento, compondo política da água, planos de recursos hídricos, programas, metas e ações.

Na República Federativa do Brasil e nos estados brasileiros há mais de 10 anos foram estabelecidas as políticas de recursos hídricos. Destacando-se a Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997) e do Estado de São Paulo (São Paulo, 1991), observa-se que:

- a) A água é definida como bem de domínio público;
- b) A água compreende um recurso natural e limitado, dotado de valor econômico;
- c) Em situações de escassez o uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação animal;
- d) Deve ser privilegiado o uso múltiplo da água;
- e) A gestão deve ser descentralizada e participativa com a representação de municípios, dos órgãos do Estado e da sociedade civil organizada;
- f) Deve ser objetivo a utilização racional e integrada das águas;
- g) A unidade de gerenciamento de recursos hídricos é a bacia hidrográfica;
- h) As políticas são implementadas por sistemas integrados de gerenciamento de recursos hídricos (SIGRH, no Estado de São Paulo e SINGREH, em nível de Brasil); e
- i) São instrumentos de gestão os planos de recursos hídricos (principal instrumento), outorga de direito de uso e cobrança pelo uso da água, contando com relatórios de situação de recursos hídricos para acompanhamento da evolução qualitativa e quantitativas das águas. Esses instrumentos são respaldados por legislações, normas, portarias e deliberações, algumas delas específicas para proteção e conservação das águas subterrâneas.

A abordagem integrada entre as águas superficiais e as subterrâneas, requer considerar outros aspectos que delas dependem ou possam influenciá-las e, também, outros recursos naturais que com elas interagem, assim como as intervenções antrópicas e o uso e ocupação do solo.

A partir do exposto e buscando-se contribuir com uma proposta conceitual que indique os aspectos necessários para subsidiar o planejamento e a gestão sustentável das águas subterrâneas, de forma o mais efetivamente integrada com as águas superficiais, por meio de políticas públicas de recursos hídricos, apresenta-se a seguir sugestões de diretrizes técnicas mínimas, as quais têm sido adotadas em várias regiões

brasileiras:

- a) Considerar as fases aérea, superficial e subterrânea da água no ciclo hidrológico;
- b) Considerar os aspectos qualitativos e quantitativos da água em geral;
- c) Garantir a utilização sustentável e a proteção, preservação e conservação de outros componentes ambientais, que interagem diretamente ou indiretamente com as águas, particularmente com as parcelas subterrâneas;
- d) Promover o uso múltiplo do recurso água;
- e) Garantir o reconhecimento da água como bem público;
- f) Estabelecer princípio de utilizador-pagador e poluidor-pagador;
- g) Definir prioridade de uso da água para abastecimento humano e animal;
- h) Prever mecanismos de integração com o manejo do solo, para as mais distintas formas de uso (rurais, urbanas, etc);
- i) Estabelecer referenciais com base na oferta de águas superficiais e subterrâneas para evitar a escassez, salinização de águas subterrâneas, intrusão da cunha salina em zonas costeiras, entre outros, assim como para administrar conflitos pelo uso da água.
- j) Estabelecer mecanismos que possibilitem o acompanhamento da situação da qualidade e da quantidade de todas as parcelas de água no ciclo hidrológico; e
- k) Adotar instrumentos de gestão que possibilitem planejar, estruturar programas setoriais (águas subterrâneas, p.ex.), implementar metas e ações de recursos hídricos e acompanhar e evolução da qualidade e da quantidades de água.

É importante ressaltar que um modelo de gestão deve respeitar especificidades de cada País, como sua realidade política, suas tradições históricas, sociais e culturais, entre outras peculiaridades. Entretanto, acredita-se que um modelo de gestão para ser bem sucedido deve seguir alguns princípios essenciais para a gestão integrada entre águas subterrâneas e superficiais, quais sejam, descentralização da gestão e das decisões; promoção da gestão participativa envolvendo os vários segmentos da sociedade; e adoção da bacia hidrográfica como unidade fisiográfica de gestão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação em conhecer melhor os aquíferos e em utilizar de forma sustentável as águas subterrâneas tem sido colocada cada vez mais como necessidade estratégica, para que se garanta a água doce para as populações.

O advento da gestão de recursos hídricos por meio de bacias hidrográficas data de cerca de 50 anos atrás

e atualmente verifica-se que um grande número de países vem adotando esse modelo nas políticas públicas das águas nacionais, estaduais ou conforme as suas organizações territoriais.

A adoção da bacia hidrográfica sob gestão de colegiados denominados de *Comitês de Bacia* com atuação regionalizada, participativa e, sobretudo, sob o princípio da gestão integrada dos recursos hídricos, tem possibilitado aumentar a compreensão e conscientização quanto às águas subterrâneas, a sua importância e o seu papel como fonte estratégica de recursos hídricos.

Os avanços já alcançados são significativos. As políticas de recursos hídricos indubitavelmente têm possibilitado a valorização das águas subterrâneas, pois hoje se observa a implementação de programas exclusivos de águas subterrâneas. Essas iniciativas já se estendem, também, para os aquíferos transfronteiriços.

Do ponto de vista da hidrogeologia um dos aspectos mais importantes nos avanços alcançados com a gestão integrada dos recursos hídricos foi a compreensão e aceitação pelos mais diferentes setores e atores da sociedade, incluindo profissionais que atuam em recursos hídricos e áreas afins, de que água subterrânea e água superficial, bem como as demais parcelas do ciclo hidrológico são indivisíveis, unas e interconectadas.

AGRADECIMENTOS

Regista-se os agradecimentos ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio ao primeiro autor, proporcionado por intermédio da concessão de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora – DT (Processo No. 311987/2009-5) para pesquisa em recarga na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani, em área situada no Estado de São Paulo, cujos resultados parciais colaboraram para a elaboração deste artigo científico.

Julga-se oportuno agradecer, também, ao IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo que está possibilitando a realização do projeto de pesquisa pelo apoio ao autor principal do presente artigo científico.

BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, 2010. Alter do Chão: o maior aquífero do mundo. São Paulo. Revista Água e Meio Ambiente Subterrâneo. Ano 3, Nº 16, junho/julho 2010. Pag. 30.

Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, 2011. Gestão de recursos hídricos no Brasil. São Paulo. Revista água e meio ambiente subterrâneo. Ano 3, nº 20, fevereiro/março 2011. 12 p.

Agencia Nacional de Águas – ANA, 2007. A Agenda da ANA em Águas subterrâneas. 2007. Brasília. Folheto publicado avulso.

Brasil, 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Federal nº 9.433. 08 de janeiro de 1997.

Cavalcanti, M. & Cristófoli, F., 2007. *A importância do planejamento estratégico na utilização da água no Brasil. IX Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*. Curitiba, 19 a 21 de novembro de 2007.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, 2010. Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2007-2009. São Paulo. CETESB, 258 páginas.

Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE/Instituto Geológico da Secretaria de Estado do Meio Ambiente – IG/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT/ Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2005. Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 119 paginas, 01 CD-ROM, 01 Mapa.

Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 2003. Águas Subterrâneas: um valioso recurso que requer proteção. Reedição da publicação original de Rosa Beatriz Gouvêa da Silva Las Águas Subterrâneas: un valioso recurso que requiere proteccion, publicado pelo CEPIS – Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente, Lima, Peru, 1986. São Paulo. 30 páginas.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2005. Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. Porto Alegre. Informação obtida no site <http://www.cprm.gov.br>, consulta efetuada em 18 de setembro de 2010.

Feitosa, F. A. C. & Manoel Filho, J. (Coord.), 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412 p: il.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio grande do Norte. Consulta ao site <http://www.ibge.gov.br> em 18 de setembro de 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. Mapa Hidrogeológico do Estado da Paraíba. Consulta ao site <http://www.ibge.gov.br> em 18 de setembro de 2010.

Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano – MMA/SRHU, 2007. Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília. 39 páginas.

Mineropar – Minerais do Paraná, 2010. Consulta ao site <http://www.pr.gov.br> no dia 18 de setembro de 2010: Mapa Hidrogeológico do Estado do Paraná em elaboração.

Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J.G., 1999. Águas doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. São Paul. Editora Escrituras, 1999.

São Paulo. 1991. Política Estadual de Recursos Hídricos. Lei Estadual nº 7663 de 30 de dezembro de 1991.