

Águas subterrâneas na Bacia do Paraná

Heraldo Cavaleiro Navajas Sampaio Campos *

Resumo

Este artigo descreve as características das águas subterrâneas localizadas na Bacia do Paraná, região centro-oeste da América do Sul. Recobre uma área de 839.000 km² no Brasil e o restante pelos territórios da Argentina, Paraguay and Uruguay (355.000 km²). É uma área que experimenta um importante desenvolvimento através do MERCOSUL (Mercado Comum do Sul) e uma intensa demanda de água subterrânea para o suprimento humano, de indústrias e para agricultura.

Palavras-chave: Águas subterrâneas, Bacia do Paraná.

Abstract

This paper describes the groundwater features located in Paraná Basin, east-central of South America. It covers an area of 839.000 km² in Brazil, and the rest is in Argentina, Paraguay and Uruguay (355.000 km²). The area is now experiencing an important socio-economic development due to MERCOSUL (South Common Market) and an increasing demand for groundwater as human commodity, for industries and agriculture.

Key words: Groundwater, Paraná Basin.

* Professor doutor do Depto. de Engenharia Civil – CTC/UFSC (heraldocampos@yahoo.com).

Introdução

Os reservatórios de águas subterrâneas, também chamados de aquíferos, são caracterizados em função de seus limites em superfície e subsuperfície, condições de armazenamento e circulação de águas, como unidades práticas de investigação e exploração, em escala regional.

Uma das maiores reservas de água doce do mundo (50 km³ de volume armazenado) está localizada na Bacia do Paraná, com uma superfície de mais de 1,2 milhões de km² em territórios da Argentina, Brasil (sete estados), Paraguai e Uruguai. Nesta região do CONE SUL, com uma população estimada de 25 milhões de habitantes, os aquíferos são cada vez mais utilizados como fontes de abastecimento.

As características das rochas e a arquitetura que dão a forma aos reservatórios desta área de estudo são conhecidas desde a década de 50 através das perfurações de poços de petróleo.

Porém, somente a partir de um surto exploratório que se deu nos anos 60, visando essencialmente o abastecimento público de grandes cidades, as águas subterrâneas vêm adquirindo papel de destaque em municípios onde a captação de águas superficiais é onerosa, seja pela degradação de sua qualidade, seja por sua distância dos centros consumidores.

Neste estudo será utilizado o termo Bacia do Paraná para designar, conjuntamente, as bacias geológicas do Paraná e do Chaco-Paraná (Figura 1) e serão tratados os principais aquíferos, de abrangência regional, que possuem até o presente momento uma cartografia hidrogeológica mais sistematizada.

Esboço geo-estrutural da área

A Bacia do Paraná, *lato sensu*, compreendendo o ramo argentino (Bacia Chaco-Paraná) é uma área de sedimentação fanerozóica com cerca de 1.750.000 km², dos quais 1.150.000 km² pertencem ao território brasileiro. É uma bacia tipicamente intracratônica que em sua zona mais deprimida acumulou mais de 6.000 m de espessura de sedimentos, lavas, diques e *sills* (Almeida e Melo 1981).



Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Paraná no CONE SUL.

A partir do final do Jurássico, processos tectônicos e magmáticos de magnitudes apreciáveis, que consistiram em falhamentos e fraturamentos de distensão, deram vazão a um grande volume de magma basáltico.

A Bacia do Paraná, no decorrer de sua longa história, teve configuração condicionada por arqueamentos, flexuras e alinhamentos estruturais do embasamento, que se comportaram como grandes estruturas de atuação mais ou menos prolongada e intensa. Dispõem-se marginalmente à Bacia, participando de sua delimitação, ou ainda são transversais às suas bordas, influenciando em sua compartimentação e nos processos estruturais e sedimentares que acompanharam sua evolução.

O desenvolvimento estrutural da Bacia do Paraná no Brasil foi grandemente influenciado, durante o decorrer de maior parte da sua história, por duas direções predominantes: NNE-NE e NW.

O magmatismo alcalino realizou-se após demorado tempo de relativa calma tectônica que se apresentou na plataforma a partir do Carbonífero Superior. Ele foi particularmente intenso e com efeitos diversificados em sua região sul. Caracterizou-se sobretudo pela reativação de antigos falhamentos e surgimentos de blocos de falha, soerguimento de arcos, abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná (Almeida 1983).

Hidroestratigrafia e distribuição espacial dos reservatórios

Os reservatórios de água subterrânea que ocorrem na Bacia do Paraná, são caracterizados em função dos seus limites em superfície e subsuperfície, condições de armazenamento e circulação de água, como unidades práticas para investigação e exploração, em escala regional.

A partir deste enfoque, os fatores determinantes são a geologia regional e as propriedades hidráulicas, podendo os aquíferos serem classificados em duas categorias: aquíferos sedimentares, permeáveis por porosidade granular e aquíferos fraturados, permeáveis por fraturamento das rochas e representados na hidroestratigrafia pelos reservatórios da Bacia do Paraná (Figura 2 a e b).

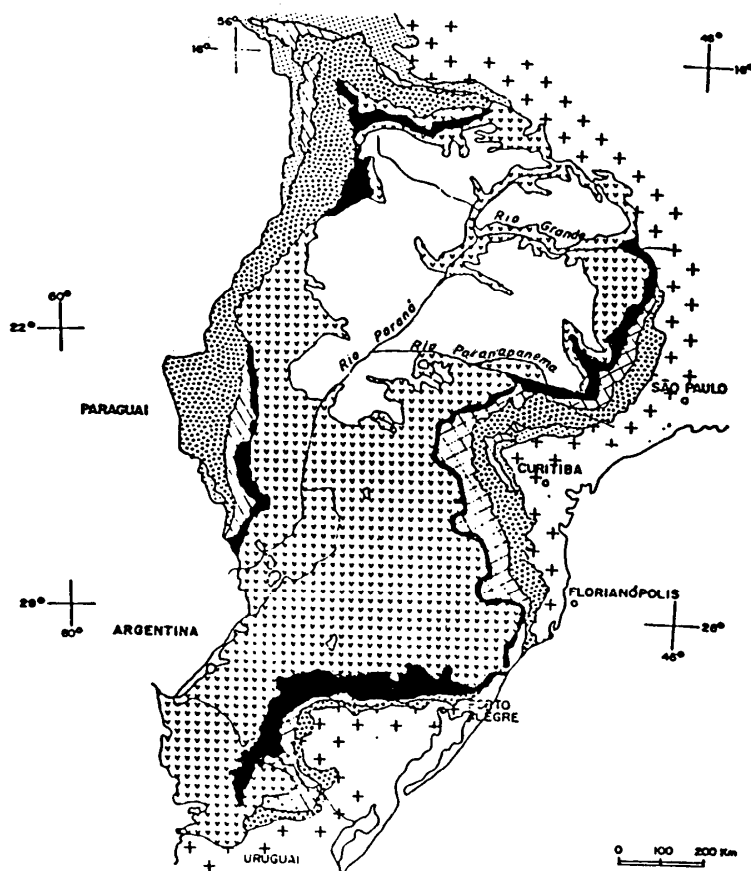






Figura 2a – Distribuição espacial simplificada da hidroestratigrafia da Bacia do Paraná, atualizada a partir de Campos (1987).


Figura 2b – Legenda da hidroestratigrafia da Bacia do Paraná

-  Grupo Bauru, Cretáceo Superior, Aquífero Bauru, aquífero sedimentar livre, permeável por porosidade granular; Grupo Caiuá, Cretáceo Superior, Aquífero Caiuá, aquífero sedimentar livre, permeável por porosidade granular.

-  Formação Serra Geral, Cretáceo Inferior, Aquífero Serra Geral, aquífero fraturado livre, permeável por fraturamento das rochas.

-  Formações Botucatu, Guará, Santa Maria, Sanga do Cabral, Pirambóia, Rio do Rasto/Miembro Morro Pelado (Brasil); Tacuarembó, Buena Vista, Yaguari (Uruguai); Misiones, Independencia (Paraguai); San Cristóbal, Buena Vista (Argentina), Permo-Jurássico, Aquífero Guarani, aquífero sedimentar livre e confinado, permeável por porosidade granular.

-  Grupo Passa Dois, Permiano, Aquífero Passa Dois, aquífero sedimentar confinado, pouco permeável por porosidade granular.

-  Grupos Itararé e Aquidauana (Brasil) e Formação San Gregório (Uruguai): diamictitos, conglomerados, arenitos, lamitos, ritmitos e siltitos; Formações Rio Bonito (Brasil) e Tres Islas (Uruguai): arenitos finos a conglomeráticos, siltitos e lutitos com níveis de carvão; Formações Palermo (Brasil) e Fraile Muerto (Uruguai), Permo-Carbonífero, Aquífero Tubarão, aquífero sedimentar confinado, permeável por porosidade granular.

Aqüíferos sedimentares

O Aqüífero Bauru é constituído de arenitos finos e mal selecionados na base e de arenitos argilosos e calcíferos no topo, caracterizando-se como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semi-confinada, com espessura média de 100 metros, mas que pode chegar aos 250 metros. É atualmente explotado no Estado de São Paulo por cerca de 12.000 poços tubulares que extraem 32.400 m³/h (comunicação pessoal de Gerôncio Albuquerque Rocha e José Eduardo Campos do DAEE, 1999), utilizados basicamente para o abastecimento público.

A faixa de vazão explotável entre 5 e 20 m³/h é predominante em área; faixas de 20 a 30 m³/h e de 30 a 50 m³/h ocorrem em áreas menores nas porções onde a parte inferior do pacote sedimentar tem espessura da ordem de 100 metros (Rocha et al. 1982).

O Aqüífero Bauru está assentado sobre um substrato formado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que é bastante irregular, resultante tanto de falhamentos como de ciclo erosivo pré-deposição Bauru.

A espessura saturada dos arenitos do Grupo Bauru pode variar de 100 a 150 metros. Esta variação revela que existe um duplo controle: em primeiro lugar, a morfologia de superfície, que impõe controle dominante e, em segundo lugar, a morfologia do substrato basáltico. Em nível regional, as espessuras variam em ondulações, adelgaçando-se nos vales, com valores de 50 metros e atingindo, nos espigões ou divisores de água, valores da ordem de 200 metros.

O Aqüífero Caiuá é formado de arenitos limpos, bem selecionados, possuindo elevado potencial hídrico, com vazões de poços variando de 100 a 200 m³/h, dependendo da espessura saturada, que é em média de 80 metros. As permeabilidades aparentes variam de 0,1 a 2,0 m/d.

O Aqüífero Guarani está intercalado entre as camadas permianas do Grupo Passa Dois e os derrames basálticos cretácicos da Formação Serra Geral. É constituído de arenitos eólicos e

fluviais bem selecionados, com espessura média de 300 metros, atingindo profundidades de até 1.500 m.

Trata-se de um aquífero livre apenas nas bordas da Bacia do Paraná e confinado em 90% de sua extensão. Graças as suas excelentes características hidrogeológicas constitui-se na principal reserva de água subterrânea da maior província hidrogeológica brasileira, a Paraná. Segundo comunicação pessoal de Gerônimo Albuquerque Rocha e José Eduardo Campos do DAEE, 1999, a relação da vazão explotada por hora pelo número de poços para o aquífero é a seguinte na região centro-oeste do Estado de São Paulo: área aflorante, 6.000 m³/h/200poços; área de médio confinamento, 105.000 m³/h/700poços; área confinada 30.000 m³/h/100poços. Existem dezenas de poços com profundidades superiores a 1.000 metros, cujas vazões variam de 300 a 600 m³/h, com permeabilidades médias aparentes da ordem de 0,2 a 4,0 m/d (porção livre) e de 0,5 a 4,6 m/d (porção confinada).

Com respeito a sua geometria (Silva 1983, Araújo et al. 1995, Rocha 1997 e Campos 2000) os fatores que regulam os limites estruturais do aquífero são quatro: a) grandes depocentros (locais da Bacia onde os depósitos alcançam uma maior potência) de lavas basálticas correspondentes à Formação Serra Geral; b) ativação regional de sistemas de falhas; c) reativação dos arcos (Rio Grande e Ponta Grossa, Brasil) e d) movimentos verticais (levantamentos) das bordas atuais.

Na direção NNE-SSW, coincidindo com o eixo deposicional da Bacia aparece uma depressão estrutural definida pelo topo do aquífero. Nesta direção encontram-se alinhados três depocentros: um no Estado de Paraná e dois no Estado de São Paulo (Brasil).

Os três depocentros podem chegar a atingir mais de 1.000 m de basaltos e arenitos sobrepostos ao aquífero como ocorre nas regiões de Fernandópolis, Cuiabá Paulista, Rio Piquiri (Brasil) e Entre Rios (Argentina).

O Arco de Ponta Grossa divide o aquífero em dois grandes domínios hidrogeológicos, um ao norte e outro ao sul.

O primeiro, ao norte, está rodeado pelas zonas de recarga que constituem os afloramentos de São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Brasil), que apresentam uma superfície piezométrica com um marcado padrão centrípeto. Na parte noroeste do Estado de São Paulo, uma importante zona de recarga regional, o aquífero tem condições artesianas nos vales situados abaixo da cota 450 m. Na parte livre, o gradiente médio é de 2m/km e na porção confinada 0,5 m/km.

O segundo domínio hidrogeológico se localiza ao sul do Arco de Ponta Grossa. O grande desnível piezométrico entre as áreas aflorantes da borda este e oeste, vem determinado por uma importante diferença de cotas na direção sudoeste (entre 1.200 e 50 m), com gradientes que variam entre 5 m/km e 0.3 m/km. Estas zonas de planícies e pântanos, entre os rios Uruguai e Paraná, representam a maior área de descarga regional do aquífero.

Provavelmente, ocorrem outros trechos com descargas localizadas distribuídos na Bacia como, por exemplo, a área situada na região de Porto Alegre (Bacia do Rio Jacuí), indicando um fluxo de direção N-S e outras, que se encontram encaixadas em zonas de lineamentos estruturais, como ao longo dos rios Paraná - região de Presidente Epitácio, Pelotas - região de Piratuba e Tietê - região de Lins, em território brasileiro.

O Aquífero Passa-Dois é constituído de bancos de folhelhos e calcários, interpostos entre os aquíferos Guarani e Tubarão e exerce regionalmente um papel passivo quanto à circulação das águas subterrâneas. Possui extensão limitada, descontínuo e com vazões dos poços variando no intervalo de 3 a 20 m³/h.

O Aquífero Tubarão tem extensão regional e é descontínuo, com os corpos mais arenosos apresentando-se intercalados entre camadas de lamitos, ritmitos e siltitos. Embora possua uma espessura total da ordem de 1.000 metros, é explotado por poços na faixa de 200 a 300 metros de profundidade, com vazões moderadas de 10 a 20 m³/h e permeabilidades médias aparentes de 0,002 a 0,7 m/d (Diogo et al. 1981).

O Aquífero Furnas é o que apresenta menor expressão na área de estudo, sendo constituído essencialmente de arenitos, com granulação média a muito grossa, com matriz lamítica. Com extensão limitada, livre a confinado, este aquífero possui vazões variáveis entre 10 e 50 m³/h.

Aquíferos fraturados

O Aquífero Serra Geral apresenta-se em derrames sucessivos de lavas, superpostos, onde os sistemas de fraturamento (zonas aquíferas) estão relacionados tanto a esforços tectônicos, gerando fraturas subverticais, como aos processos de resfriamento que originaram descontinuidades subhorizontais. É explotado pela maioria de poços com profundidades de 100 a 150 metros e aqueles situados junto aos lineamentos estruturais ou fraturas podem apresentar vazões variáveis no intervalo de 10 a 100 m³/h. Estima-se que o aquífero seja explotado por aproximadamente 3.000 poços no Estado de São Paulo extraindo 10.080 m³/h (comunicação pessoal de Gerôncio Alburque Rocha e José Eduardo Campos do DAEE, 1999).

O Aquífero Diabásio é constituído de rochas intrusivas básicas (diabásios), tem extensão limitada, fissurado e descontínuo, podendo apresentar vazões da ordem de 5 a 30 m³/h, para poços com até 150 m de profundidade.

Composição e evolução regional das águas subterrâneas

Aquíferos sedimentares

As águas subterrâneas do Aquífero Bauru, em âmbito regional, têm baixa salinidade, com valores de teor salino inferiores a 240 mg/l e pH de neutro a levemente básico. A faixa de 100 a 200 mg/l é predominante em área. Os valores acima de 200 mg/l são característicos dos espigões e planaltos. Nas áreas de interflúvios e na região do Pontal do Paranapanema as águas apresentam teores abaixo de 100 mg/l.

Estas águas subterrâneas apresentam dois tipos químicos dominantes: águas bicarbonatadas cálcicas e águas bicarbonatadas

cálcico-magnesianas. Os estudos estatísticos revelaram que os íons HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} são os principais responsáveis pelo processo de enriquecimento salino das águas. O domínio das águas bicarbonatadas cálcicas abrange cerca de 70% da área de estudo. Além destes grupos químicos predominantes, foram individualizadas duas áreas principais, nas regiões de Araçatuba e Presidente Prudente, de águas bicarbonatadas sódicas.

A composição mineralógica das rochas que compõem o Aquífero Bauru parece contribuir significativamente para a predominância destes íons maiores: o carbonato de cálcio (calcrete) e os argilominerais, constituintes do cimento das litofacies, devem ser as principais fontes de enriquecimento iônico do meio aquífero.

O Aquífero Caiuá apresenta águas pouco mineralizadas a desmineralizadas (valores de teor salino entre 14 e 57 mg/l), fracamente bicarbonatada cálcico-magnesianas e pH ácido, entre 5,5 a 6,5, características hidrogeoquímicas inteiramente distintas do Aquífero Bauru sobreposto (Campos 1987).

Em ambos aquíferos, a grosso modo, o enriquecimento do teor salino das águas subterrâneas não é acompanhado pelo aumento dos teores de cloreto e de sódio, a não ser localmente. Os teores mais elevados destes íons, por sua vez, sugerem possíveis associações com alinhamentos estruturais ou em áreas próximas ao substrato basáltico com espessura adelgada do pacote de arenitos. Não é portanto nítido, regionalmente, o enriquecimento salino clássico acompanhado da evolução iônica.

No Aquífero Guarani na sua área de comportamento livre, as águas apresentam temperaturas compreendidas entre 22 e 27°C, pH entre 5,4 e 9,2 e salinidade inferior a 50 mg/l; a facies predominante é a bicarbonatada cálcica, seguida da bicarbonatada cálcico-magnesiana. Na área de características confinadas, a temperatura varia entre 22 e 58,7°C, o pH entre 6,3 e 9,8, e a salinidade entre 50 e 500 mg/l; as facies predominantes, em aproximadamente 80% das águas, são a bicarbonatada cálcica e a bicarbonatada sódica; a estas se segue a sulfatada-cloretada sódica.

Em geral, se observa um aumento da temperatura no sentido SE-NW (Estado de São Paulo), coincidindo com a direção de fluxo. Os valores mais elevados são encontrados próximo do extremo oeste (superior a 60°C), embora também podem haver temperaturas relativamente altas na borda norte e no extremo noroeste (superiores a 45 e 50°C, respectivamente).

A distribuição espacial da salinidade e das facies hidroquímicas do Aquífero Guarani na parte nordeste da Bacia, mostra que as zonas próximas da área de recarga apresentam as salinidades mais baixas (inferiores a 200 mg/l), uma vez que as mais altas (maiores que 500 mg/l) se encontram, em geral, no extremo oeste, coincidindo com a direção de fluxo E-W (Silva 1983).

Assim, se pode observar que as facies hidroquímicas variam no sentido do fluxo e se subdividem da porção este (livre) até a porção oeste (confinado) do aquífero, em quatro tipos essenciais: bicarbonatada magnésiana e cálcico-magnésiana, bicarbonatada cálcica e cálcico-magnésiana, bicarbonatada sódica e, finalmente, sulfatada-cloretada sódica.

Com relação aos íons, principalmente cloreto, sulfato e sódio, sua concentração aumenta até oeste, coincidindo com a direção de fluxo, e da mesma forma com a salinidade e a temperatura. Os principais fatores que favoreceriam o aumento da concentração destes íons seriam o maior tempo de contato entre a água e rocha, unido ao aumento de sua temperatura no sentido de fluxo, até as zonas mais profundas. Eventualmente, também poderá existir um aporte destes íons por fluxos de água desde as rochas situadas na parte inferior do aquífero, dado seu eventual comportamento de aquífero e da possível existência de fraturas.

Nos territórios do Uruguai e da Argentina é possível diferenciar dentro do Aquífero Guarani dois subsistemas: um com água de baixa salinidade e maiores temperaturas, localizados no setor central e norte e outro com água salgada e temperaturas menores, localizado nas proximidades da borda sul da Bacia. No litoral norte uruguaio, as águas variam entre 33°C a 45°C e sua

qualidade, na zona livre, não apresenta limitações de potabilidade, classificando-se em cloretadas cálcicas e bicarbonatadas cálcicas. Na zona confinada as águas são marcadamente bicarbonatadas sódicas (Montaño et al. 1998).

Em algumas zonas mais restritas destes dois domínios hidrogeológicos regionais aparecem águas com valores que excedem os limites toleráveis adotados para o íon flúor (1.2 mg/l). Estas concentrações anômalas possivelmente estão relacionadas aos condicionantes estruturais da Bacia do Paraná.

O Aquífero Passa Dois apresenta predominantemente águas bicarbonatadas sódicas, com maior parte apresentando teores salinos superiores a 142 mg/l, podendo atingir valores de até 1.428 mg/l. Nestas águas podem existir quantidades razoáveis de sulfatos e cloretos; a tendência do pH é ser básico e em grande frequência com valores acima de 8,0.

O Aquífero Tubarão apresenta, de um modo geral, águas fracamente salinas, com teores variando de 21 a 421 mg/l, com 64% das amostras apresentando valores entre 100 e 200 mg/l. Observa-se que todas as amostras com teores superiores a 200 mg/l são oriundas do Sub-grupo Itararé. A distribuição espacial destes valores parece indicar uma tendência geral de enriquecimento em sais no sentido da drenagem superficial, de leste para oeste, o que pode ser observado em especial na Bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo (Diogo et al. 1981).

Além dos baixos teores salinos, as águas apresentam pH variando desde ácido até básico com valores entre 4,8 e 9,0. As concentrações de bicarbonato são sempre mais elevadas que as de cloreto e de sulfatos, podendo atingir 285 mg/l, enquanto os valores de cálcio e de sódio podem chegar a 46,4 mg/l e 170 mg/l, respectivamente.

A caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Furnas, até o presente momento, não foi possível devido a falta de informações sobre análises químicas existentes, em sua área de ocorrência na Bacia do Paraná.

Aqüíferos fraturados

O Aqüífero Serra Geral apresenta temperaturas que variam de 18,2 a 27,5°C, pH de 5,3 a 9,8 e teores salinos inferiores a 250 mg/l para 96% das amostras. As águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (63%) e, secundariamente, bicarbonatadas cálcica-magnesianas (10%) e bicarbonatadas sódicas (9%). O aumento do teor salino pode vir acompanhado do incremento dos íons sódio e cloreto em duas grandes regiões basicamente. Estas áreas, onde inclusive ocorrem janelas de basalto, estão compreendidas entre os rios Tietê e Peixe e entre os rios São José dos Dourados e Grande, na região centro-oeste do Estado de São Paulo.

O Aqüífero Diabásio, apesar da escassez de dados disponíveis, possui salinidade acima de 142 mg/l, altos teores de bicarbonatos e razoáveis quantidades de sulfatos e cloretos. A tendência do pH é básico e os dois tipos químicos dominantes são as águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas.

Adequação das águas subterrâneas aos distintos usos

Os padrões e parâmetros que servem de base para estabelecer a potabilidade da água e sua adequação para irrigação e fins industriais, variam de um país para outro, parecendo ser estes, muitas vezes, mais influenciados pelas características químicas da água disponível, do que pelo efeito sobre o sistema orgânico do homem ou pelo tipo de cultivo ou indústria de determinada região.

Entretanto a abundância ou escassez é o primeiro fator que condiciona a sua utilização, de modo que uma água de qualidade medíocre, mas abundante, pode tornar-se mais desejada que uma água boa, mas em quantidade insuficiente. Os limites de concentração química fixados ou sugeridos pelos órgãos governamentais, geralmente representam um ajuste entre a qualidade desejada e a qualidade disponível, em quantidades suficientes para fazer face à demanda.

Assim, os padrões de adequação para os diversos fins geralmente adotados encerram certa flexibilidade, visto que nem

todos os componentes têm a mesma importância e por outro lado, torna-se às vezes impossível conseguir, em uma determinada região, águas que atendam plenamente as recomendações das normas vigentes. As águas subterrâneas dos aquíferos na Bacia do Paraná são, em geral, de boa qualidade, não apresentando restrições para o consumo humano/animal, irrigação e uso industrial (Campos 1993).

A variação dos teores de nitratos nestes casos é grande e parece não ter relação direta com as características das rochas que compõem os reservatórios subterrâneos. Os teores excessivos de nitrato encontrados (acima de 6 mg/l) estão distribuídos localmente por todos os aquíferos e podem ser considerados como indicativos de poluição. São uma advertência para que a água do poço seja analisada mais detalhadamente, para se verificar a presença de possíveis organismos patogênicos.

Esta águas, via de regra, provém de poços poluídos pela atividade antrópica, relacionados à proximidade de fossas negras ou mesmo estábulos na zona rural. Existe, ainda, a possibilidade de poluição por meio de fertilizantes agrícolas. Estes indícios podem sugerir, também, a precariedade construtiva dos poços como a ausência de tubo de boca com cimentação e tampa, a falta de laje e a não observância do perímetro de proteção sanitária.

Praticamente todas as águas subterrâneas contém um pouco de ferro e sua química no meio aquífero é complexa. Por sua vez, elas podem adquirir também o ferro pelo contato com o revestimento do poço, conjunto moto-bomba e tubulações. Quanto mais corrosiva é em sua composição, mais dissolve o ferro das superfícies com as quais estabelece contato, devendo os projetos de equipamentos industriais e de captação profunda levar em conta a adequada seleção de materiais, a fim de minimizar este processo.

A água subterrânea captada de um poço tubular contendo ferro em quantidade apreciável pode se tornar límpida e incolor logo após o bombeamento. Porém, algum tempo depois, em contato com o ar, pode se turvar e, mais tarde, produzir um depósito ferruginoso. Esse teor de ferro é de considerável interesse

porque mesmo pequenas quantidades afetam sua utilização para algumas finalidades domésticas e industriais.

Para a irrigação, as principais restrições são águas de média a alta salinidade e com quantidade de sódio muito elevada. Restringem-se a certas áreas dos aquíferos Bauru, Guarani (setores mais confinados) e Tubarão, devendo ser analisado o grau de tolerância de determinadas culturas a estes componentes.

Já os requisitos de qualidade das águas utilizadas em diferentes processos industriais são muito variados. Há uma gama de especificações exigidas e critérios estabelecidos por tipos de indústrias e muitas vezes, uma pequena faixa de tolerância. Os parâmetros mais críticos e as maiores restrições são quanto à utilização em frigoríficos, cervejarias, curtumes, tecelagens e enlatamento de alimentos.

O zoneamento das águas subterrâneas da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo quanto ao seu potencial de ataque químico, revela que a maioria das águas são potencialmente corrosivas, seguidas das potencialmente incrustantes ou corrosivas. Estas últimas ocorrem predominantemente nos domínios do Aquífero Bauru. Portanto, os projetos de equipamentos industriais e de captação profunda das águas subterrâneas devem levar em conta a adequada seleção de materiais, a fim de minimizar os processos de incrustação ou corrosão.

Conclusões

Após a realização deste estudo fica em evidência a fundamental importância de se aprofundar o estudo dos aquíferos em regiões com escassez de informação, como por exemplo na sua porção mais ao sul e sudoeste, respectivamente em territórios brasileiro e argentino. A incorporação de novos dados de poços e de análises químicas das águas é uma necessidade para a atualização e aperfeiçoamento das pesquisas em áreas pouco cartografadas.

Um banco de dados alimentado em tempo real e com acesso pelos usuários por meio da *Internet*, pode ser o primeiro passo para

o processo participativo de investigação, utilização e gestão compartilhada desses reservatórios.

A análise dos dados existentes até aqui pesquisados, permitiu verificar que as águas subterrâneas na Bacia do Paraná apresentam, em geral, teores salinos muito baixos e pertencem a dois tipos químicos dominantes: águas bicarbonatadas cálcicas e águas bicarbonatadas sódicas.

Em termos de evolução hidrogeoquímica clássica, em âmbito regional, somente o Aquífero Guarani, pelas suas características hidrogeológicas, apresenta um enriquecimento salino acompanhado de um incremento iônico de sódio e de cloreto. Não é nítido este comportamento no Aquífero Tubarão, embora este apresente uma tendência geral de enriquecimento do teor salino associado ao íon sódio, no sentido este-oeste. Para os demais aquíferos da Bacia do Paraná e, principalmente, para o Aquífero Bauru, esta evolução referida não é evidente, prevalecendo a existência de zonas distintas de circulação de água subterrânea. A principal anomalia verificada, o fluoreto, tem sua origem sugerida pelos condicionantes estruturais da Bacia do Paraná.

No que se refere à utilização das águas, o estudo mostra que sua qualidade natural atende, a grosso modo, aos requisitos de potabilidade e irrigação. Quanto ao uso industrial, para alguns tipos de indústrias as águas necessitam correção. Com relação ao seu potencial de ataque químico, o domínio é o das águas potencialmente corrosivas seguida das águas potencialmente incrustantes ou corrosivas.

Referências bibliográficas

ALMEIDA F.F.M. de 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. **Rev. Bras. Geociências** **13** (3):139-158.

ALMEIDA F.F.M. de & MELO M.S. de 1981. **A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico**. São Paulo, IPT, I:12-45 (Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000).

ARAÚJO L.M.; FRANÇA A.B.; POTTER, P.E. 1995. **Giant Mercosul aquifer of Brazil, Argentina, Uruguay and Paraguay: hydrogeologic maps of Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones and Tucuaembó formations**. Curitiba, UFPR/PETROBRÁS, 16p and 8 maps.

CAMPOS H.C.N.S. 1987. **Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. Inst. de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 160p.

CAMPOS H.C.N.S. 1993. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo**. Inst. de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 177p.

CAMPOS H.C.N.S. 2000. Mapa hidrogeológico do Aquífero Guarani, escala 1:2.500.000. **Acta Geologica Leopoldensia**, **XXIII** (4): capa 3 (anexo).

DIOGO A., Bertachini A.C.; CAMPOS H.C.N.S.; ROSA, R.B.G.S. 1981. Estudo preliminar das características hidráulicas e hidroquímicas do Grupo Tubarão no estado de São Paulo. In: SBG, Simp. Reg. Geol., 3, Curitiba, **Atas**, **1**:359-368.

MONTAÑO J.; TUJCHNEIDER O.; AUGÉ M.; FILI M.; PARIS M.; D'ÉLIA M.; PÉREZ, M.; NAGY, M.I.; COLLAZO P.; DECOUD P. 1998. **Acuíferos regionales en América Latina. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo Argentino-Uruguayo.** Santa Fe, Centro de Publicaciones, Secretaria de Extensión, Universidad Nacional del Litoral., 217p.

ROCHA G. A. 1997 O grande manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados**, **11** (30), 191-212.

ROCHA G.A.; BERTACHINI A.C.; CAMPOS H.C.N.S.; CAIXETA J.B. 1982. Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do aquífero Bauru. In: SBG/ABAS, Enc. Geol. e Hidrog., São Paulo, **Publicação nº 9**, 37-56.

SILVA R.B.G. da. 1983. **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo.** Inst. de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 133p.