

**UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS
INSTITUTO DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS**

Regis Barbosa da Silva

AQUÍFERO GUARANI

Juiz de Fora
2006

Regis Barbosa da Silva

AQUÍFERO GUARANI

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia em Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antonio Carlos – UNIPAC, como requisito para obtenção do título de Graduação.

Professor: Prof. Humberto Chiaini de Oliveira Neto.

Juiz de Fora
2006

REGIS BARBOSA DA SILVA

AQUÍFERO GUARANI

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia em Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antonio Carlos – UNIPAC, como requisito para obtenção do Título de Graduação aprovada pelo seguinte orientador:



Prof. Humberto Chiaini de Oliveira Neto, Mestre em Engenharia Civil - UFF/RJ.

Universidade Presidente Antonio Carlos

Juiz de Fora
11/12/2006

Este trabalho é dedicado aos familiares,
amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Aos mestres pelo apoio, dedicação e compreensão durante o tempo do Curso.

“Bem natural cada dia mais escasso, a água já vem sendo vista como o recurso econômico mais valioso do futuro. O que hoje o cidadão comum chora e sofre a sua falta, os megainvestidores aplaudem como o novo ‘ouro’ do mercado.”

COUTINHO

RESUMO

O Aquífero Guarani é uma das reservas de água subterrânea mais importantes do Mundo, sendo a principal reserva de água doce da América do Sul. Com cerca de 1,2 milhão de quilômetros quadrados de extensão o Aquífero Guarani estende-se pelos Estados do, Mato Grosso, Mato Grosso do sul, Goiás Minas Gerais São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina e por partes do território do Paraguai, Uruguai e Argentina. “Ele pode fornecer até 43 trilhões de metros cúbicos de água por ano, suficiente para abastecer uma população de 500 milhões de habitantes.” (Almanaque Abril, 2003)

O Aquífero Guarani constitui-se em uma importante reserva estratégica para o abastecimento da população, para o desenvolvimento das atividades econômicas e do lazer. A pesquisa e o monitoramento do aquífero para melhor gerenciá-lo como recurso são considerados importantes, uma vez que o crescimento da população em seu território é relativamente alta, aumentando riscos relacionados ao consumo e à poluição.

Este trabalho trata-se de uma breve reunião de dados a respeito do Aquífero Guarani, importância usos no Brasil e foi desenvolvido através da síntese de conhecimentos adquiridos durante o curso de Tecnologia em meio Ambiente ministrado pela Universidade Presidente Antônio Carlos e através de consulta bibliográfica.

FIGURAS

Figura 1: Províncias hidrogeológicas -----	22
Figura 2: Simulação da extensão do Aquífero Guarani no subsolo terrestre -----	29
Figura 3: Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil -----	32
Figura 4: Áreas de recarga, afloramento e descarga do Aquífero Guarani -----	34

QUADROS

Quadro 1: Os nove “gigantes” da água no mundo -----12

Quadro 2: Os doze países mais pobres em recursos hídricos por habitante-----13

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. A ÁGUA NO MUNDO	10
2.1 A Distribuição de Água no Mundo	12
2.2. Escassez da água	13
3. UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	18
4. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL	20
4.1. Ocorrências	20
4.2. Províncias Hidrogeológicas do Brasil	22
4.3. Reservas e Condições de Utilização das Águas Subterrâneas	24
5. O AQUÍFERO GUARANI	27
5.1. Origem e denominação	27
5.2. Áreas de ocorrência	29
5.3. Características gerais	31
5.4. Zonas de afloramento e descarga qualidade e uso das águas do Aquífero Guarani	31
5.4.1. Zonas de recarga direta ou de afloramento	32
5.4.2. Zonas de recarga indireta	33
5.4.3. Zonas de descarga	33
5.5. Usos da água	35
5.6. Riscos de contaminação no Aquífero Guarani	35
5.7. A Legislação, falta de controle e fiscalização	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
7. REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Durante séculos, o mundo olhou para as riquezas enterradas debaixo das matas brasileiras. Ouro, esmeraldas, pedras e metais ditaram o rumo da nossa História. No século XXI, guardamos sob os nossos pés um tesouro ainda maior: água. O mais precioso bem da Humanidade encontrou nos subterrâneos do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai o seu maior reservatório.

Nas três fronteiras, o planeta água se mostra mais do que generoso, as águas de superfície e as águas subterrâneas formam um patrimônio de valor incalculável. Reservas naturais que os países do Mercosul sabem que têm de cuidar porque delas depende também o futuro da Humanidade.

O Brasil é hoje o país mais rico do mundo em água. Segundo dados apresentados no Globo Repórter do dia 21 de Maio de 2005:

Só de rios são quase 56 mil quilômetros quadrados. Temos 12% de toda a água doce do planeta e 53% da América do Sul. Mas é subterrânea a reserva mais valiosa: o Aquífero Guarani. O reservatório tem proporções gigantescas. Oito estados brasileiros e outros três países latino-americanos são os guardiões dessa imensa caixa d'água enterrada.

O Aquífero Guarani assume grande importância sócio-econômico-estratégica devido à falta de disponibilidade hídrica superficial quantitativa como qualitativa. Contudo, com a crescente demanda deste aquífero pode ocorrer uma exploração desordenada colocando-o em risco de contaminação. Os aspectos relevantes do Aquífero Guarani são a sua extensão e volume; a sua transnacionalidade parcial envolvendo os quatro países do Mercosul; o enorme potencial de suas águas para o abastecimento público e principalmente o seu uso termal com múltiplas aplicações gerando desenvolvimento socioeconômico; a falta de cultura de uso de águas subterrâneas com o conseqüente uso restrito com relação ao seu potencial em volume e nas aplicações geotermiais; e a preocupação com a possibilidade da sobre exploração do recurso, determinando possíveis contaminações e a degradação do mesmo, bem como a sua importância ambiental nas áreas de afloramento.

2. A ÁGUA NO MUNDO

“Nos últimos anos a água tem sido gradativamente reconhecida como um recurso escasso em escala mundial” (UNCED, 1992). Entretanto deve-se fazer distinção entre as duas causas de sua escassez que são as limitações qualitativas no uso de água devido à poluição, por exemplo, e as limitações quantitativas devido às condições climáticas, à demanda crescente ligada ao aumento populacional, ao desenvolvimento econômico, e ao seu uso ineficiente. Essas duas causas não se excluem, mas requerem mecanismos de gestão diferentes, ou, pelo menos, complementares.

Kemper (1997, p 15), faz algumas considerações sobre a escassez da água a nível mundial e diz o seguinte:

A escassez de água devido a poluição é um problema do norte e do centro da Europa, onde as chuvas são abundantes e a evapotranspiração é baixa, e onde os usos industrial e agrícola poluem os recursos hídricos de superfície e subterrâneos. A Dinamarca e a Holanda são exemplos de países onde os lençóis subterrâneos foram poluídos pela atividade agroindustrial. A Polônia e a Alemanha são países onde a água de superfície também está poluída.

No caso brasileiro, as regiões Sul e Sudeste, onde estão concentradas mais da metade do parque industrial brasileiro, a escassez de água é basicamente devido a poluição (vide o exemplo do rio Tietê, em São Paulo). A região Nordeste, onde está concentrada 29% da população total do Brasil, tem um problema histórico de escassez de água basicamente devido às condições climáticas. Diferentemente das regiões Sul e Sudeste, que apresentam bons índices pluviométricos e alarmantes problemas de poluição e da região Nordeste, que apesar de ter menores problemas de contaminação apresenta condições climatológicas desfavoráveis, a região Norte é a região do Brasil que possui os maiores índices climatológicos e a menor população, daí a preocupação mundial com a preservação desta que pode vir a ser uma reserva estratégica não só para o Brasil como para o mundo.

2.1 A Distribuição de Água no Mundo

A desigualdade da distribuição de água sobre a terra depende de fatores físicos (climáticos) e humanos (densidade populacional). Os fatores físicos podem ser considerados como o lado da disponibilidade do recurso (oferta) e os fatores humanos como a demanda.

Segundo dados da Organização Internacional de Agropecuária - OIA (1994), 'nove gigantes' mundiais de água possuem 60% do total dos recursos hídricos disponíveis no planeta, conforme ilustra o quadro 1.

País	Recursos hídricos (km ³ /ano/km ²)
Brasil	5670
Rússia	3904
China	2880
Canadá	2856
Indonésia	2530
U.S.A	2478
Índia	1550
Colômbia	1112
Zaire	1020
(Comunidade econômica européia)	816

Quadro 1: Os nove "gigantes" da água no mundo

Fonte: OIA apud PEREIRA e TAVARES (2005)

Para corrigir a incidência das grandes diferenças de densidade de população, os recursos hídricos disponíveis em cada país podem ser ajustados a suas respectivas populações, expressando-se em número de m³/ano por habitante. Dessa forma observa-se que os países mais importantes em recursos hídricos por habitantes estão entre os equatoriais ou nórdicos mais chuvosos e/ou pouco povoados. Segundo dados OIA (1994), "o recorde mundial estaria no Suriname (2 milhões m³/hab/ano) e Islândia, o recorde da Europa (708.000 m³/hab/ano)."

O outro extremo, mais pobre em recursos hídricos por habitantes, se encontra nos países áridos ou insulares e/ou muito povoados, com recurso global limitado. O quadro 2

apresenta os 12 países mais pobres em recursos hídricos por habitantes e destaca-se que oito destes são árabes.

País	Recursos hídricos (m³/ano/habitante)
Kuwait	Valor muito baixo
Malta	50
Catar	62,5
Bahamas	87
Baherein	119
Yermen	126
Arábia Saudita	191
Líbia	194
Antilhas Holandesas	231
Emirados árabes Unidos	231
Singapura	234
Jordânia	313

Quadro 2: Os doze países mais pobres em recursos hídricos por habitante

Fonte: OIA apud PEREIRA e TAVARES (2005)

Na situação extrema também se encontram a maioria dos países desenvolvidos da zona temperada. “Um deles é a França com um total de 3.360 m³/ano/hab.” (OIA, 1994),

Os valores apresentados nos quadros anteriores podem ser considerados demasiadamente globais, mas, apesar disso, servem para ilustrar a distribuição desigual de água no planeta. Uma abordagem mais criteriosa deve considerar as diferenças internas de cada país, como as hidrogeológicas e climáticas e ainda as diferenças da qualidade da água disponível além de problemas políticos e sociais.

2.2. Escassez da água

A cada dia aumenta a frequência de notícias e preocupações em relação ao meio ambiente: queimadas, poluição do ar, desmatamentos, destruição de florestas e principalmente fatos relacionados à água como : poluição por esgoto doméstico, vazamentos de óleo, resíduos industriais e agro químicos, assoreamento de rios devido a desmatamentos clandestinos e

destruição de matas ciliares, causando aumento da ocorrência e da gravidade das enchentes, reservatórios destinados ao abastecimento das populações com cada vez menor quantidade e qualidade de água disponível.

Juntamente com o aumento da quantidade destas notícias, cresce a preocupação com a disponibilidade desta água para um futuro bastante próximo. Segundo pesquisas (CABES XVIII - Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996), “espera-se que a população mundial cresça de 6,2 bilhões em 2000 para, no mínimo, 8 bilhões até o ano 2025.” Com tal crescimento, a demanda por suprimentos alimentícios aumentará e, portanto, por novos e mais avançados sistemas de produção agrícola irrigada. Tal aumento, certamente em grande parte ocorrerá nas áreas urbanas, e também aumentará a demanda por água de qualidade aceitável para uso doméstico e industrial e de tratamento de esgotos.

Esta mesma água, que até a bem pouco tempo era tratada com o descaso de um recurso natural que seria renovável e inesgotável, hoje esta recebendo a importância que lhe é devida, por ser um recurso essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social e que não pode continuar sendo utilizada de forma indiscriminada como até hoje.

A água futuramente será um recurso muito valorizado. Por ser um recurso único, insubstituível de extrema necessidade para o desenvolvimento de qualquer atividade e da permanência de qualquer forma de vida no planeta, existem previsões de que se houver uma terceira guerra mundial, esta seria pela disputa da água.

Setti (1994), explica por que em uma guerra a água seria um dos fatores causadores. Segundo ele, apesar de 2/3 do planeta serem formados de água menos de 1% de toda essa água existente esta disponível, já que apenas 2,68% desta é doce, e existe uma demanda mundial crescente pelo seu uso. “A população do planeta levou 1 milhão de anos para chegar a 3 bilhões de habitantes e apenas 40 anos para dobrar esse numero. A previsão é de que em 2050 deverá atingir 9 bilhões de habitantes. (SETTI, 1994)

Segundo Setti (1994), o consumo de água cresceu 7 vezes no século XX. Nos últimos 50 anos, o consumo passou de 1 trilhão para 4 trilhões de litros por dia e esse consumo dobra a cada 20 anos.

“Na divisão do consumo, a agricultura é responsável por 65% do gasto total de água, a indústria por 25% e o uso doméstico por 10%.” (SETTI 1994, p 11). Juntamente com a disponibilidade de água e o aumento da população, devemos considerar também a porcentagem de terras cultiváveis no mundo, pois é nessas terras que terão que ser produzidos os alimentos para essa crescente população mundial. Para exemplificar tal problema Setti (1994) cita o caso da China que tem “22% da população mundial e apenas 7% das terras

cultiváveis do planeta”, o que a torna um país com forte tendência de importação de alimentos. A única região com potencial de uso de água e terras excedentes é a América do Sul, “onde o Brasil tem 53% da água disponível do total latino-americano e 12% do total mundial.” (SETTI 1994 p 11)

Por outro lado, a escassez de água, tanto em termos de qualidade (devido à poluição) quanto de quantidade (gerando conflito entre os usuários), já é uma realidade para um terço da população mundial. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), “25 mil crianças de 0 a 5 anos morrem diariamente em todo mundo por causa de água contaminada. No Brasil, esse número é de 21 mil crianças todo ano.” Essa escassez já fez aumentar a necessidade de importação de alimentos de vários países da Ásia. Mas essa não é uma realidade apenas em países muito distantes pois o Brasil também possui problemas graves de escassez de água mesmo sendo um dos países mais ricos neste recurso no mundo.

Na região de Guaíra, no interior do Estado de São Paulo, que já possuiu uma das maiores concentrações de áreas irrigadas do País, a falta de planejamento e de critérios para o uso da água gerou vários conflitos entre os irrigantes em razão da escassez da água. Muitos deles chegaram até a abandonar a atividade ou transferi-la para outras localidades. (SETTI, 1994 p 11)

SETTI (1994, p 23), defende a idéia de que “se não houver uma mudança rápida e efetiva na política mundial da água, até o ano 2025 dois terços da população mundial sofrerão com a escassez desse importante recurso natural.” Para isso, todos tem sua parcela de contribuição a oferecer; a população em geral, evitando o desperdício; as indústrias, com o tratamento de seus resíduos antes de lançá-los nos rios; as administrações públicas, com tratamento de esgotos urbanos e saneamento básico; os agricultores, com o uso correto de agroquímicos e com a preservação de nascentes, mananciais e matas ciliares; e os profissionais que atuam em todas as áreas que possam ter alguma relação com o meio ambiente, oferecendo orientação e educação ambiental, despertando nas pessoas a conscientização para assuntos relacionados à preservação da vida em nosso planeta, que depende diretamente da existência e da preservação da qualidade da água.

Com relação aos dados de disponibilidade da água no Planeta, segundo o site <http://www.panoramaecologia.blogspot.com> no artigo *Água no Planeta*, pode-se dizer o seguinte:

Aproximadamente 97.5% das águas do planeta são salobras, inadequadas para uso humano. A maioria da água fresca está presa nas geleiras e glaciais. A necessidade básica recomendada de água por pessoa num dia é de 50 litros. Mas as pessoas podem utilizar algo perto de aproximadamente 30 litros: 5 litros para alimento e bebida e uns outros 25 para a higiene.

Dados da Organização Pan Americana de Saúde apontam que uma em cada seis pessoas no mundo não tem acesso fácil à água. Para que uma pessoa não morra de sede, precisa consumir todos os dias o equivalente a 3% de seu peso em água - quem pesa 60 quilos, por exemplo, precisa de 2 litros, juntando bebidas com água dos alimentos. "Sobreviver é muito diferente de viver com dignidade - que exige muito mais água", segundo o Chefe da Unidade de Desenvolvimento Local e Urbano da Organização Pan Americana de Saúde, Paulo César Pinto.

Só 8% da água consumida no mundo vai para as casas: a indústria gasta 22% e a maior parte tem como destino a agricultura - 70%.

Para evidenciar a idéia do quanto é injusto o uso da água no Mundo, o site <http://www.panoramaecologia.blogspot.com> cita os seguintes dados:

O Gâmbia usa 4.5; Mali, 8; Somália, 8.9; e Moçambique, 9.3. Em contraste, o cidadão médio dos Estados Unidos usa 500 litros de água por dia, e a média britânica é de 200 litros. No oeste, são utilizados cerca de 8 litros para escovar os dentes, 10 a 35 litros para nivelar a descarga, e 100 a 200 litros para tomar banho.

Assim, quando se dividem as reservas de um país pelo número de habitantes, é necessário ter no mínimo mil metros cúbicos por pessoa ao ano. Algéria, Tunísia e Oman têm metade disso; o Iêmen tem um quarto; Israel, Líbia e Jordânia têm menos de um quinto; a Árábia Saudita e os Emirados Árabes, menos de um décimo; o Kwait já esgotou tudo. Mas essa realidade não está tão longe da América Latina. Uma em cada seis pessoas no mundo não tem acesso fácil à água - e o conceito internacional de acesso fácil não é água na torneira - é água a até 1 quilômetro de casa. O acesso tem relação estreita e direta com a pobreza: quem não consegue pagar pelo abastecimento alternativo usa água poluída.

Milhões de pessoas morrem todos os anos de doenças relacionadas ao consumo de água imprópria para o uso, entre elas, crianças de até 5 anos de idade. São doenças que soam como ficção científica no século XXI como disenterias, cólera, febre tifóide, hepatite A entre outras.

Tudo tem relação com a pobreza: ferver a água evitaria boa parte dos milhões de mortes, mas quem tem de consumir água poluída poucas vezes tem condições para esquentar água. Nos países em desenvolvimento, nem água encanada é sinônimo de ficar livre de contaminações, pois o tratamento é bom, mas o abastecimento é vulnerável a microorganismos. Outro problema é a falta de coordenação entre as ações do governo para investirem em projetos de abastecimento, despoluição e proteção de mananciais.

3. UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Pelo fato das águas superficiais serem visíveis, muitas pessoas imaginam que a os rios e lagos são a maior fonte de obtenção de água. Na verdade, “cerca de 97% da água doce disponível no planeta esta no subsolo, portanto menos de 3% da água potável provem das águas superficiais.” (FEITOSA, 1997 p 32).

Segundo Feitosa (1997), quanto ao abastecimento através de poços no mundo, é possível dizer que “no período de 1970 a 1995 foram perfurados no mundo cerca de 300 milhões de poços. Essas perfurações fornecem água para o abastecimento de mais de 50% da população mundial e para a irrigação de aproximadamente 90 milhões de hectares.” (1997, p 38)

No Brasil, a falta de controle na utilização da água subterrânea provavelmente não permite fazer estimativas sem erros significativos. Mesmo assim, os dados do IBGE (Atlas de Saneamento 2000), revelam que “ 61% da população é abastecida com água subterrânea, sendo 43% através de poços tubulares, 12% pôr fontes e 65% pôr poços escavados.”

As águas superficiais representam água em transito, que são renovadas em períodos curtos (muitas vezes ao ano), denominado ciclo hidrológico. ¹

As águas subterrâneas encontradas nos aquíferos regionais são águas que foram acumuladas e armazenadas ao longo de milhares de anos e se encontram, em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, regido pôr mecanismo de carga e descarga.

Essas águas não estão diretamente expostas às influências climáticas, e o seu movimento é muito lento, implicando em tempo de transito muito longo. Mas nem toda água do subsolo pode ser extraída das formações aquíferas em que se encontra. O volume explorável de um aquífero é uma variável de decisão a ser determinada como parte de um plano de gestão de sistema.

Uma das alternativas para a escassez de água é a utilização das águas subterrâneas quando estas se encontram em seu território. Segundo Villiers (2002), na Arábia Saudita, Dinamarca e Malta, as águas subterrâneas constituem o único recurso hídrico disponível. Na Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Marrocos, Holanda, Rússia e Suíça, mais de 70% da demanda de água é atendida por mananciais subterrâneos.

¹ A água cumpre um ciclo que compreende a evaporação na superfície dos oceanos, a formação das nuvens, a chuva e o retorno aos rios e mares.

Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Marrocos, Holanda, Rússia e Suíça, mais de 70% da demanda de água é atendida por mananciais subterrâneos.

No Brasil, a utilização das águas subterrâneas vêm crescendo no decorrer dos anos.

De acordo com Zarpelon (2002, p 19) “são perfurados no Brasil de 8 a 10 mil poços por ano, dos quais a maioria destina-se ao abastecimento de indústrias.” Nas últimas décadas, no entanto, tem se verificado a tendência da captação de águas subterrâneas para abastecimento público, o que é preocupante por causa do risco de contaminação nos aquíferos e da exploração irracional, juntamente com a inexistência de um controle eficaz para a utilização das águas subterrâneas. É comum anúncios de empresas que fazem serviços de perfuração de poços artesianos e semi-artesianos e se dispõem a fazê-lo em qualquer lugar sem qualquer critério. O serviço é apenas perfurar o solo até encontrar água. Não há um critério de estudo e uma preocupação principalmente com a vazão e com os riscos de contaminação. Além disso a maioria dos poços não são outorgados² o que quer dizer que para o órgão ambiental ele não existe e portanto pode ser usado indiscriminadamente ferindo o conceito de que a água é um direito de todos. O instrumento da Outorga se mostra necessário, pois ordenando e regularizando o uso da água é possível assegurar ao usuário o efetivo exercício do direito de acesso à água, bem como realizar o controle quantitativo e qualitativo

²A Outorga pelo uso da água é o ato administrativo mediante o qual o Poder Público outorgante (União, Estados ou Distrito Federal) faculta ao outorgado o uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato. O outorgado é identificado e estão estabelecidas as características técnicas e as condicionantes legais do uso das águas que o mesmo está sendo autorizado a fazer.

4. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

No território brasileiro, segundo Almanaque Abril (2003), são estimados cerca de 112 milhões de metros cúbicos de água em reservas subterrâneas. Assim como os rios essas reservas se dividem em bacias hidrográficas ou províncias: do Amazonas, Parnaíba, São Francisco, Paraná Centro Oeste, Costeira e a dos Escudos Setentrional, Central, Oriental e Meridional.

4.1. Ocorrências

A água subterrânea é utilizada desde o início da colonização, em decorrência da expansão dos colonos portugueses para o interior, principalmente na região de rochas cristalinas do Nordeste, com grandes áreas desprovidas de água em superfície.

Segundo Benton (1969, p 168), quanto ao uso e facilidade de acesso a água no período colonial podemos citar:

Inicialmente, aproveitava-se a água das coberturas inconsolidadas, principalmente dos aluviões, suficientes para atender às necessidades de então. Com o crescimento da população e, principalmente, com o surgimento dos primeiros aglomerados humanos e com a expansão da pecuária, as principais fontes de abastecimento tornaram-se insuficientes para o atendimento das necessidades. Essa situação se fazia mais evidente na região Nordeste, tomando o aspecto de calamidade em períodos de seca.

Ainda segundo Benton (1969), maiores volumes de água tornaram-se necessários, e entre 1845-1846, foram perfurados em Fortaleza (CE) os três primeiros poços tubulares do Brasil pela empresa concessionária do abastecimento daquela cidade.

No Brasil, as águas subterrâneas ocupam diferentes tipos de reservatórios. Segundo Rebouças (1988), esses reservatórios subterrâneos vão desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino até os depósitos sedimentares cenozóicos. Dessa diversificação, resultaram sistemas aquíferos que, pelo seu comportamento, podem ser reunidos em:

- Sistemas porosos (rochas sedimentares);
- Sistemas fissurados (rochas cristalinas e cristalofílicas);
- Sistemas cársticos (rochas carbonáticas com fraturas e outras descontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica).

➤ Sistemas cársticos (rochas carbonáticas com fraturas e outras descontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica).

Segundo Pedrosa e Caetano (2002, p 33), “o sistema aquífero fissural³ ocupa uma área de cerca de 4.600.000km², correspondente a 53,8% do território nacional.” Compreende as províncias hidrogeológicas dos escudos Setentrional (região Norte), Central (regiões Norte e Centro-Oeste), Oriental (regiões Nordeste e Sudoeste) e Meridional (região Sul). “Esse sistema apresenta reservas de águas subterrâneas da ordem de 10,08.103km³ que, devido à heterogeneidade do meio, encontram-se distribuídas irregularmente por sua área de ocorrência.” (PEDROSA E CAETANO, 2002 p 33)

Pedrosa e Caetano, (2002) dizem que hidrogeologicamente, as melhores possibilidades estão ligadas à presença de juntas e fraturas densas, associadas a coberturas inconsolidadas mais ou menos expressivas e clima úmido. Nesses casos, a zona aquífera principal pode, não raro, ser representada pelo sistema superficial. Essa situação é predominante nos terrenos cristalinos das regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, onde as condições hidroclimáticas favoreceram o desenvolvimento de coberturas sedimentares inconsolidadas, às vezes muito espessas. Podem ocorrer vazões de várias dezenas de m³/h, com média em torno de 12m³/h. As águas são de boa qualidade química, porém segundo Rebouças (1988), pode ocorrer localmente teores de ferro acima do permitido.

Segundo Pedrosa e Caetano (2002, p 32) no domínio do embasamento cristalino aflorante, como na região Nordeste, o reservatório é representado quase que exclusivamente pelas fraturas. “As reservas são reduzidas e as vazões dos poços apresentam média inferior a 3m³/h. As águas são, normalmente, salinizadas, com resíduo seco médio acima de 2.500mg/l.”

³ São os originados pelas rochas ígneas e metamórficas, onde os espaços cheios de água são fraturas de diversas origens, tamanhos e aberturas.

4.2. Províncias Hidrogeológicas do Brasil

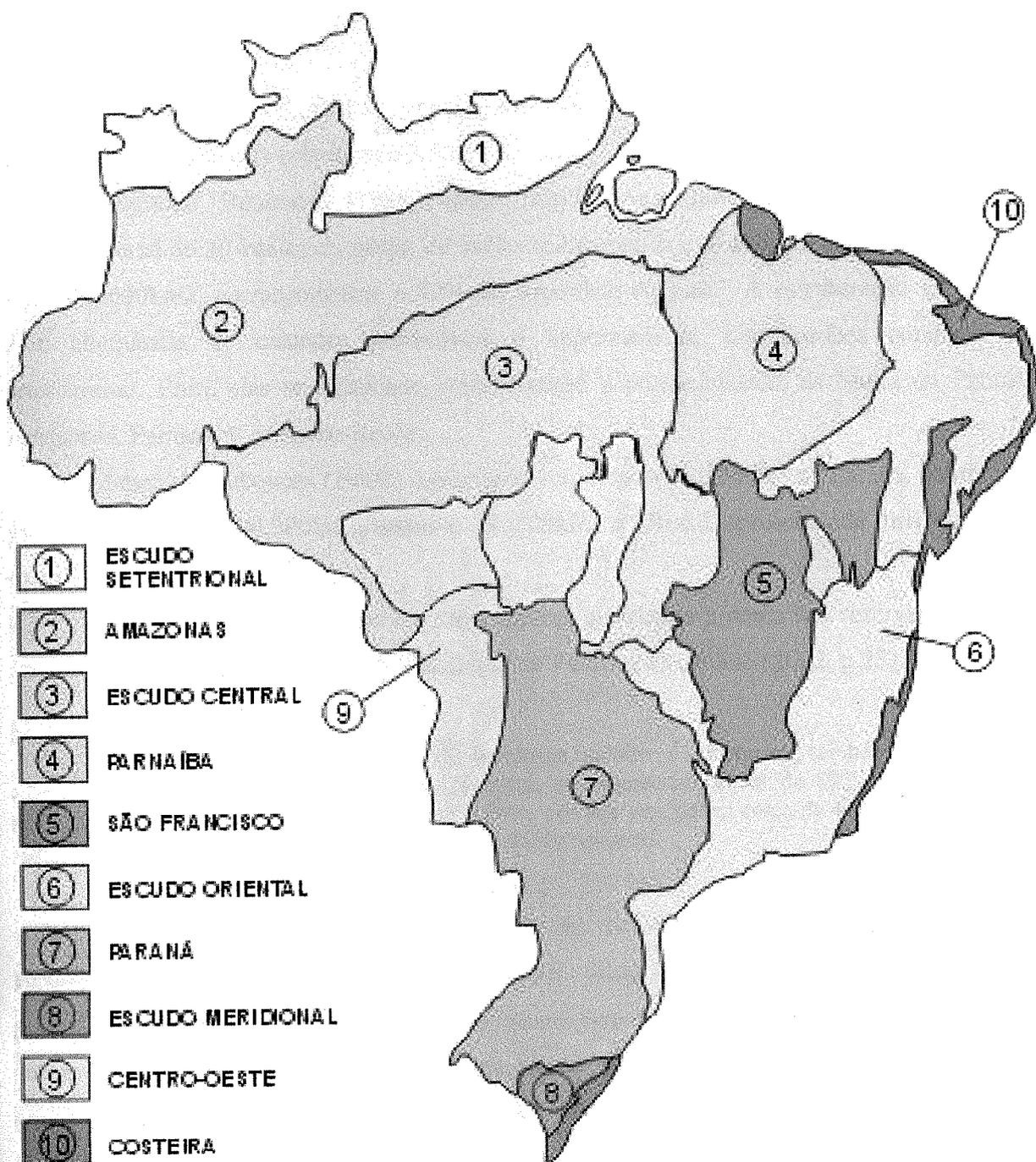


Figura 1: Províncias hidrogeológicas

Fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br>

Segundo Rebouças (1988), os sistemas cársticos⁴ mais importantes correspondem aos domínios do calcário do grupo Bambuí (província hidrogeológica do São Francisco, com mais de 350.000km² nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais) e da formação Jandaíra (subprovíncia Potiguar). Segundo Rebouças (1988), no aquífero Jandaíra, os carstes estão relacionados às variações faciológicas. As profundidades do desenvolvimento cárstico são muito variáveis, com média em torno de 150m. Enquanto o Bambuí pode fornecer vazões superiores a 200m³/h, o Jandaíra, com pequeno desenvolvimento cárstico, apresenta vazões muito baixas (geralmente inferiores a 3,5m³/h).

Segundo Rebouças (1988) apud (<http://www.perfuradores.com.br>) afirma que “existem cerca de 20 bacias ou grupo de bacias sedimentares que ocupam uma área da ordem de 3.600.000km², correspondente a 42% da superfície do país.” A estruturação geológica, com alternância de camadas permeáveis e impermeáveis, assegura-lhes condição de artesianismo. Entre elas se destacam, pela extensão e potencialidade, as bacias do Paraná, Amazonas, Parnaíba e Potiguar-Recife.

Segundo Rebouças (1988), a mais extensa, a bacia sedimentar do Paraná, cobre uma área da ordem de 1.600.000km², sendo 1.000.000km² no Brasil, apresentando uma espessura máxima de 7.825m.

Quanto ao aquífero Guarani e sua representatividade a cerca das reservas de águas subterrâneas no Brasil pode-se dizer que Segundo Pedrosa e Caetano (2002, p 25):

O principal sistema aquífero é o Botucatu, também conhecido por sistema aquífero Guarani, que representa cerca de 80% das reservas da província do Paraná. Esta, por sua vez, detém cerca de 45% das reservas de água subterrânea do território nacional.

Segundo Pedrosa e Caetano (2002), as maiores espessuras de sedimento são encontradas nas bacias de São Luís-Barreirinhas (MA) e do Tucano (BA). Essa última, pertencente à subprovíncia hidrogeológica Recôncavo-Tucano-Jatobá, constitui um meio-gráben com profundidade que pode ultrapassar os 10.000m em sua margem oriental. Os principais aquíferos são marechal, São Sebastião (com espessura de mais de 3.000m) e Ilhas (2.500m). Esses aquíferos apresentam vazão específica média dos poços da ordem de 3m³/h/m. As águas até uma profundidade de 800m são normalmente de boa qualidade.

4 Aquíferos cársticos são os aquíferos formados em rochas carbonáticas. Constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devidas à dissolução do carbonato pela água, podem produzir aberturas muito grandes, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos. É comum em regiões com grutas calcárias, ocorrendo em várias partes do Brasil.

4.3. Reservas e Condições de Utilização das Águas Subterrâneas

No Brasil, da mesma forma que em outras partes do mundo, a utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, e as indicações são de que essa tendência deverá continuar. A comprovar esse fato temos um crescimento contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação dos recursos hídricos subterrâneos. Também é crescente o número de pessoas interessadas pelas águas subterrâneas, tanto nos aspectos técnico-científico e sócio-econômico como no administrativo e legal.

As águas subterrâneas, mais do que uma reserva de água, devem ser consideradas como um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social de regiões extremamente carentes, e do Brasil como um todo. Essa afirmação é apoiada na sua distribuição generalizada, na maior proteção às ações antrópicas e nos reduzidos recursos financeiros exigidos para sua exploração.

Conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial ao estabelecimento de política de gestão das águas subterrâneas.

No Brasil, os estudos das águas subterrâneas sempre estiveram mais vinculados à investigação geológica que à hidrológica. A hidrogeologia tem sido tratada mais como uma ciência da terra do que da água. Isso deve-se, provavelmente, a uma política de utilização das águas voltada quase que exclusivamente para os recursos de superfície e a uma organização gerencial que separa as águas superficiais das águas subterrâneas.

Segundo Feitosa (1997), exploração de água subterrânea está condicionada a três fatores:

- quantidade, intimamente ligada à condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento dos terrenos;
- qualidade, influenciada pela composição das rochas e condições climáticas e de renovação das águas;
- econômico, que depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento. As reservas temporárias correspondem ao escoamento de base dos rios, ou seja, às reservas reguladoras dos sistemas aquíferos. A relação entre o volume do escoamento natural e as reservas permanentes constitui o coeficiente de realimentação, importante na definição das condições de exploração. As reservas exploráveis, ou reservas hídricas, correspondem ao volume de água que se pode extrair anualmente do aquífero sem provocar

resultados indesejáveis. O seu valor é obtido somando às recargas anuais um percentual, normalmente de 20%, das reservas permanentes, a ser utilizado por um período de 50 anos.

De acordo com Feitosa (1997, p 43) avaliação dos recursos de água subterrânea do Brasil, por falta de maior precisão dos estudos locais, ainda é muito aproximativa. Quanto ao valor das infiltrações é possível dizer que:

É determinado a partir da vazão do escoamento de base. Ela é rápida nas bacias que drenam o cristalino da região Nordeste (cerca de 33 horas) e demorada nos demais domínios (vários meses e mesmo interanuais). O escoamento de base das reservas hidrogeológicas tem sido estimado entre $5.103 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{km}^2$ e $250.103 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{km}^2$ e o coeficiente de renovação para o conjunto das bacias, em cerca de 10-3. Nos terrenos sedimentares, os volumes acumulados até uma profundidade de 2.000m, considerando 1/3 produtivo, é da ordem de 102.1012m^3 . Esse volume, todavia, está distribuído irregularmente, sendo que mais de 81% encontram-se estocados apenas em duas bacias: do Paraná e do Amazonas.

Estima-se em mais de 200.000 o número de poços tubulares em atividade no Brasil, utilizados para diversos fins, como a irrigação, a pecuária, o abastecimento de indústrias, os condomínios etc. O maior volume de água ainda é, todavia, destinado ao abastecimento público. O número de poços perfurados por ano é estimado em 12.000, o que pode ser considerado irrisório diante das necessidades de água potável das populações e se comparado com outros países. Os estados com maior número de poços são: São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul, Ceará e Piauí.

Segundo Feitosa (1997, p), o reduzido número de poços tubulares, relativamente ao tamanho da população e à dimensão territorial do país, soma-se a sua distribuição irregular no espaço, com densidade por estado. A respeito desta variação pode-se dizer que:

Essas densidades são pouco representativas se considerarmos que a grande maioria dos poços se encontra nas sedes municipais, principalmente nas maiores. A utilização da água subterrânea no meio rural é, de um modo geral, pouco representativa.

Em algumas zonas, todavia, as águas subterrâneas já são intensamente aproveitadas e constituem o recurso mais importante de água doce. Mesmo em casos de elevado teor salino, como nas áreas de ocorrência dos sistemas aquíferos fissurados do semi-árido nordestino, constituem, não raro, a única fonte de suprimento de água permanente.

O crescente uso das águas subterrâneas deve-se ao melhoramento das técnicas de construção de poços e dos métodos de bombeamento, permitindo a extração de água em

volumes e profundidades cada vez maiores e possibilitando o suprimento de água a cidades, indústrias, projetos de irrigação etc., que, pelo porte, eram impossíveis na prática. Relacionam-se como fatores desencadeadores do uso das águas subterrâneas a crescente oferta de energia elétrica e a poluição das fontes hídricas de superfície, cujo uso está exigindo a disponibilização de recursos financeiros em quantidades cada vez maiores.

5. O AQUÍFERO GUARANI

Esse reservatório de proporções gigantescas de água subterrânea é formado por derrames de basalto ocorridos, segundo Araújo et al, (1995, p 16) “nos Períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo Inferior (entre 200 e 132 milhões de anos)”

A espessura total do aquífero varia de valores superiores a 800 metros até a ausência completa de espessura em áreas internas da bacia. “Considerando uma espessura média aquífera de 250 metros e porosidade efetiva de 15%, estima-se que as reservas permanentes do aquífero (água acumulada ao longo do tempo) sejam da ordem de 45.000 Km³.” (ARAÚJO et al. 1995, p 16).

O Aquífero Guarani constitui-se em uma importante reserva estratégica para o abastecimento da população, para o desenvolvimento das atividades econômicas e do lazer.

Segundo Araújo et al (1995), sua recarga natural anual (principalmente pelas chuvas) é de 160 Km³/ano, sendo que desta, 40 Km³/ano constitui o potencial explorável sem riscos para o sistema aquífero.

“As águas em geral são de boa qualidade para o abastecimento público e outros usos, sendo que em sua porção confinada, os poços tem cerca de 1.500 m de profundidade e podem produzir vazões superiores a 700 m³/h.” (ARAÚJO et al. 1995, p 16).

5.1. Origem e denominação

Segundo Benton (1969), as regiões do aquífero compunham um deserto pré-histórico. Com o passar do tempo, os ventos acumularam grandes depósitos arenosos (na Bacia Sedimentar do Paraná), representando um extenso campo de dunas que foi recoberto por um dos mais volumosos episódios de vulcanismo intracontinental do planeta, cuja lava solidificada originou a Formação Serra Geral, que vem a ser uma capa protetora do Aquífero Guarani. Esses mecanismos geológicos é que originaram as rochas (formações geológicas), em cujos poros armazenam-se as águas do Aquífero Guarani.

De acordo com Feitosa (1997), o Aquífero Guarani situa-se dentro das bacias geológicas do Paraná e Chaco-Paranaense e nelas ocupa um espaço aproximado de 1,2 milhão de km². A evolução estrutural dessa grande área pressupõe que esforços tectônicos intensos propiciaram a ocorrência de extensas zonas de fraqueza. O embasamento das bacias geológicas onde se encontram as camadas aquíferas data da criação do supercontinente de

Gondwana⁵. Sua evolução durante a era Paleozóica (entre 545 milhões e 248 milhões de anos atrás) indica que três seqüências foram depositadas e influenciadas por zonas de fraqueza de direções dominantes nordeste e noroeste, freqüentemente reativadas.

Segundo dados do Almanaque Abril *Atualidades e Vestibular* (2007), durante a era Mesozóica (a época dos grandes dinossauros, entre 248 milhões e 65 milhões de anos atrás) foram depositadas duas seqüências: uma sedimentar e outra vulcânica. A partir delas originaram-se o Aquífero Guarani e a unidade hidroestratigráfica confinante, constituída de rochas basálticas e denominada de Serra Geral. As duas seqüências foram influenciadas pela abertura do oceano Atlântico, originando-se nessa época um terceiro elemento estrutural de direção leste-oeste.

De acordo com Feitosa (1997), as primeiras interpretações em mapas abrangendo grandes áreas do Aquífero Guarani não levaram em consideração sua complexidade estrutural. Isso ocorre por causa do efeito da escala (é mais difícil desenhar um panorama detalhado de uma área grande), e não do desconhecimento pelos estudiosos da influência dessas estruturas nas camadas aquíferas. Como consequência, todas as variáveis analisadas desconsideraram o efeito das discontinuidades estruturais no arcabouço das camadas aquíferas, e geraram uma expectativa de homogeneidade impossível de ocorrer.

Segundo informações disponíveis no site <http://www2.uol.com>, o termo Guarani foi sugerido pelo geólogo Danilo Antón⁶ em maio de 1996 em um workshop em Curitiba em homenagem aos povos que habitavam esta região nos primórdios. Este aquífero chegou a ser considerado e divulgado na imprensa como o maior do mundo e seria constituído de um megareservatório de água subterrânea doce e potável. Suas reservas estratégicas poderiam abastecer a população brasileira por cerca de 2.500 anos. De fato, diante desse cenário seria possível excluir de nossas preocupações uma futura crise da água, pois a Natureza nos teria presenteado com uma fonte de água subterrânea de boa qualidade e quase inesgotável. O objetivo era unificar a nomenclatura das formações geológicas que formam o aquífero, e que recebem nomes diferentes nos quatro países e, simultaneamente, prestar uma homenagem aos índios guaranis que habitavam a área de sua ocorrência, na época do descobrimento da América.

⁵ A porção sul do supercontinente Pangea, separada da porção norte (Laurásia) pelo oceano Tethys, durante o fim do Carbonífero a Permiano, compondo um novo supercontinente, recebe o nome de Gondwana (terra dos gonds, povo da Índia) que existiu até o Cretáceo, quando sofreu *rifteamento* e deu origem a América do Sul, África, Antártida, Austrália, Índia (amalgamada à Ásia por colisão continental), além de pequenos restos de terrenos continentais, como as ilhas Seichelles. (Almanaque Abril *Atualidades e Vestibular*, 2007)

⁶ Danilo Antón é consultor da Unesco, geógrafo e pesquisador uruguaio

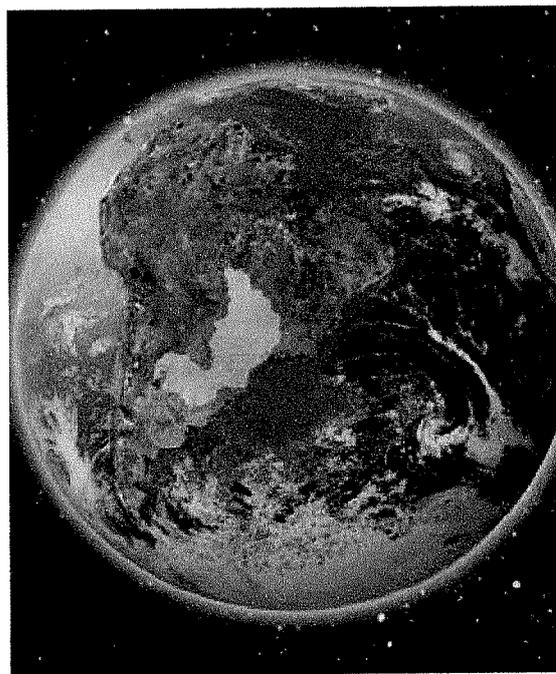


Figura 2: Gravura da simulação da extensão do Aquífero Guarani no subsolo terrestre

Fonte: http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_94.html

5.2. Áreas de ocorrência

O Aquífero Guarani é o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo. Está localizado na região centro-leste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude sul e entre 47° e 65° de longitude oeste.

“A área do Guarani, na Argentina, é de 225.500 km²; no Paraguai é de 71.700 km²; no Uruguai é de 58.500 km², e no Brasil é de 840 mil km²” (ARAÚJO et al. 1995, p 16).

Sua maior ocorrência se dá em território brasileiro (2/3 da área total), abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul “num total de 70,2% da área total do aquífero.” (Revista Super Interessante nº 07 ano 13)

Estudos realizados em quase todos os estados brasileiros indicaram grande descontinuidade na estruturação geológica. “Isso ocorre, por exemplo, no Arco de Ponta Grossa (Paraná), onde as estruturas geológicas e as intrusões vulcânicas dividem o sistema aquífero em diversos fluxos independentes e limitados ao Brasil.” (ARAÚJO et al. 1995, p 16).

Segundo Revista Super Interessante (nº 07 ano 13), o Estado de São Paulo apresenta excelente conformação estrutural, o que facilita a recarga, circulação e descarga⁷ das águas subterrâneas. O fluxo das águas, entretanto, não é transfronteiriço, restringindo-se aos limites paulistas. No Brasil, São Paulo está entre os estados mais privilegiados, pois é onde a potencialidade do Aquífero Guarani mais se aproxima da noção divulgada pela imprensa.

Quanto a qualidade das águas do Aquífero Guarani em Estados Brasileiros a revista Revista Super Interessante (nº 07 ano 13), traz as seguintes informações:

No Mato Grosso do Sul as medidas de pressão das águas do aquífero indicam fluxos das águas principalmente em direção ao rio Paraná. Com relação à qualidade das águas, em Santa Catarina e Paraná extensas áreas do aquífero têm águas com alta salinidade (salobras), não potáveis. Em São Paulo e Mato Grosso do Sul, elas tornam-se mais salinas nas proximidades do rio Paraná, embora as condições geológicas e de fluxos da região sejam favoráveis a uma boa qualidade das águas. Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais carecem de estudos mais aprofundados. Como as camadas aquíferas estão próximas das áreas de recarga, as águas tendem a ter boa qualidade nesses três estados.

A qualidade das águas do Aquífero Guarani e suas características geomorfológicas no Uruguai, Argentina e Paraguai são descritas pelo site sciam:

No Uruguai, a hidroestratigrafia do aquífero é complexa e muito semelhante à que ocorre na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. Sua conformação estrutural é favorável ao fluxo das águas, entretanto, os valores de salinidade aumentam próximo ao rio Uruguai, assim como a temperatura das águas.

Na Argentina predominam as águas termais e o sistema aquífero é totalmente confinado em grandes profundidades. Na Província de Entre Rios, por exemplo, é possível observar-se um incremento exagerado na salinidade do aquífero logo a partir do rio Uruguai, quando poços termais que tinham águas com aproximadamente 1.000 mg/l de sais passam a apresentar águas com mais de 100.000 mg/l de sais, quase três vezes o valor encontrado na água do mar.

O Paraguai, apesar da extensa área aflorante, mostra também grande heterogeneidade hidrogeo-lógica e águas de boa qualidade. Entretanto, apresenta em sua porção confinada pelas rochas basálticas, nas proximidades do rio Paraná, uma extensa faixa de águas salobras e termais. (*Aquífero Guarani*. <http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia>)

⁷ A recarga ocorre principalmente pela penetração das águas de chuva, e a descarga é a saída da água do subsolo, em direção aos rios ou outras estruturas geológicas, após lenta circulação no aquífero.

5.3. Características gerais

“O Guarani é um aquífero do tipo poroso e confinado por cerca de 90% da sua área total. Ele encontra-se recoberto pelas espessas camadas de rochas basálticas da Formação Serra Geral. (ARAÚJO et al. 1995, p 16)

De acordo com Araújo et al. (1995), a espessura total do Aquífero Guarani varia de valores superiores a 800 metros (Alegrete, RS⁸) até a ausência completa em áreas internas da bacia (Muitos Capões, RS⁹).

O confinamento do aquífero impõe condições de surgência natural (artesianismo) a partir de algumas dezenas de quilômetros de distância das áreas de afloramento. “A exploração da água através de poços profundos permite a extração por unidade de captação de até (1.000 m³/h).” (GUALDI, 1999 apud BORGHETTI e BORGHETTI, 2005 p 125)

Nas áreas de maior confinamento, as águas do Guarani não são, sem tratamento, adequadas para o consumo humano devido ao elevado teor de sólidos totais dissolvidos, bem como por causa de uma concentração elevada de sulfatos e presença de flúor acima dos limites recomendáveis.

Segundo ARAÚJO et al. (1995, p 16), “a temperatura média da água do manancial é de 25°C a 30°C, podendo alcançar temperaturas mais elevadas que variam de 30 e 68°C.”

5.4. Zonas de afloramento e descarga qualidade e uso das águas do Aquífero Guarani

Segundo Borghetti e Borghetti (2004), a área de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil é de aproximadamente “104 mil km²”, o que equivale a 12,4% da área total do aquífero em território nacional.

Quanto as porcentagens relativas a cada estado Borghetti e Borghetti (2004, p 127) citam que:

O estado onde está localizada a maior área de afloramento é o Mato Grosso do Sul com 30% (31.299 km²), porém o equivalente a 14,7% da área total do aquífero no Estado. Em seguida têm-se São Paulo com 16,7%, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, ambos com cerca de 13% e Goiás com 12%. Os Estados do Paraná, Santa Catarina e Minas Gerais possuem as menores áreas de afloramento com 8,6; 5,7 e 1,6%,

⁸ Alegrete é uma cidade Rio Grandense considerada a 3ª Capital Farroupilha. Tem uma área de aproximadamente 7800km² e situa-se na Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo divisa com algumas cidades como Uruguaiana, Quaraí, Itaqui, Manoel Viana, Rosário do Sul, e Cacequi.

⁹ Muitos Capões é uma Cidade do Nordeste Rio Grandense a aproximadamente 191 km da Capital Porto Alegre.

respectivamente. Cerca de 50% da área do Guarani no estado do Mato Grosso apresenta-se em área de afloramento.



Figura 3: Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil

Fonte: http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_94.html

5.4.1. Zonas de recarga direta ou de afloramento:

Segundo Borghetti e Borghetti (2004), ocorrem nas regiões onde a erosão expõe parte dos afloramentos. As principais zonas de recarga do Guarani em território nacional encontram-se nos Estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina. A maior área de recarga do aquífero no Paraguai localiza-se nos departamentos de Caaguazú e Alto Paraná. A recarga nessa área se dá pela infiltração direta da água da chuva através do solo.

5.4.2. Zonas de recarga indireta

Segundo Borghetti e Borghetti (2004), o reabastecimento do Guarani pelas zonas de recarga indireta se dá por drenagem (filtração vertical) superficial das águas através das fissuras das rochas da Formação Serra Geral e pelo fluxo subterrâneo indireto, ao longo de descontinuidade das rochas do pacote confinante sobrejacente (Grupo Bauru/Caiuá), nas áreas onde a carga potenciométrica favorece os fluxos descendentes, ocorrendo em direção ao centro da bacia.

5.4.3. Zonas de descarga:

Segundo Borghetti e Borghetti (2004), ocorrem principalmente nas regiões cujas cotas topográficas são inferiores a 300 m. As principais zonas de descarga do sistema aproximam-se às regiões próximas ao nível de base do Rio Paraná ou dentro da área de influencia à jusante de sua bacia hidrográfica, bem como no Chaco Argentino. Essas áreas principais seriam as regiões planas e pantanosas entre os rios Uruguai e Paraná, na Argentina, e ao longo dos rios Paraná, Pelotas e Tietê.

Araújo et. al, (1995, p 16) relata algumas características referentes a qualidade das águas do Aquífero guarani e diz o seguinte:

Suas águas são de excelente qualidade, inclusive dispensando tratamentos químicos convencionais para a sua potabilização. Além disso, na maior parte da bacia o aquífero é portador de água potável, embora localmente possa ocorrer alteração na potabilidade, basicamente por causa do aumento de salinidade e do conteúdo de flúor ocasionado pela grande profundidade - poços com mais de 800 metros -, e por suas águas atingirem temperaturas relativamente elevadas, em geral entre 30 e 68°C." Segundo dados da OEA (2003), as concentrações anômalas de flúor e de salinidade estão relacionadas com as condições de grande confinamento e de um tempo elevado de residência das águas do aquífero.

Borghetti e Borghetti (2004), verificam que por sua grandeza e, principalmente, a sua localização geográfica envolvendo os quatro países do Mercosul, o Guarani é considerado um importantíssimo manancial hídrico, constituindo-o em uma reserva estratégica para o abastecimento da população e para o desenvolvimento socioeconômico da região de sua abrangência.

Um outro autor ainda cogita a idéia da utilização para outros fins, que não os de abastecimento quando as águas do guarani estiverem 'poluídas':

[...] quando as águas do Guarani não forem próprias para o consumo humano, estas podem ser usadas para outros fins a partir da utilização do seu gradiente geotérmico, como em atividades agro-industriais e no turismo/lazer” (ZARPELON 2005, p 20).

Segundo Feitosa (1997), grande parte da camada de arenito que contém a água é confinada, e nesses locais a água precisa atravessar a camada de basalto para chegar ao Guarani. Quanto maior a distância percorrida no subsolo, mais íons de sais ela absorve, e sua qualidade vai piorando. Nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani e proximidades é que as águas tendem a possuir melhor qualidade.

Em áreas muito profundas, por causa da grande pressão exercida pelo peso da terra, são mais comuns áreas de descarga ascendente. Segundo Feitosa (1997), Essas águas profundas são sódicas e podem evoluir de bicarbonatadas para sulfatadas e cloretadas, de pior qualidade. O cloreto e o sulfato podem penetrar no Guarani a partir de descargas do Aquífero Permiano, onde este sofre muita pressão.

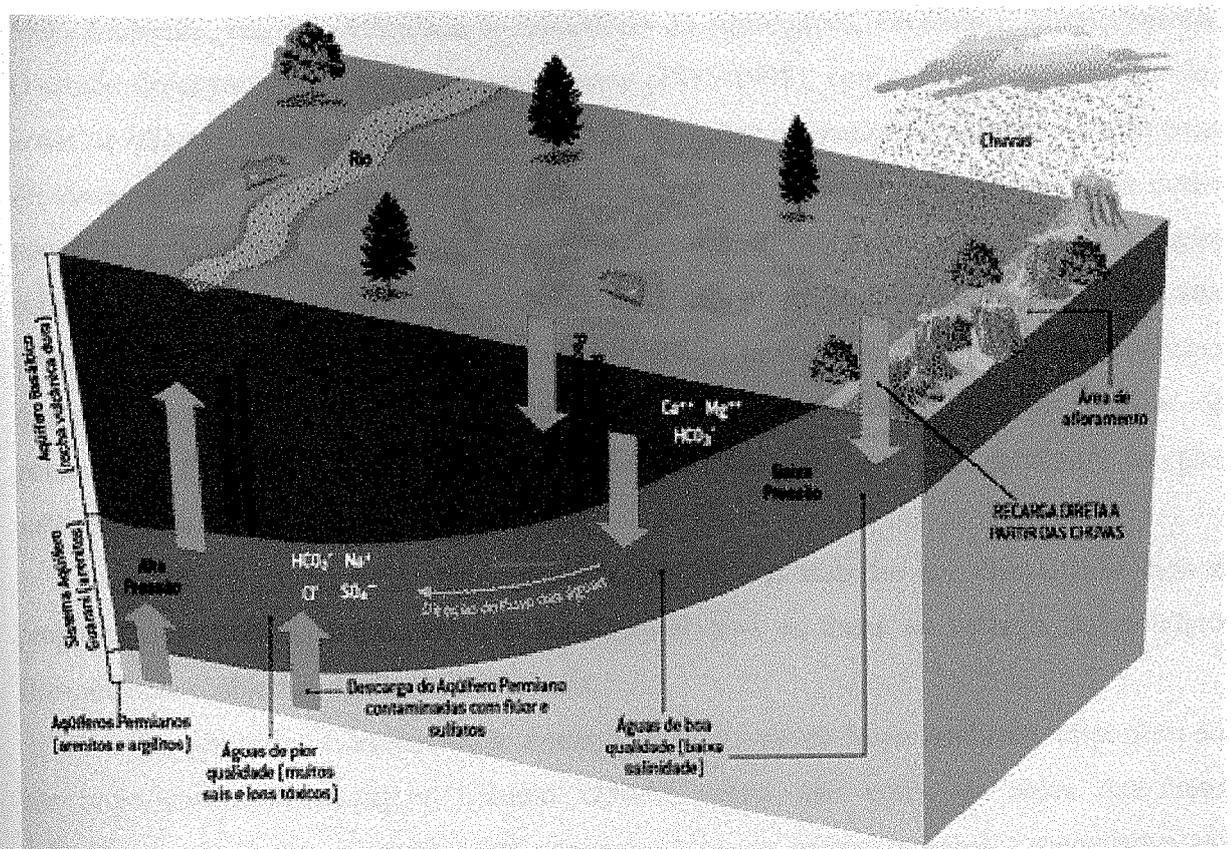


Figura 4: Áreas de recarga, afloramento e descarga do Aquífero Guarani

Fonte: http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_94.html

5.5. Usos da água

Entre os vários usos das águas captadas desse aquífero e as possibilidades de incrementar outras modalidades que favoreçam a implantação de empreendimentos na região, têm-se basicamente o abastecimento público, o desenvolvimento de atividades industriais e agroindustriais (climatização de ambientes; secagem de madeira; fermentação da cevada para a produção de cerveja; culturas em estufas; proteção contra geadas combinada com a irrigação; armazenamento de grãos; evisceração de aves; aquíicultura; elaboração de produtos lácteos; esterilização; destilação; operações intensas de descongelamento; biodegradação, entre outras) e o desenvolvimento do turismo com a instalação de estâncias hidrotermais

5.6. Riscos de contaminação no Aquífero Guarani

Primeiro estudo sobre uma possível contaminação do sistema foi feito pela Embrapa Meio Ambiente, empresa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. O estudo desenvolvido ao longo de quatro anos (1995-1998), com o título *Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea em área de afloramento do Aquífero Guarani*, revelou a presença de agrotóxicos como tebutiuron, hexazinone e ametrina¹⁰ em níveis crescentes, de um ano para o outro, na água subterrânea. Considerando-se como ponto de amostragem um poço semi-artesiano localizado dentro da área de estudo. Os resultados indicam que os níveis encontrados estão ainda abaixo daqueles considerados críticos pela Organização Mundial de Saúde para os padrões de potabilidade. Foi verificada também uma tendência ao aumento dos teores de nitrato na água subterrânea no mesmo período de quatro anos.

Com esse cenário de risco de contaminação, o trabalho foi direcionado para a proposição de práticas agrícolas mais sustentáveis para as áreas de recarga do Aquífero Guarani, com o objetivo de diminuir os riscos.

Em seu artigo *Contaminação anunciada* do Jornal do Meio Ambiente disponível no site <http://www.riosvivos.org.br> Cláudio Oliveira relata que como os solos das áreas cultivadas normalmente possuem alta permeabilidade, a aplicação anual e cumulativa de produtos, sejam pesticidas, sejam fertilizantes, aumenta sensivelmente o risco de

¹⁰ Tebutiuron é um herbicida usado na aplicação em pré-emergência das plantas infestantes na cultura de cana de açúcar e pastagens. Grupo químico da Uréia, classificação toxicológica Classe II. O hexazinone e o tebutiuron possuem alto potencial de lixiviação e, conseqüentemente, podem atingir as águas subterrâneas.

contaminação do Aquífero Guarani. Nas áreas de recarga do Aquífero Guarani localizadas no Mato Grosso do Sul, principalmente na porção que abrange as nascentes dos rios Taquari e Coxim, há predomínio de pastagens com uma situação de risco, relativamente baixa, para a água subterrânea. O problema maior nessas áreas tem sido o assoreamento dos cursos d'água em decorrência do manejo inadequado das pastagens, favorecido pelo intenso processo erosivo. Levantamentos mais específicos mostraram que, em determinados lugares, a exemplo do Estado de Goiás, os riscos de contaminação da água subterrânea têm aumentado, principalmente em função da substituição da pastagem por cultura anual que exige maior quantidade de insumos, entre eles os pesticidas.

Segundo Borghetti e Borghetti (2004), a região de afloramento do Guarani no Estado do Mato Grosso do Sul apresenta uma vocação rural, com produção, preferencialmente da soja e atividade pecuária extensiva.

Nas áreas localizadas na porção que abrange as nascentes dos rios Taquari e Coxim, no estado do Mato Grosso do Sul, o problema maior, Segundo Borghetti e Borghetti (2004, p 132), “tem sido o assoreamento dos cursos de água, em decorrência do manejo inadequado das pastagens, favorecido pelo intenso processo erosivo.”

Com relação a problemática da contaminação das águas subterrâneas, no caso, as águas do aquífero Guarani por dejetos oriundos da agricultura, indústrias e outras atividades Borghetti e Borghetti (2004, p 132), ainda dizem o seguinte que “o uso de agroquímicos e os dejetos dos criadouros de porcos e estabelecimentos de laticínios parecem ser as fontes de contaminação, dispersas e pontuais, mais representativas, principalmente, em Camapuã e São Gabriel do Oeste.”

Um novo estudo está sendo feito ainda pela Embrapa Meio Ambiente, com o emprego das técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto, visando a estudar a ocupação intensiva da agricultura em área potencialmente frágil sob o aspecto ambiental, como são as áreas de recarga do Aquífero Guarani. O objetivo do estudo é possibilitar a análise de forma integrada do desenvolvimento e gerenciamento dos recursos naturais, subsidiando a tomada de decisão com suporte técnico e científico, de forma a reduzir os conflitos ao mínimo e contribuir para o desenvolvimento sustentável nessas áreas de recarga.

Segundo técnicos da CETESB, o maior risco está na utilização da vinhaça, fonte de nitrato e potássio aplicada como fertilizante em culturas como a cana-de-açúcar, atividade dominante e em expansão nas áreas de recarga encontradas em Ribeirão Preto (SP), caso mais famoso da utilização do Guarani, onde 100% do abastecimento público é realizado por essas águas. Ribeirão Preto é a única cidade de porte médio a ter todo seu consumo suprido pelo

Aqüífero Guarani. Seu uso, no entanto, é questionado por Caubet (2004, p 18), "a cidade possui um consumo muito alto, que demanda muito do Aqüífero. É preciso rever esse padrão".

Segundo dados da Divisão das Águas Subterrâneas da CETESB, com o excesso de nitrato, estas águas não terão qualidade para o consumo humano. Cabe lembrar que a importância social e estratégica está na qualidade das águas do Guarani e uma possível contaminação por meio da ação antrópica pode ocasionar a perda desse valor social e estratégico.

O Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto (DAERP), por meio da assessoria de comunicação, concorda que o consumo da cidade é alto, mas aponta razões para isso. A cidade produz 13.400m³ de água por hora, sem contar poços particulares legais e clandestinos. O órgão informa que a alta se deve ao clima quente e seco da cidade. Para agravar, a época de seca coincide com a de colheita da cana, principal produto agrícola da região. Pouco antes de ser colhida, queima-se a plantação, o que leva fuligem à área urbana. Além disso, por ser uma cidade rica, o consumo é maior pois quanto mais rica uma região, maior a demanda por qualquer serviço.

Outra cidade, não tão conhecida pela utilização das águas do Guarani, é Santo Antônio da Platina, localizada no Norte do Paraná, onde toda água consumida pela população vem do aquífero. O fator preocupante é que nesta região (área de recarga) o aquífero se encontra muito próximo da superfície – em torno de 100 metros de profundidade – aumentando os riscos de contaminação, além da produção existente na região de cana de açúcar.

Contudo, “apesar das evidências quanto à exploração inadequada do Aqüífero, ainda existe uma atitude generalizada de subestimar os riscos de poluição das águas subterrâneas, traduzida pela falta de políticas e de ações voltadas para a sua proteção”. (BORGHETTI e BORGHETTI 2004, p 135)

5.7. A Legislação, falta de controle e fiscalização

Além do preocupante risco de contaminação, não há também uma legislação específica que regulamente as águas subterrâneas na região do Aqüífero Guarani.

No Brasil, a Constituição de 1988 em seu Cap. VI, artigo 225 dispõe o seguinte:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações.

Ainda segundo a Constituição de 1988, as águas subterrâneas passam a ser consideradas de domínio público (artigo. 26, I), incluindo-as entre os bens dos Estados.

Silva (2002, p 34), ressalta que:

A dominialidade pública faz com que os Estados passem a ser gestores das águas subterrâneas. Cabe-lhes arbitrar eventuais conflitos existentes em matéria de utilização das águas subterrâneas e preservar este recurso ambiental, através da adoção de normas adequadas à realidade de cada Estado da Federação.

Conforme Pompeu (2001) o direito de criação das leis sobre as águas e sua alteração, modificação ou extinção é privativo da União, não confundindo esses direitos com as normas meramente administrativas para a gestão de águas que os Estados podem editar. Assim, os Estados e o Distrito Federal também podem legislar sobre a utilização das águas sob seu domínio e, em conseqüência, sobre as águas subterrâneas. Porém, não podem ir contra a regra geral criada pela União. Na verdade, os Estados possuem a chamada competência residual – aquelas não vedadas pela Constituição.

Entretanto, Segundo Freitas (2000, p 334), na publicação elaborada pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, para divulgação da Lei 9.433, de 08 de Janeiro de 1997, encontra-se o seguinte comentário a respeito do domínio das águas subterrâneas:

No caso das águas subterrâneas, os aquíferos, entendidos como estruturas que retêm águas infiltradas, podem ter prolongamento além das fronteiras estaduais passando, portanto, a ser de domínio federal. Essas águas, assim podem ser federais ou estaduais, diferente do que popularizou como titularidade dos Estados. A caracterização vai depender das direções dos fluxos subterrâneos e das áreas de recarga e se as obras para sua captação foram contratadas pelo poder público federal.

Segundo Freitas (2000, p 334), “este texto constitucional não parece que permitiu uma interpretação tão extensiva a respeito do domínio das águas subterrâneas.”

De acordo com Caubet (2004), a respeito da dominialidade das águas subterrâneas e da citação acima para a divulgação da Lei 9433:

Apesar da lei de recursos hídricos confirmar a dominialidade pública das águas no Brasil, há autores que entendem que 'a lei incorre em erro ao estabelecer que a água é um bem de domínio público'. Isso porque a Constituição Federal considera o bem ambiental como bem de uso comum do povo, impondo-se não só ao Poder Público o dever de defendê-lo e preservá-lo, mas também à toda coletividade (art. 225, caput). Assim, a água, como um bem tipicamente ambiental, é "um bem de natureza muito particular, de uso comum de todos: nem de domínio público exclusivo, nem suscetível de qualquer tipo de apropriação privada.

Segundo Freitas (2004, p 334), "nesse entendimento, a água não seria exatamente uma espécie de bem público e, por conseguinte, o art. 1º, I, da Lei nº 9.433/97 padeceria de inconstitucionalidade".

"Assim, as águas subterrâneas são regulamentadas pelo Estado. O órgão estadual gestor das águas é, assim, o responsável pela outorga a quem pretender utilizá-las. Este órgão também fica responsável por zelar a qualidade desta água." (FREITAS, 2000, p 334).

Observa-se que há muitas divergências nas esferas federal, estadual e municipal quanto ao domínio das águas subterrâneas. Essas divergências tendem a minar o espaço de decisão e gestão do processo, provocando uma falta de controle e fiscalização. Conforme Oliveira (2004, p 24), "a ausência de um Estado forte, demonstrado pela falta ou fragilidade de estruturas reguladoras, fiscalizadoras ou mesmo educadoras tem impulsionado há décadas uma crescente apropriação privada dos recursos hídricos."

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Aquífero Guarani representa, para os autores, o verdadeiro agente integrador dos países do Mercosul, pois, acima das questões políticas, econômicas e diplomáticas, este manancial une geograficamente Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai

A qualidade da água do Aquífero Guarani para consumo humano, assim como o fato de apresentar boa proteção contra os agentes de poluição que afetam rapidamente as águas de superfície, e a possibilidade de captação nos locais onde ocorrem grandes demandas, faz com que o Aquífero Guarani seja um manancial econômico, e flexível para abastecimento do ponto de vista social nas suas áreas de ocorrência. Por ser um aquífero de extensão continental com característica confinada, muitas vezes jorrante, sua dinâmica ainda é pouco conhecida, necessitando maiores estudos para seu entendimento, de forma a possibilitar uma utilização mais racional e o estabelecimento de estratégias de preservação mais eficientes.

Pelo que é possível observar as atividades agrícolas são em grande parte as principais responsáveis pelos fatores degradadores das águas do Aquífero Guarani ou oferecem algum risco a qualidade das mesmas. O uso de defensivos agrícolas e resíduos de produção como a vinhaça – relacionada a produção de álcool - aliados a formas de exploração inadequadas através de poços não outorgados e desprotegidos, a geração e disposição final inadequada de resíduos industriais, urbanos, e da agricultura, a poluição dos mananciais superficiais, poluição do solo e a permeabilidade e susceptibilidade (nível do lençol que em alguns locais encontra-se bem próximo a superfície), além de outros oferecem risco a integridade da qualidade das águas do Aquífero podendo inviabilizar seu uso para consumo que a exemplo de locais como Ribeirão Preto (SP) e Antônio da Plantina (PR) podem ser a única fonte de abastecimento da população.

È necessário que todos os fatores de risco sejam gerenciados e que os aspectos identificados, ainda em fase inicial de degradação sejam sanados e controlados.

A escassez da água é um problema mundial real e apesar de o Brasil encontrar-se em uma situação privilegiada em relação a volume de água disponível é importante lembrar que mesmo assim em algumas regiões a população sofre brutalmente com a falta d'água como é o caso do semi-árido Nordeste causa de projetos perigosos como é o caso da Transposição do Rio São Francisco pois envolve uma grande intervenção em todas as áreas ambientais bióticas e abióticas além das áreas sociais.

O Aquífero Guarani ainda não possui uma legislação específica, por sua vez, também não possui fiscalização mínima necessária. Este manancial, que é um recurso tão rico, por encontra-se sob vários países pode ser futuramente motivo de disputas políticas e econômicas já que todos os acontecimentos mundiais e a degradação ambiental leva-nos a crer que a água futuramente será um produto escasso necessário, portanto valioso. Como as águas subterrâneas por natureza, possuem uma qualidade melhor do que as superficiais, o Aquífero Guarani com suas qualidades de potabilidade e quantidade será um grande potencial econômico e político.

7. REFERÊNCIAS

Água. Disponível em:

<<http://jovempan.uol.com.br/jpamnew/destaques/atualidade/agua/>> Acesso em 25 de Março de 2006.

Água no Planeta. Disponível em: <<http://panoramaecologia.blogspot.com>> Acesso em 25 Mar. 2006.

Almanaque Abril. Ed. Brasil. São Paulo, 2003.

Almanaque Abril Atualidades e Vestibular. Ed. Brasil. São Paulo, 2007.

Aquífero Guarani. Artigo. Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Ambiental e Agropecuária. Disponível em:

<<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=guarani>>. Acesso em 15 Nov. 2006.

Aquífero Guarani. Disponível em: <<http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/>>. Acesso em 30 Nov. 2006.

ARAÚJO, L.M. FRANÇA, A. B. e POTTER, P. E. **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó.** UFPR – Universidade Federal do Paraná e PETROBRÁS. Curitiba, Paraná, Brasil. 1995, p. 16.

BENTON, William. **Águas subterrâneas.** Enciclopédia Britânica- Barsa- Volume 01. São Paulo, SP. 1969. p. 168

BORGHETTI, Nadia Boscardin; BORGHETTI, José Roberto; FILHO, Ermani Francisco Rosa. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul.** Curitiba, 2004.

BRASIL. **Constituição Federal (1988):** República Federativa do Brasil. Brasília. Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433/97.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

CABES XVIII - **Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 1996.

CAUBET, Christian. **Água, a Lei, a Política... e o Meio Ambiente**. Editora Juruá. Santa Catarina, Paraná. 2004 p. 15-23.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 1998-2000**. São Paulo: CETESB, 2001.

FEITOSA, A.C.F. & MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM/LABHID. Fortaleza. 1997.

FREITAS, M.A.V. (ed) **Estado da águas no Brasil. Perspectivas de Gestão e informação de Recursos Hídricos**, SIH/ANEEL/MME; SRH/MMA, 1999. 334p.

Globo Repórter – exibido em 21 de Abril de 2005.

GOCKEL, Luísa e MEDEIROS Marcelo. **Aqüífero Guarani: Reserva de Preocupação**. Artigo. Uniágua – Universidade da água. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br>> Acesso em 07 de Novembro de 2006.

GOMES, Marco Antonio Ferreira, et al. Embrapa Meio Ambiente – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Uso agrícola das áreas de recarga do Aqüífero Guarani – recarga do Aqüífero Guarani: localizadas na porção noroeste e parte oeste da Bacia Sedimentar do Paraná**. Jaguariúna, 1999.

IBGE, **ATLAS DE SANEAMENTO**. 2000.

KEMPER, K. E. **O Custo da Água Gratuita - Alocação e Uso dos Recursos Hídricos no Vale do Curú, Ceará, Nordeste Brasileiro**. Linköping Studies in Arts and Sciences. 1997.

OLIVEIRA, Cláudio. **Contaminação anunciada**. Jornal do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <http://www.riosvivos.org.br/canal.php?canal=288&mat_id=7757> Acesso em 22 de novembro de 2006.

OLIVEIRA, M.M. **Recarga de águas subterrâneas: Métodos de Avaliação**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no âmbito do Plano de Investigação Programada do LNEC para 2001-2004, PIP 12031: *Calibração de métodos de avaliação da recarga regional de*

aquíferos, ensaios de laboratório e modelação matemática da infiltração e do escoamento, na zona vadosa e na zona saturada, 2004.

PEDROSA, Célio Augusto e CAETANO, Francisco. **Águas subterrâneas**. Brasília, 2002.

PEREIRA, Jaido Santos e TAVARES, Vitor Emanuel. **Instrumentos de gestão ambiental: uma análise para o setor de recursos hídricos**. Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005

POMPEU, Cid Tomanik. **Marco Jurídico que rege a gestão de águas no Brasil, com particular ênfase às águas subterrâneas**. Trabalho da UNPP/Brasil, 2001.

Províncias Hidrogeológicas. Artigo. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>> Acesso em 22 Nov. 2006.

Revista Super Interessante. Editora Abril. Ano 13, nº 07. 2001

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Desenvolvimento das águas subterrâneas no Brasil**. Disponível em: <http://www.perfuradores.com.br>. Acesso em 05 de Outubro de 2006.

SETTI, A.A. **A necessidade do uso sustentado dos Recursos Hídricos**. IBAMA, Brasília, 1994.

SILVA, D.D. & PRUSKI, F.F. (ed), **Gestão de Recursos Hídricos: Aspectos legais, econômicos e sociais**. SRH/UFV/ABRH, 2000.

UNCED. **Agenda 21**: Chapter 18. United Nations Conference on Environment. New York: United Nations. 1992.

VILLIERS, Marques. **Água : Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

ZARPELON, J. T. G. **Escassez de água e Relações Internacionais: um estudo sobre o Aquífero Guarani**. Monografia Graduação Relações Internacionais. Curitiba: Universidade Tuiuti do Paraná, 2002.

ZARPELON, J. T. G. **A importância da Educação Ambiental: um estudo sobre o Aquífero Guarani.** Monografia Curso de Especialização em Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Curitiba: UFPR – Universidade Federal do Paraná, 2005. p 19-23.